

2022

## การประเมินประสิทธิภาพของสถานีค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่องโดยวิธีวิเคราะห์ แบบ Deemed Rover กับเทคนิคสถานีอ้างอิงเสมือน

ณัฏฐวัฒน์ โง่งกระโทก  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd>



Part of the [Engineering Commons](#)

---

### Recommended Citation

โง่งกระโทก, ณัฏฐวัฒน์, "การประเมินประสิทธิภาพของสถานีค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่องโดยวิธีวิเคราะห์แบบ Deemed Rover กับเทคนิคสถานีอ้างอิงเสมือน" (2022). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 6588.  
<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/6588>

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact [ChulaDC@car.chula.ac.th](mailto:ChulaDC@car.chula.ac.th).

การประเมินประสิทธิภาพของสถานีค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่อง  
โดยวิธีวิเคราะห์แบบ Deemed Rover กับเทคนิคสถานีอ้างอิงเสมือน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2565  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Performance assessment of Continuously Operating Reference Stations  
By Deemed Rover Analysis method with Virtual Reference Station technique



Capt. Nantawat Kongkratoek

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 2022  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพของสถานีค่าอ้างอิงพิกัด
	แบบต่อเนื่องโดยวิธีวิเคราะห์แบบ Deemed Rover กับ
	เทคนิคสถานีอ้างอิงเสมือน
โดย	ร.อ.นันทวัฒน์ โก่งกระโทก
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)

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

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสถานีค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่อง (Continuously Operating Reference Station - CORS) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ deemed rover analysis ด้วยเทคนิคสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station - VRS) ของวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่าย (Network based Real-Time Kinematic - NRTK) ทางศูนย์ข้อมูลค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่องแห่งชาติ (National CORS Data Center - NCDC) ได้ให้บริการข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน Global Navigation Satellite System (GNSS) โดยเลือก CORS 50 แห่งเป็นสถานี rover สำหรับประสิทธิภาพการ fixed solution และความแม่นยำทางตำแหน่ง ผลลัพธ์เห็นว่าประสิทธิภาพสูงสุด 79.9 เปอร์เซ็นต์ของการ fixed solution ที่สถานี PKKT มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 54 กม. และ fixed solution น้อยที่สุด 29.9 เปอร์เซ็นต์ที่สถานี UDON มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 93 กม. การเปรียบเทียบแสดงค่าต่ำสุดและสูงสุดของรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองทางราบ (rmse) ที่ 67.55 ซม. และ 13.35 ม. สำหรับระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 67 กม. และ 85 กม. ของสถานี NSHO และ PDCP ตามลำดับ สำหรับในทางตั้งของสถานี SISK มี rmse ต่ำสุดที่ 41.82 ซม. ในขณะที่สถานี PDCP มี rmse สูงสุดที่ 15.74 ม. สำหรับระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 52 กม. และ 85 กม. ของสถานี SISK และ PDCP ตามลำดับ ดังนั้น จากผลลัพธ์เหล่านี้ ระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยมที่น้อยลงมีแนวโน้มที่จะทำให้ประสิทธิภาพการ fixed solution และความแม่นยำของตำแหน่งทางราบและทางตั้งของสถานี CORS ดียิ่งขึ้น

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6372137721 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: Continuously Operating Reference Station (CORS) National CORS  
Data Center (NCDC) Network based Real-Time Kinematic (NRTK)  
Virtual Reference Station (VRS)

Nantawat Kongkratoek : Performance assessment of Continuously  
Operating Reference Stations By Deemed Rover Analysis method with  
Virtual Reference Station technique. Advisor: Prof. CHALERMCHON  
SATIRAPOD, Ph.D.

This study aims to assess the performance of continuously operating reference stations (CORS) using deemed rover analysis method with the virtual reference station (VRS) technique of the network-based real-time kinematic (NRTK) positioning. The national CORS data center (NCDC) provided all relevant Global Navigation Satellite System (GNSS) data with RTK corrections. Fifty CORS were chosen as rover stations in different network geometries. The results showed the most performance of 79.9 percent of fixed solutions at the PKKT station in the triangle network, having an average length of the triangle sides of 54 km. The UDON station in the network, with an average length of 93 km, minimally provides 29.9 percent performance. The comparison showed the minimum and maximum values of horizontal root-mean-square-error (rmse) of 67.55 cm and 13.35 m for 67 km and 85 km lengths of NSHO and PDCP stations, respectively. The SISK station provided the minimum rmse of 41.82 cm for 52 km lengths whereas the PDCP station, having 85 km length, maximized at 15.74 m in a vertical direction. Therefore, based on these results, the smaller the average length of network triangle sides tended to improve the fixed solution efficiency and the CORS stations' horizontal and vertical positional accuracy.

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2022

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับ ข้าพเจ้าจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รอง ศาสตราจารย์ ดร.พุทธิพล ดำรงชัย กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จโดยสมบูรณ์ รวมถึงคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรม สํารวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำ ตลอดจน ปลุกฝังจิตวิญญาณของความเป็นนักสำรวจแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ พ.อ.เกรียงไกร บุญเต็ม ผู้อำนวยการกองยี่ห้อเดซีและยี่ห้อฟิสิกส์ กรมแผนที่ ทหาร ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ PC 6 ชุด รวมทั้งข้าราชการประจำกองยี่ห้อเดซีและยี่ห้อฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหารทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์โปรแกรม, เครื่องมือต่างๆ และข้อมูลสถานี CORS

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานและครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้ให้ความช่วยเหลือระหว่าง ที่ข้าพเจ้าทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติสืบต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นันทวัฒน์ โกงกระโทก

## สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ณ
บทที่ 1.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
บทที่ 2.....	10
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1.1 ระบบดาวเทียมนำหน GNSS (Global Navigation Satellite System).....	10
2.1.2 หลักการหาตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียม GNSS.....	13
2.1.2.1 วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning).....	13
2.1.3 วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจากสมการค่าสังเกต (Observation Equation).....	14
2.1.4 เทคนิคค่าต่าง (Differencing technique).....	16



2.1.5 วิธีการรังวัดแบบจลนในทันทีโดยอาศัยรูปแบบโครงข่ายสถานีฐาน (Network-Based RTK: NRTK).....	21
2.1.6 Virtual Reference Station (VRS) .....	22
2.1.7 RTCM standard และ RINEX format .....	24
2.1.8 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE).....	25
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	26
บทที่ 3 .....	31
3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
3.2 พิจารณาสถานี CORS ที่ให้เป็น rover และเตรียมเครื่องมือที่ใช้ .....	32
3.3 วิธีการ deemed rover analysis.....	32
3.4 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูล .....	33
บทที่ 4 .....	38
4.1 ชีตความสามารถ GNSS Fixed Solution .....	38
4.2 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัดการรังวัดแบบ NRTK ทั้ง 50 สถานี โดยใช้ค่าพิกัดของ CORS ในระบบอ้างอิง ITRF2014 เป็นค่าอ้างอิง .....	42
บทที่ 5 .....	63
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	64
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	65
5.3 ปัญหาและอุปสรรค.....	65
5.4 ข้อเสนอแนะ .....	66
บรรณานุกรม .....	68
ประวัติผู้เขียน .....	70

## สารบัญตาราง

### หน้า

ตารางที่ 1 สถานี CORS เป็น rover กับระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม .....	4
ตารางที่ 2 สถานี CORS เป็น rover กับระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม .....	5
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง RTCM 3.0 และ RINEX 2.2.....	25
ตารางที่ 4 ระยะเวลาการบันทึกข้อมูลจากการรังวัดสัญญาณแบบ NRTK และจำนวน epoch.....	36
ตารางที่ 5 ระยะเวลาการบันทึกข้อมูลจากการรังวัดสัญญาณแบบ NRTK และจำนวน epoch.....	37
ตารางที่ 6 ชีตความสามารถ GNSS Fixed Solution ของ CORS ที่เป็น rover.....	39
ตารางที่ 7 ชีตความสามารถ GNSS Fixed Solution ของ CORS ที่เป็น rover .....	40
ตารางที่ 8 ข้อมูลการเปรียบเทียบค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean) .....	43
ตารางที่ 9 ข้อมูลการเปรียบเทียบค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean) .....	44
ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD).....	47
ตารางที่ 11 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD).....	48
ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบ Root Mean Square Error (RMSE) .....	51
ตารางที่ 13 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบ Root Mean Square Error (RMSE) .....	52

## สารบัญรูปภาพ

### หน้า

รูปที่ 1 สถานี CORS จำนวน 50 สถานี และโครงข่าย GNSS CORS NETWORK 173 สถานี.....	3
รูปที่ 2 ไฟล์ *.pos จะเป็นการแสดงตัวอย่างแต่ละ epoch.....	6
รูปที่ 3 คอมพิวเตอร์ PC จำนวน 6 ชุด ของ กรมแผนที่ทหาร.....	8
รูปที่ 4 โปรแกรม RTKLIB ที่ใช้ มี 3 ส่วน strsvr.exe , rtknavi.exe , rtkplot.exe.....	9
รูปที่ 5 ข้อมูลบริการจาก IGS Real-time service.....	9
รูปที่ 6 ส่วนประกอบของรูปแบบดาวเทียมจีพีเอส.....	12
รูปที่ 7 พื้นที่แสดงเทคนิคค่าต่างลักษณะต่าง ๆ.....	16
รูปที่ 8 การหาค่าต่างครั้งที่สอง(เฉลิมชนม์ สิริระพจน์, 2549).....	20
รูปที่ 9 การหาค่าต่างครั้งที่สาม (เฉลิมชนม์ สิริระพจน์, 2549) .....	21
รูปที่ 10 หลักการทำงานของรูปแบบ VRS .....	24
รูปที่ 11 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	31
รูปที่ 12 ส่วน strsvr.exe การกำหนดใช้ Rover:CORS , Base:VRS , Ephemeris data.....	32
รูปที่ 13 การใช้ RTKLIB .....	33
รูปที่ 14 หน้าต่างการทำงานของ rtknavi.exe.....	33
รูปที่ 15 ตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์ของ ไฟล์ *.pos ใน rtkplot.exe.....	34
รูปที่ 16 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี PKKT ข้อมูลชุดที่ 6 .....	55
รูปที่ 17 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี PKKT ข้อมูลชุดที่ 6 .....	55
รูปที่ 18 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี UDON ข้อมูลชุดที่ 2 .....	56
รูปที่ 19 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี UDON ข้อมูลชุดที่ 2 .....	56
รูปที่ 20 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี NSHO ข้อมูลชุดที่ 1 .....	57
รูปที่ 21 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี NSHO ข้อมูลชุดที่ 1 .....	57

รูปที่ 22 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี PDCP ข้อมูลชุดที่ 4.....	58
รูปที่ 23 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี PDCP ข้อมูลชุดที่ 4.....	58
รูปที่ 24 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี UTHI ข้อมูลชุดที่ 8.....	59
รูปที่ 25 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี UTHI ข้อมูลชุดที่ 8.....	59
รูปที่ 26 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี SISK ข้อมูลชุดที่ 2.....	60
รูปที่ 27 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี SISK ข้อมูลชุดที่ 2.....	60
รูปที่ 28 กราฟแสดงผลการทดลองจากความสามารถ Fixed Solution จาก 50 CORS .....	61
รูปที่ 29 กราฟแสดงผลจากการทดลองจากค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด RMSE.....	62



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านสถานีค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่อง (Continuously Operating Reference Station - CORS) โดยศูนย์ข้อมูลค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่องแห่งชาติ (National CORS Data Center - NCDC) หน่วยงานร่วมบูรณาการข้อมูล ได้แก่ กรมแผนที่ทหารกองบัญชาการกองทัพไทยเป็น(หน่วยงานหลัก), กรมที่ดิน , กรมโยธาธิการและผังเมือง , สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ(องค์การมหาชน) (สสน.) , สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ , คณะกรรมการภูมิสารสนเทศแห่งชาติ และองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศของญี่ปุ่น (Japan International Cooperation Agency- JICA)

ศูนย์ข้อมูลค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่องแห่งชาติ มีวัตถุประสงค์เพื่อบูรณาการข้อมูลอ้างอิงพิกัด ให้มีความเป็นเอกภาพเป็นระบบเดียวกันทั่วประเทศ ให้บริการค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงที่มีเอกภาพ เป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งประเทศแก่หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และประชาชนทั่วไป โดยบูรณาการข้อมูลจากสถานี CORS ของหน่วยงานภาครัฐต่างๆทั่วประเทศ ส่งผลให้ค่าพิกัดจากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำร่อง หรือ GNSS มีความละเอียดถูกต้องมากขึ้น จึงถือเป็นข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และรักษาความมั่นคงให้กับประเทศ เช่น งานสำรวจเพื่อจัดทำแผนที่และภูมิสารสนเทศ งานรังวัดและจัดทำแปลงที่ดิน งานด้านวิศวกรรมและก่อสร้างสาธารณูปโภค (i-Construction) งานด้านภัยพิบัติ งานด้านบริหารจัดการน้ำ งานด้านคมนาคมขนส่งและยานยนต์ไร้คนขับ งานด้านเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farming) และงานด้านการทหาร ทาง NCDC ได้จัดทำโครงข่ายโดยใช้ 173 สถานี CORS เป็นสถานีการรับสัญญาณดาวเทียมต่อเนื่องถาวร หรือ GNSS CORS NETWORK (GNSS Continuously Operating Reference Station Network) โดยสถานีอ้างอิงแบบรับสัญญาณดาวเทียมต่อเนื่องถาวรนี้ จะส่งสัญญาณค่าปรับแก้ในรูปแบบโครงข่าย ทำให้ได้ค่าประมวลผลเชิงตำแหน่งที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงในเวลารวดเร็ว

วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่าย (Network based Real-Time Kinematic: NRTK) ได้พัฒนามาจากการรังวัดแบบ RTK โดยใช้สถานีฐานเพียงเครื่องเดียว จึงมีข้อจำกัดของความยาว baseline มีผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่งค่าพิกัด ในระบบ NRTK จะใช้โครงข่ายของสถานีฐานโดยรอบของสถานีผู้ใช้งาน ทำการปรับแก้ค่าพิกัดให้เกิดความถูกต้องแม่นยำสูงยิ่งขึ้น และเป็นที่ยอมรับที่ใช้กันได้แก่ เทคนิคสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station VRS) ในประเทศไทยเคยได้มีการประเมินโดยทดสอบการรังวัดโดยใช้เทคนิค VRS (ชญานนท์ เหล่านิพนธ์, 2564; สมเกียรติ ทิพย์สุนทนา, 2560) แต่ในการประเมินประสิทธิภาพนั้น ไม่ได้ใช้วิธีการ deemed rover analysis ซึ่งงานวิจัยนี้ได้จัดทำเพื่อประเมินประสิทธิภาพสถานี CORS โดยใช้โครงข่ายสถานี CORS ของ NCDC

ในวิธี deemed rover analysis นี้ได้รับการพัฒนาโดย Mr. Hosoya of Jenoba และตั้งชื่อว่า “deemed rover analysis” เป็นวิธีการประเมินประสิทธิภาพของโครงข่าย GNSS CORS NETWORK (Hosoya, 2013) (translated version) หลักการทำงานของ deemed rover analysis เป็นการรังวัด NRTK โดยที่ไม่ต้องไปรังวัดในพื้นที่ แต่ใช้โปรแกรม RTKLIB และเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตโดยใช้โปรแกรมกำหนดสถานี CORS ให้เป็น rover วิเคราะห์ผลแบบเรียลไทม์ได้ โดยในงานวิจัยนี้เลือก 50 สถานี CORS เป็น rover ที่ไม่อยู่ในโครงข่ายสถานีของ NCDC และใช้การส่งสัญญาณค่าปรับแก้ในรูปแบบโครงข่ายของ NCDC 173 สถานี โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิค VRS กับโปรแกรม RTKLIB วิเคราะห์ผลแบบเรียลไทม์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การประเมินประสิทธิภาพการ Fix solution ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและดิ่งของสถานี CORS กับระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม โดยวิธี deemed rover analysis

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

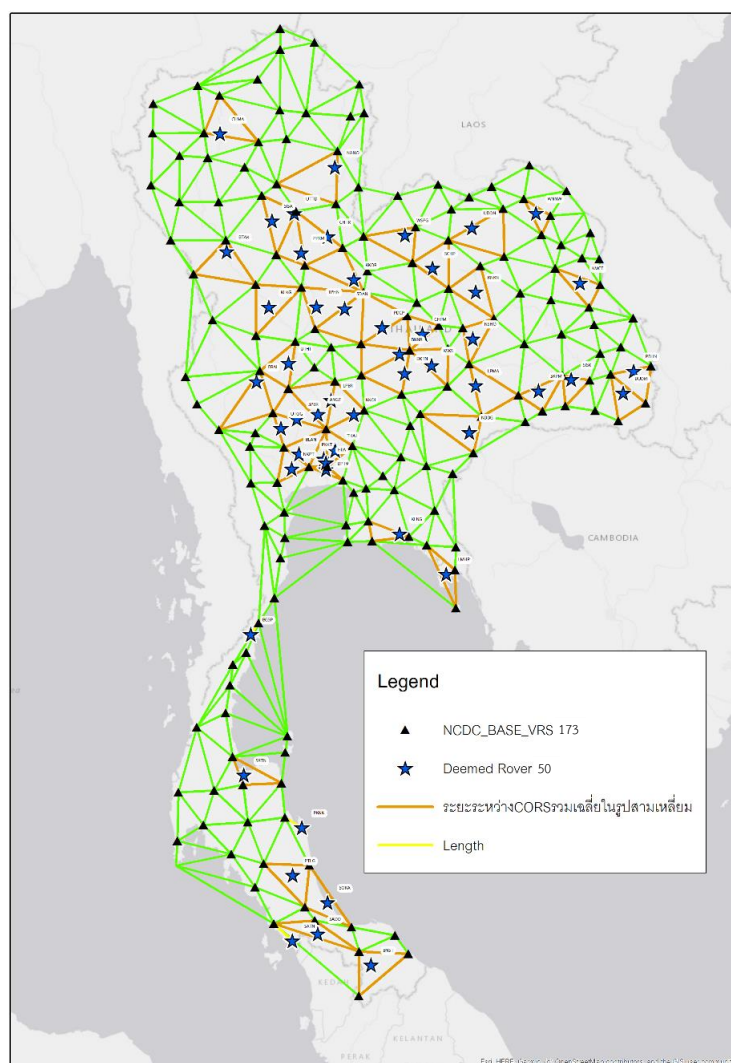
1. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการ Fix solution ของ CORS 50 สถานี กับระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยมของ NCDC โดยวิธี deemed rover analysis รังวัดแบบ NRTK ในเทคนิค VRS

2. เพื่อสังเกตค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและดิ่งของ CORS 50 สถานี กับระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยมของ NCDC โดยวิธี deemed rover analysis รังวัดแบบ NRTK ในเทคนิค VRS

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

#### 1.3.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ทำ deemed rover analysis โดยใช้สถานี CORS ที่ไม่อยู่ในโครงข่ายของ NCDC จำนวน 50 สถานีเป็น rover ที่สามารถให้บริการข้อมูลได้ ดังภาพที่ 1 โดยกระจายทั่วประเทศไทย และใช้โครงข่ายของ NCDC เวลาเริ่มเก็บข้อมูลทำ deemed rover analysis แบบ NRTK เทคนิค VRS ตั้งแต่ วันที่ 11 ตุลาคม 2565 ถึง วันที่ 1 ธันวาคม 2565 โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที พิกัดอ้างอิงของแต่ละ CORS อยู่ในระบบอ้างอิง ITRF2014 และระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม ดังตารางที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 สถานี CORS จำนวน 50 สถานี และโครงข่าย GNSS CORS NETWORK 173 สถานี

ตารางที่ 1 สถานี CORS เป็น rover กับระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม

No.	Station	Latitude	Longitude	Height(m)	ระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูป สามเหลี่ยม (km.)
1	NSHO	15.733253377	102.79592450	145.7252	67
2	KNKN	16.440950390	102.83794918	138.6475	81
3	WNNW	17.631715712	103.75195952	142.7343	51
4	SISK	15.116119487	104.28568379	104.9807	52
5	SKPM	14.945870964	103.79175040	119.9560	65
6	KMCE	16.577164432	104.41846074	159.7373	69
7	PBHN	15.245097785	105.23009253	108.9944	69
8	DUDM	14.910108774	105.06968647	116.0979	69
9	UDON	17.412729500	102.78071207	150.0929	93
10	SDAN	16.189144698	100.85928256	75.1428	88
11	PDCP	15.904701243	101.42169191	249.2079	85
12	CHTK	17.276433520	100.59958760	174.7823	85
13	SATN	6.649422522	100.083920436	-3.4877	(ระยะห่างCORSใกล้สุด 23 km. ไม่มีCORSโดยรอบสามด้าน)
14	PKNK	8.337822385	100.20888446	-11.8190	(ระยะห่างCORSใกล้สุด 23 km. ไม่มีCORSโดยรอบสามด้าน)
15	BGSP	11.259827443	99.43758731	7.1121	(ระยะห่างCORSใกล้สุด 23 km. ไม่มีCORSโดยรอบสามด้าน)
16	DPT9	13.756778440	100.57320464	37.9460	41
17	PKKT	13.912475088	100.54007624	13.3315	54
18	KLNG	12.780838038	101.68817374	-11.0905	56
19	THAI	14.043005540	100.71361700	-7.5190	56
20	NKPT	13.766619940	100.05706020	-19.0670	57
21	CHPM	15.805505854	102.03102819	158.9203	58
22	BLAN	13.988144311	100.16630841	-17.9098	65
23	SRTN	9.132221105	99.33136126	9.8134	69
24	KSKS	15.329590432	102.17136055	160.7132	71
25	PPRM	17.033671436	100.20160417	20.3934	74



ตารางที่ 2 สถานี CORS เป็น rover กับระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม

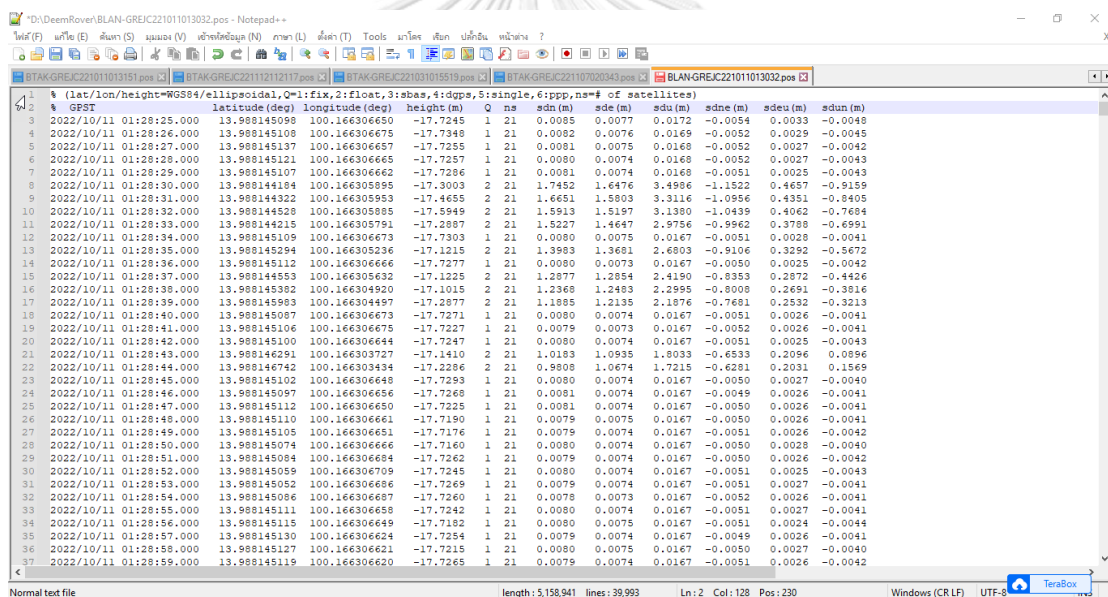
No.	Station	Latitude	Longitude	Height(m)	ระยะระหว่างCORSรวมเฉลี่ยใน รูปสามเหลี่ยม (km.)
26	BNNR	15.499833910	101.68669953	186.6422	74
27	SCHP	16.801187036	102.18713617	179.3037	74
28	WSPG	17.300782920	101.76866434	228.9555	78
29	DKTN	15.209029335	101.76587637	193.3631	79
30	SISA	17.517529626	99.76045212	41.0871	81
31	UTTD	17.630091295	100.09634992	51.0718	81
32	PTLG	7.615585589	100.07152790	-2.6788	82
33	KKOR	16.627934930	100.99562669	911.0076	85
34	LPMA	15.025113301	102.83917602	145.0027	85
35	BNST	6.261418020	101.25511625	46.8051	89
36	NDDG	14.316148436	102.74341240	231.2450	90
37	SOKA	7.206688916	100.59612241	18.7065	94
38	NANO	18.327363169	100.71032780	248.7571	100
39	SADO	6.730635420	100.44909683	24.3851	103
40	CHMA	18.835272900	98.96996313	295.6300	85
41	BTAK	17.050608418	99.07397776	93.4371	89
42	UTHI	15.360825755	100.00866892	0.5017	70
43	KKOI	14.586387629	100.99833379	-0.8937	73
44	UTOG	14.377269642	99.89308625	-13.9147	75
45	SPBR	14.518871913	100.13058516	-13.3197	77
46	LPBR	14.800904690	100.65125210	9.4090	84
47	ANGT	14.590610780	100.45532060	-19.8020	84
48	KLKG	16.213314149	99.71128647	34.2731	89
49	TPHN	16.218849044	100.42855346	10.0603	91
50	BRAI	15.083729017	99.52188814	125.3349	95

### 1.3.2 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

ศึกษาข้อมูลที่ได้จากวิธีการ deemed rover analysis รังวัดแบบ NRTK ระบบ VRS ที่เก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ จากสถานี CORS ที่เป็น rover 50 สถานี ที่กระจายทั่วประเทศไทย มาประเมินประสิทธิภาพสถานี CORS กับระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยมของ NCDC ดังภาพที่ 1

### 1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลที่ได้จากการทำ deemed rover analysis เป็นการรังวัดแบบ NRTK ระบบ VRS โดยวิเคราะห์แบบเรียลไทม์ ในแต่ละ epoch ทุกๆ 1 วินาที เป็นไฟล์ \*.pos จะเป็นการแสดงตัวอย่างแต่ละ epoch ดังภาพที่ 2 โดยมีข้อมูลที่แสดง ดังนี้



GPST	latitude (deg)	longitude (deg)	height (m)	Q	ns	sdn (m)	sde (m)	sdu (m)	sdx (m)	sdy (m)
2022/10/11 01:28:25.000	13.988145098	100.166306650	-17.7245	1	21	0.0085	0.0077	0.0172	-0.0054	0.0033
2022/10/11 01:28:26.000	13.988145108	100.166306675	-17.7348	1	21	0.0082	0.0076	0.0169	-0.0052	0.0029
2022/10/11 01:28:27.000	13.988145137	100.166306657	-17.7255	1	21	0.0081	0.0075	0.0168	-0.0052	0.0027
2022/10/11 01:28:28.000	13.988145121	100.166306665	-17.7257	1	21	0.0080	0.0074	0.0168	-0.0052	0.0027
2022/10/11 01:28:29.000	13.988145107	100.166306662	-17.7286	1	21	0.0081	0.0074	0.0168	-0.0051	0.0025
2022/10/11 01:28:30.000	13.988145184	100.166305955	-17.3003	2	21	1.7452	1.6476	3.4986	-1.1522	0.4657
2022/10/11 01:28:31.000	13.988144322	100.166305953	-17.4655	2	21	1.6651	1.5803	3.3116	-1.0956	0.4351
2022/10/11 01:28:32.000	13.988144528	100.166305985	-17.5949	2	21	1.5913	1.5197	3.1380	-1.0439	0.4062
2022/10/11 01:28:33.000	13.988144215	100.166305791	-17.2887	2	21	1.5227	1.4647	2.9756	-0.9962	0.3788
2022/10/11 01:28:34.000	13.988145109	100.166306673	-17.7303	1	21	0.0080	0.0075	0.0167	-0.0051	0.0028
2022/10/11 01:28:35.000	13.988145294	100.166305236	-17.1215	2	21	1.3993	1.3681	2.6803	-0.9106	0.3292
2022/10/11 01:28:36.000	13.988145112	100.166306666	-17.7277	1	21	0.0080	0.0073	0.0167	-0.0050	0.0025
2022/10/11 01:28:37.000	13.988144553	100.166305632	-17.1225	2	21	1.2877	1.2854	2.4190	-0.8353	0.2872
2022/10/11 01:28:38.000	13.988145382	100.166304920	-17.1015	2	21	1.2368	1.2483	2.2995	-0.8008	0.2691
2022/10/11 01:28:39.000	13.988145983	100.166304497	-17.2877	2	21	1.1885	1.2135	2.1876	-0.7681	0.2532
2022/10/11 01:28:40.000	13.988145087	100.166306673	-17.7271	1	21	0.0080	0.0074	0.0167	-0.0051	0.0026
2022/10/11 01:28:41.000	13.988145106	100.166306675	-17.7227	1	21	0.0075	0.0073	0.0167	-0.0052	0.0026
2022/10/11 01:28:42.000	13.988145100	100.166306644	-17.7247	1	21	0.0080	0.0074	0.0167	-0.0051	0.0025
2022/10/11 01:28:43.000	13.988146291	100.166303727	-17.1410	2	21	1.0183	1.0935	1.8033	-0.6533	0.2096
2022/10/11 01:28:44.000	13.988146742	100.166303434	-17.2286	2	21	0.9808	1.0674	1.7215	-0.6281	0.2031
2022/10/11 01:28:45.000	13.988145102	100.166306648	-17.7293	1	21	0.0080	0.0074	0.0167	-0.0050	0.0027
2022/10/11 01:28:46.000	13.988145097	100.166306656	-17.7268	1	21	0.0081	0.0074	0.0167	-0.0049	0.0026
2022/10/11 01:28:47.000	13.988145112	100.166306650	-17.7225	1	21	0.0081	0.0074	0.0167	-0.0050	0.0026
2022/10/11 01:28:48.000	13.988145110	100.166306661	-17.7190	1	21	0.0079	0.0075	0.0167	-0.0050	0.0026
2022/10/11 01:28:49.000	13.988145105	100.166306651	-17.7176	1	21	0.0079	0.0074	0.0167	-0.0051	0.0026
2022/10/11 01:28:50.000	13.988145074	100.166306666	-17.7160	1	21	0.0080	0.0074	0.0167	-0.0050	0.0028
2022/10/11 01:28:51.000	13.988145084	100.166306694	-17.7262	1	21	0.0075	0.0074	0.0167	-0.0050	0.0026
2022/10/11 01:28:52.000	13.988145059	100.166306709	-17.7245	1	21	0.0080	0.0074	0.0167	-0.0051	0.0025
2022/10/11 01:28:53.000	13.988145052	100.166306696	-17.7269	1	21	0.0079	0.0074	0.0167	-0.0051	0.0027
2022/10/11 01:28:54.000	13.988145086	100.166306687	-17.7260	1	21	0.0078	0.0073	0.0167	-0.0052	0.0026
2022/10/11 01:28:55.000	13.988145111	100.166306658	-17.7242	1	21	0.0080	0.0074	0.0167	-0.0051	0.0027
2022/10/11 01:28:56.000	13.988145115	100.166306649	-17.7182	1	21	0.0080	0.0075	0.0167	-0.0051	0.0024
2022/10/11 01:28:57.000	13.988145130	100.166306624	-17.7254	1	21	0.0075	0.0074	0.0167	-0.0049	0.0026
2022/10/11 01:28:58.000	13.988145127	100.166306621	-17.7215	1	21	0.0080	0.0075	0.0167	-0.0050	0.0027
2022/10/11 01:28:59.000	13.988145119	100.166306620	-17.7265	1	21	0.0079	0.0074	0.0167	-0.0051	0.0026

รูปที่ 2 ไฟล์ \*.pos จะเป็นการแสดงตัวอย่างแต่ละ epoch

GPST คือ ปี / เดือน / วัน และ ชั่วโมง / นาที / วินาที

latitude (deg) คือ ค่ามุม latitude

longitude(deg) คือ ค่ามุม longitude

height (m) คือ ค่าความสูง Ellipsoidal

Q คือ Fixed Solution แสดงเลข 1 และ float Solution แสดงเลข 2

ns	คือ จำนวนดาวเทียมที่รับวัด
sdn(m)	คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Northing
sde(m)	คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Easting
sdu(m)	คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Up
sdne(m)	คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระนาบ Northing และ Easting
sdeu(m)	คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระนาบ Easting และ Up
sdun(m)	คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระนาบ Up และ Northing

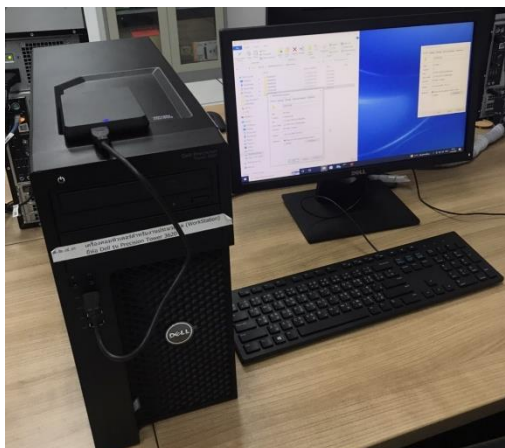
#### 1.3.4 การเปรียบเทียบผลการศึกษา

1.3.4.1 การเปรียบเทียบผลพิจารณาความถูกต้องของค่าพิกัดในทางราบและทางตั้งจากตำแหน่งของ CORS ที่เป็น Rover ในงานวิจัยนี้ โดยแบ่งเกณฑ์ตามระยะห่างเฉลี่ยสามด้านระหว่างสถานีฐาน โดยวิธีการ NRTK GNSS Network ด้วยเทคนิค VRS ทำการทดสอบ และทำการวิเคราะห์จำนวนการ Fixed Solution ระยะเวลาจากการรับวัดด้วยวิธีการ VRS แบ่งเป็น 8 ชุดข้อมูล คือ 1 วัน(จำนวน 2 CORS) , 16วัน(จำนวน 7 CORS) , 22 วัน(จำนวน 1 CORS) , 24 วัน(จำนวน 1 CORS) , 26 วัน(จำนวน 1 CORS) , 29 วัน(จำนวน 27 CORS) , 32 วัน(จำนวน 2 CORS) , 51 วัน(จำนวน 9 CORS) โดยจำนวนวันในการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน เนื่องจากการให้บริการของ CORS แต่ละสถานีนั้นมีปัญหาในการเปิดให้บริการ และปัญหาอื่นๆที่ทำให้ไม่สามารถเปิดให้บริการได้ จึงมีจำนวนวันที่บันทึกข้อมูลได้ที่แตกต่างกันตามชุดข้อมูลที่กล่าวข้างต้น

1.3.4.2 การเปรียบเทียบแนวโน้มของค่าต่างของรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองในทางราบ Root Mean Square Error (RMSE) , ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน standard deviation (SD) และค่าเฉลี่ย average (AVE) ที่ได้จาก CORS โดยทำการแบ่งเกณฑ์ในการวิเคราะห์ตามข้อ 1.3.4.1 โดยค่าที่ได้จาก CORS จะนำมาหาความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

### 1.3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

คอมพิวเตอร์ PC จำนวน 6 ชุดของกรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทยที่ใช้ในงาน deemed rover analysis



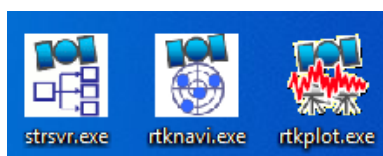
รูปที่ 3 คอมพิวเตอร์ PC จำนวน 6 ชุด ของ กรมแผนที่ทหาร

### 1.3.6 โปรแกรมและไฟล์ข้อมูลในการศึกษาวิจัย

deemed rover analysis ใช้โปรแกรม RTKLIB มี 3 ส่วน strsvr.exe , rtknavi.exe , rtkplot.exe และ ไฟล์ข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย

strsvr.exe	เป็นโปรแกรมที่กำหนดการนำข้อมูลของ Rover , Base แบบ VRS , and Ephemeris data เป็นข้อมูลบริการจาก IGS Real-time service
rtknavi.exe	เป็นโปรแกรมที่จัดการ strsvr.exe ให้นำข้อมูลเข้ามาวิเคราะห์แบบเรียลไทม์ละบันทึกออกเป็นไฟล์ *.pos
rtkplot.exe	เป็นโปรแกรมแสดงข้อมูลและผลลัพธ์ของ ไฟล์ *.pos
ไฟล์ igs14.atx	เป็น PCV correction file (Antenna Phase Center-Variation)

ไฟล์ \*.pos เป็นไฟล์ output ของ rtknavi.exe ค่าพิกัดของ rover ที่ได้ในแต่ละ epoch ทุกๆ 1 วินาที ในรูปแบบ “pos” format



รูปที่ 4 โปรแกรม RTKLIB ที่ใช้ มี 3 ส่วน strsvr.exe , rtknavi.exe , rtkplot.exe

Caster	Url	Streams Available
IGS Central Bureau	<a href="http://rt.igs.org:2101">http://rt.igs.org:2101</a>	IGS Observables IGS Products
IGS Real-Time Working Group (Operated by BKG)	<a href="http://www.igs-ip.net">http://www.igs-ip.net</a>	IGS Observables
IGS Real-Time Working Group (Operated by BKG)	<a href="http://products.igs-ip.net">http://products.igs-ip.net</a>	IGS Products

รูปที่ 5 ข้อมูลบริการจาก IGS Real-time service

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 การใช้ deemed rover analysis สามารถประเมินประสิทธิภาพ CORS เพื่อในการพัฒนาโครงข่ายสถานี CORS ต่อไปได้ในอนาคต

1.4.2 โดยทราบถึงระยะเวลาที่เพียงพอในการประเมินประสิทธิภาพสถานี CORS เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจเรื่องระยะเวลาการใช้งานของผู้ที่จะใช้งานสถานี CORS ของ NCDC และไม่ต้องไปรบกวนในภูมิประเทศจริง เพื่อลดค่าใช้จ่าย และลดการใช้ทรัพยากรบุคคล

## บทที่ 2

### แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

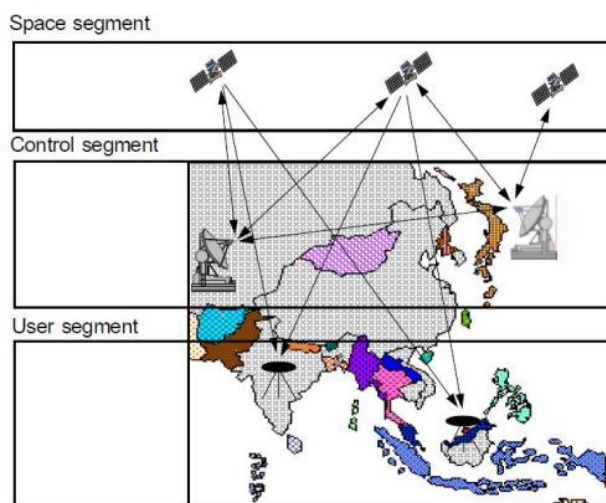
##### 2.1.1 ระบบดาวเทียมนำหน GNSS (Global Navigation Satellite System)

เป็นรูปแบบนำทางด้วยดาวเทียม Global Navigation Satellite System (GNSS) เป็นรูปแบบดาวเทียมนำหนให้ข้อมูลตำแหน่งบนพื้นผิวโลก โดยมีความต่อเนื่องการกระจายสัญญาณในหลายความถี่ (L-Band) ในปัจจุบันได้มีรูปแบบดาวเทียมที่เกิดขึ้นหลายรูปแบบ อาทิเช่น GLONASS มีความคล้ายคลึงกับรูปแบบดาวเทียมของ GPS ในการทำงานของรูปแบบดาวเทียมนำหนที่จะส่งสัญญาณจากดาวเทียมมาในยังอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณและนำค่ามาหาตำแหน่งต่างๆได้ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

โดยในปัจจุบัน GNSS ได้มีดาวเทียมที่เกิดขึ้นใหม่ในหลายประเทศ ที่มีการพัฒนาขีดความสามารถเรื่องความแม่นยำทางตำแหน่งในสามมิติ และอายุการใช้งานบนอวกาศที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ในการให้บริการในรูปแบบใหม่ๆ เพื่อตอบสนองกับผู้ใช้ ในแต่ละประเทศหรือแต่ละภูมิภาคมีความต้องการที่จะใช้ดาวเทียมเป็นของตนเอง ทำให้สามารถได้ใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ อาทิเช่น Global Positioning System (GPS) เป็นของประเทศ USA โดยส่งดาวเทียมรุ่น GPSIII จำนวน 2 ดวง ในวันที่ 23 ธันวาคม 2561 และ 22 สิงหาคม 2562 คุณสมบัติให้ความแม่นยำและกำลังส่งสัญญาณที่เพิ่มขึ้น และได้พัฒนาสัญญาณ L1C ตัวใหม่ในส่วนของพลเรือน ที่มีอายุการใช้งานของดาวเทียมเพิ่มขึ้นอีก 15 ปี, GLObal NAVigation Satellite System (GLONASS) เป็นดาวเทียมของประเทศรัสเซีย และได้เปิดตัว GLONASS-M ในวันที่ 16 มีนาคม 2563 ได้มีการปรับปรุงความเสถียรในส่วนของนาฬิกาเครื่องรับดาวเทียม และยังได้พัฒนาโครงข่ายทางด้านข้อมูลภูมิศาสตร์ทั่วโลก เดิมทีมีแค่รัสเซียเท่านั้น, Galileo Navigation Satellite System (Galileo) เป็นดาวเทียมของสหภาพยุโรป โดยได้เปลี่ยนดาวเทียมเป็นรุ่นที่สอง (G2G) ในด้านการให้บริการจะเป็นบริการเชิงพาณิชย์ และแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย ที่ให้บริการแบบ High-Accuracy Service (HAS) และPre-cise Point Positioning (PPP) โดยมีความแม่นยำจากดาวเทียมจะอยู่ที่ 20-40 ซม., BeiDou Navigation Satellite System (BDS) เป็นดาวเทียมของสาธารณรัฐประชาชนจีน ได้การพัฒนาที่รวดเร็ว และได้ทำการเปิดตัวดาวเทียม 18 ครั้งภายในระยะเวลา 2 ปี ในแต่ละดาวเทียมจะสามารถเชื่อมต่อในระหว่างดาวเทียมได้

และเปิดให้บริการ PPP, และในส่วนของ Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS) ที่เป็นดาวเทียมของประเทศอินเดีย ซึ่งเป็นรูปแบบระบบตำแหน่งบนดาวเทียมที่มีอิสระ เป็นวัตถุประสงค์หลักในการนำทางและกำหนดเวลาที่สามารถเชื่อถือได้ โดยสามารถขยายพื้นที่โดยรอบในประเทศอินเดียได้ 1,500 กม. ได้ตั้งชื่อใหม่ว่า Navigation with Indian Constellation (NavIC) (Hein, 2020)

Japanese Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) เป็นของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีการใช้ดาวเทียมในระดับภูมิภาค และมีการส่งสัญญาณดาวเทียมเสริมของ Systems (SBAS) ของประเทศญี่ปุ่นมีชื่อว่า Multifunctional Transport Satellites (MTSAT) ซึ่งได้ให้บริการเป็นหลักมาจนถึงปัจจุบัน ในด้านการคมนาคม การบิน และอื่นๆ, Regional South Korean Positioning System (KPS) เป็นของประเทศเกาหลีใต้ ได้มีการวางแผนในรูปแบบการนำทางด้วยดาวเทียมของตนเอง ในเดือนกุมภาพันธ์ 2561 จะคล้ายกับ NavIC และ QZSS ที่จะครอบคลุมพื้นที่ประเทศเกาหลีใต้ประมาณ 1,000 กม. ในพื้นที่โดยรอบปัจจุบันได้นำเอารูปแบบ GNSS เข้ามาใช้งานในด้านต่าง ๆ อีกมากมายไม่ว่าจะใช้ในการนำทาง การระบุตำแหน่ง หรืองานที่ต้องการความละเอียดความถูกต้องเชิงตำแหน่งสูง อาทิเช่น งานสำรวจ งานทำแผนที่ หรืองานออกแบบทางด้านวิศวกรรม เป็นต้น แต่ในรูปแบบของ GNSS ไม่ได้มีแค่การนำทางหรือจะเป็นการระบุตำแหน่งเพียงเท่านั้น แต่ยังสามารถนำรูปแบบนี้ไปประยุกต์กับงานอื่นๆอีกมากมาย ที่ผ่านมานั้นได้มีผู้ศึกษาวิจัยที่ทำการประยุกต์ใช้รูปแบบ GNSS ในงานประเภทต่าง ๆ อาทิเช่น การจัดการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (Disaster Mitigation and Management) ในการบริการบอกตำแหน่ง (Location based Services) การเกษตรความแม่นยำสูง (Precise Agriculture) ที่ควบคุมเครื่องจักรและการสำรวจ (Construction machine guidance/control and survey) ในรูปแบบของการขนส่งอัจฉริยะ (Intelligence Transportation Systems) ในส่วนของหลักการทำงานจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือในรูปแบบดาวเทียมจีพีเอส แสดงตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ส่วนประกอบของรูปแบบดาวเทียมจีพีเอส

1) ส่วนอวกาศ (Space segment) ส่วนอวกาศนี้จะประกอบไปด้วยดาวเทียมและสัญญาณการส่งออกมาด้วยดาวเทียม ด้วยระบบดาวเทียม GNSS ที่โคจรรอบโลกโดยมีความสูงที่ประมาณ 20,000 กิโลเมตร ในดาวเทียม GNSS นั้นในส่วนของระบบ ที่จะมีกลุ่มดาวเทียมที่จัดรูปแบบวงโคจร และครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ ในส่วนมากจะจัดให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้โดยต้องมีอย่างน้อย 4 ดาวเทียมทั่วโลกตลอด 24 ชั่วโมง ในสัญญาณที่ส่งออกไปจากดาวเทียมทั่วไบนั้นจะเป็น คลื่นวิทยุ ที่คลื่นดังกล่าวนั้นถูกผสมผสานรหัสและข้อมูลของดาวเทียมไปกับคลื่นที่เรียกว่า การกล้ำสัญญาณ (Modulation) ด้วยรหัสและข้อมูลดาวเทียมนั้นได้แก่ ข้อมูลของวงโคจรที่ถูกต้องในส่วนของดาวเทียม (Ephemeris Data) โดยการส่งรหัส (Code) กับข้อมูล Carrier Phase และข้อมูลตำแหน่งโดยประมาณในส่วนของดาวเทียมทั้งหมด (Almanac Information) เป็นต้น

2) ส่วนควบคุม (Control Segment) ประกอบไปด้วยสถานีภาคพื้นดินที่จำเป็น ต่อการติดตามดาวเทียม การคำนวณวงโคจรดาวเทียม การดูแลรักษาระบบ และควบคุมส่วนอวกาศ ซึ่งจะประกอบไปด้วยสถานีควบคุมหลัก (Master control station) เป็นการประมวลผลข้อมูล ทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นข้อมูลวงโคจรดาวเทียม ข้อมูลค่าแก้เวลา นาฬิกาดาวเทียมและข้อมูลอื่น ๆ ที่สถานีอัปโหลด (Upload station) โดยเป็นสถานีคอยส่งข้อมูลที่คำนวณได้จากสถานีควบคุมหลัก ไปดาวเทียมและสถานีติดตาม (Monitor Stations) ทำหน้าที่คอยติดตามดาวเทียม

3) ส่วนผู้ใช้ (User Segment) ที่เป็นการประยุกต์การใช้งานในด้านต่าง ๆ ของเครื่องรับสัญญาณ หรือวิธีการประมวลผลที่อยู่ในรูปแบบของซอฟต์แวร์ สำหรับประเภทของผู้ใช้งานนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นผู้ใช้ทางการทหาร และพลเรือน โดยผู้ใช้พลเรือน จะไม่ได้รับ อนุญาตให้



สามารถเข้าถึงสัญญาณหรือการบริการของ GNSS ทั้งหมด ในปัจจุบันเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมนั้น ได้มีความหลากหลายเป็นอย่างมาก ที่แบ่งตามชนิดของการรังวัด ได้แก่ การรังวัดด้วย ซูโดเรนจ์ การรับสัญญาณความถี่แบบหนึ่งความถี่ สองความถี่ หรือมากกว่านั้น โดยทั่วไปแล้วจะ ให้ข้อมูลสถานะ กลุ่มดาวเทียม กำหนดเวลาและข้อมูลการโคจร

## 2.1.2 หลักการหาตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียม GNSS

หลักการในการระบุตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียม GNSS ประกอบไปด้วย วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) และค่าเรขาคณิตของดาวเทียม (Satellite Geometry) โดยอธิบายรายละเอียดได้ ดังนี้

### 2.1.2.1 วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)

ในการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์เป็นวิธีที่ใช้กับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง และ ต้องทราบตำแหน่งสัมบูรณ์อย่างน้อยหนึ่งจุด เพื่อใช้หาตำแหน่งสัมบูรณ์ของจุดอื่น ๆ ฉะนั้นจะต้องมีเครื่องรับโดยอย่างน้อย 2 เครื่องในการทำงาน ในหลักการทำงานของการทำงานตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นั้นคือการนำเครื่องรับสัญญาณเครื่องหนึ่งไปวางไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า สถานีฐาน (Base station) หรือสถานีอ้างอิง (Reference station) ส่วนเครื่องที่สองจะถูกนำไปวางรับสัญญาณตามจุดต่างๆที่ต้องการทราบค่าพิกัด เรียกว่า สถานีผู้ใช้ (User station) การหาค่าพิกัดของ ตำแหน่งจุดต่าง ๆ ด้วยวิธีนี้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานีฐานและสถานีจร ข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกัน ทั้งนี้จะต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อยที่สุด 4 ดาวเทียม ด้วยการทำงานในลักษณะดังกล่าวนี้ ความคลาดเคลื่อนมีระบบ (Systematic errors) หลายชนิด ดังเช่น ความคลาดเคลื่อนจากวงโคจร ความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศ ความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมและนาฬิกาเครื่องรับ เป็นต้น โดยจะถูกหักล้างกันไปทำให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้นั้นดีขึ้น (เฉลิมชนม์ สกัระพจน์, 2549)

### 2.1.2.2 ค่าเรขาคณิตของดาวเทียม (Satellite Geometry)

ค่าความถูกต้องของตำแหน่งที่ได้จะขึ้นอยู่กับเรขาคณิตของดาวเทียม ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ด้วย ค่า DOP (Dilution of Precision) แสดงไว้ดังสมการที่ 1

$$\sigma = \sigma_0 * DOP \quad (1)$$

โดยที่

$\sigma$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตำแหน่งที่ต้องการทราบ

$\sigma_0$  คือ แสดงถึงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะที่วัดได้

ทั้งนี้ค่า DOP ยังแบ่งออกได้เป็นหลายๆชนิด เช่น HDOP (Horizontal Dilution of Precision), PDOP (Positional Dilution of Precision), TDOP (Time Dilution of Precision), GDOP (Geometric Dilution of Precision) เป็นต้น ซึ่งค่า GDOP จะเป็นตัว บ่งชี้ถึงความถูกต้องโดยรวม หากสมมุติบอกถึงความถูกต้องของระยะที่วัดได้เท่ากัน จะเห็นได้ว่า ถ้าค่า DOP ยิ่งต่ำก็จะทำให้ ได้ ความถูกต้องของตำแหน่งที่ต้องการสูงขึ้น (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

### 2.1.3 วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจากสมการค่าสังเกต (Observation Equation)

ในค่าที่รังวัดได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส และนำมาใช้ประโยชน์ในการ คำนวณหา ตำแหน่งที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ ซูโดเรนจ์ (Pseudorange) และเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase) ซึ่งมี รายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.1.3.1 ซูโดเรนจ์ (Pseudorange)

คือ ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม โดยหาได้จากการถอดรหัส จากสัญญาณที่ส่งออกจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น โดยจะทำการ เลื่อนไปมาจนกระทั่งได้รหัสที่ตรงกัน ทำให้ทราบระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการ เดินทางจากดาวเทียม มายังเครื่องรับสัญญาณ เมื่อนำระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจาก ดาวเทียมมายังเครื่องรับ สัญญาณมาคูณกับความเร็วแสง จะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับ เครื่องรับสัญญาณ เรียกว่า ซูโด เรนจ์ ค่ารังวัดที่ได้จากซูโดเรนจ์นี้ จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจาก ระยะทางจริงระหว่างดาวเทียม และ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อน หลายชนิด เช่น ความคลาดเคลื่อนวง โคจรดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และ ความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่น เดินทางผ่าน ชั้นบรรยากาศ เป็นต้น ดังสมการที่ 2

$$R = \rho + \Delta r + d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta_r - \Delta\delta^s) + dm_R + \varepsilon_R \quad (2)$$

โดยที่

R คือ ข้อมูลซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดระหว่างดาวเทียมถึงเครื่องรับ (เมตร)

$\rho$  คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)

$\Delta r$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)

- $d_{ion}$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
- $d_{trop}$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
- $C$  คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (วินาที/เมตร)
- $\Delta\delta_r$  คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
- $\Delta\delta^s$  คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
- $dm_R$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (เมตร)
- $\varepsilon_R$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในชุดเรดาร์ที่วัดได้ของ คลื่นส่ง (เมตร)

### 2.1.3.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase)

คือ การวัดเฟสของคลื่นส่งใช้สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูงในระดับเซนติเมตร ซึ่ง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้อัตราเฟสของคลื่นส่งในการประมวลผลข้อมูลซึ่งการวัดเฟสของคลื่นส่งใน เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เป็นการวัดเปรียบเทียบหรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่ง สัญญาณลงมาถึงเฟสของคลื่นความถี่ที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสร้างขึ้นมา โดยดาวเทียมจะแยก คลื่นส่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของสัญญาณคลื่นจำนวนเต็มรอบ (Integer Cycle Part) เรียกว่า จำนวนลูกคลื่นปริศนา (Integer Cycle Ambiguity) หรือเลขปริศนา (Ambiguity) กับส่วนที่ สัญญาณไม่เต็มรอบ (Fractional Part) โดยสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสของคลื่นส่ง(Leick, 2015; Rizos, 1997; Teunissen, 1997) ดังสมการที่ 3

$$\varphi = \rho + \Delta r - d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta_r - \Delta\delta^s) + dm_\varphi + \varepsilon_\varphi + \lambda N \quad (3)$$

- $\varphi$  คือ เฟสของคลื่นส่ง (เมตร)
- $\rho$  (เมตร) คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ
- $\Delta r$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
- $d_{ion}$  คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
- $d_{trop}$  (เมตร) คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์
- $C$  (วินาที/เมตร) คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง



### 2.1.4.1 การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single differencing)

เป็นการนำข้อมูลมาหาค่าต่างเพียงหนึ่งครั้ง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสามลักษณะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

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

การหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับเป็นการนำเอาค่าที่วัดได้จากดาวเทียมดวงเดียวกันที่จุดสองจุดมาหาค่าต่าง เช่น มีการตั้งเครื่องรับที่จุด A และจุด B ซึ่งทั้งสองจุดสามารถรับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 จะได้สมการค่าสังเกต 2 สมการ คือสมการ (4) และ (5)

$$\varphi_A^1 = \rho_A^1 + \Delta_r^1 + d_{\text{atmosA}} + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^1) + \lambda N_A^1 \quad (4)$$

$$\varphi_B^1 = \rho_B^1 + \Delta_r^1 + d_{\text{atmosB}} + c(\Delta\delta_B - \Delta\delta^1) + \lambda N_B^1 \quad (5)$$

จากสมการ (4) และ (5) จะเห็นว่ามีารรวมความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ( $d_{\text{trop}}$ ) และไอโอโนสเฟียร์ ( $d_{\text{ion}}$ ) เป็นความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศหนึ่งเทอม ( $d_{\text{atmos}}$ ) และสมมุติว่าไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถี ( $dm_\varphi$ ) และสัญญาณรบกวนในข้อมูล  $\varepsilon_\varphi$  เมื่อทำการหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับ โดยนำสมการ (4) ลบด้วยสมการ (5) จะได้

$$\varphi_A^1 - \varphi_B^1 = \rho_A^1 - \rho_B^1 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta_B) + \lambda(N_A^1 - N_B^1) \quad (6)$$

การหาค่าต่างแบบนี้จึงสามารถจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียม และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ โดยประสิทธิภาพในการลดค่าความคลาดเคลื่อน นั้นขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างเครื่องรับทั้งสองหรือที่เรียกกันว่า ระยะเส้นฐาน (Baseline length) เรียกการหาค่าต่างแบบนี้ว่า “การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง” (Single difference)

#### 2.1.4.1.2 ค่าต่างระหว่างดาวเทียม (Between-Satellite differences)

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

$$\varphi_A^1 = \rho_A^1 + \Delta r^1 + d_{\text{atmosA}}^1 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^1) + \lambda N_A^1 \quad (7)$$

$$\varphi_A^2 = \rho_A^2 + \Delta r^2 + d_{\text{atmosA}}^2 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^2) + \lambda N_A^2 \quad (8)$$

เมื่อทำการหาค่าต่างระหว่างดาวเทียม โดยนำสมการ (7) ลบด้วยสมการ (8) จะได้

$$\varphi_A^1 - \varphi_A^2 = \rho_A^1 - \rho_A^2 + \Delta r^1 - \Delta r^2 + \Delta d_{\text{atmosA}} + c(\Delta\delta^2 - \Delta\delta^1) + \lambda(N_A^1 - N_A^2) \quad (9)$$

การหาค่าต่างแบบนี้จึงสามารถจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับ

#### 2.1.4.1.3 ค่าต่างระหว่างเวลา (Between-Epoch differences)

การหาค่าต่างระหว่างเวลาเป็นการนำเอาค่าที่วัดได้ที่จุดเดียวกัน ไปยังดาวเทียมดวง เดียวกันแต่ต่างเวลากันมาหาค่าต่าง เช่น มีการตั้งเครื่องรับที่จุด A ซึ่งสามารถรับ ข้อมูลจากดาวเทียม หมายเลข 1 โดยรับข้อมูล 2 ขณะเวลา เราสามารถเขียนสมการค่าสังเกตของ ข้อมูลเฟสคลื่นส่งที่จุด A ไปยังดาวเทียมหมายเลข 1 ณ เวลา  $t_0$  และ  $t_1$  ได้ดังนี้

$$\varphi_A^1(t_0) = \rho_A^1(t_0) + \Delta r^1(t_0) + d_{\text{atmosA}}^1(t_0) + c(\Delta\delta_A(t_0) - \Delta\delta^1(t_0)) + \lambda N_A^1(t_0) \quad (10)$$

$$\varphi_A^1(t_1) = \rho_A^1(t_1) + \Delta r^1(t_1) + d_{\text{atmosA}}^1(t_1) + c(\Delta\delta_A(t_1) - \Delta\delta^1(t_1)) + \lambda N_A^1(t_1) \quad (11)$$

กรณีที่ไม่มีคลื่นหลุด (Cycle slip) ระหว่างเวลา  $t_0$  และ  $t_1$  ค่า  $\lambda N_A^1(t_0)$  จะเท่ากับ  $\lambda N_A^1(t_1)$  ดังนั้นเมื่อหาค่าต่างระหว่างเวลาจะได้

$$\varphi_A^1(t_0) - \varphi_A^1(t_1) = \rho_A^1(t_0) - \rho_A^1(t_1) + \Delta r^1(t_0) - \Delta r^1(t_1) + c(\Delta\delta_A(t_0) - \Delta\delta^1(t_0)) - c(\Delta\delta_A(t_1) - \Delta\delta^1(t_1)) \quad (12)$$

การหาค่าต่างแบบนี้จึงสามารถจัดเลขปริศนา และลดค่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิด จากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ออกไปได้มาก โดย ที่ประสิทธิภาพในการลดค่าความคลาดเคลื่อนนั้นขึ้นอยู่กับความห่างของช่วงเวลาทั้งสอง อย่างไรก็ตาม ในการเก็บข้อมูลจีพีเอส มักจะมีการกำหนดอัตราถี่ของการบันทึกข้อมูลไว้ไม่เกิน 30 วินาที ทำให้ สามารถกล่าวได้ว่าการหาค่า ต่างระหว่างเวลาสามารถใช้จัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้น บรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์ และโทรโพสเฟียร์ออกไปได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้น บรรยากาศนั้นค่อนข้างช้าเมื่อเทียบกับอัตราถี่ของการบันทึกข้อมูล

#### 2.1.4.2 การหาค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing)

เป็นการนำข้อมูลมาหาค่าต่างสองครั้ง กล่าวคือเป็นการหาค่าต่างระหว่างจุดสองจุดและ ดาวเทียมสองดวง เช่น ระหว่างจุด A, B และดาวเทียม 1, 2 ซึ่งหากเปลี่ยนหมายเลขดาวเทียมใน สมการ (6) จากหมายเลข 1 เป็น 2 จะได้

$$\varphi_A^2 - \varphi_B^2 = \rho_A^2 - \rho_B^2 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta_B) + \lambda(N_A^2 - N_B^2) \quad (13)$$

เมื่อทำการหาค่าต่างครั้งที่สอง โดยนำสมการ (6) ลบด้วยสมการ (13) จะได้

$$(\varphi_A^1 - \varphi_B^1) - (\varphi_A^2 - \varphi_B^2) = (\rho_A^1 - \rho_B^1) - (\rho_A^2 - \rho_B^2) + \lambda(N_A^1 - N_B^1) - \lambda(N_A^2 - N_B^2) \quad (14)$$

เขียนโดยย่อได้ดังนี้

$$\varphi_{AB}^{12} = \rho_{AB}^{12} + \lambda N_{AB}^{12} \quad (15)$$

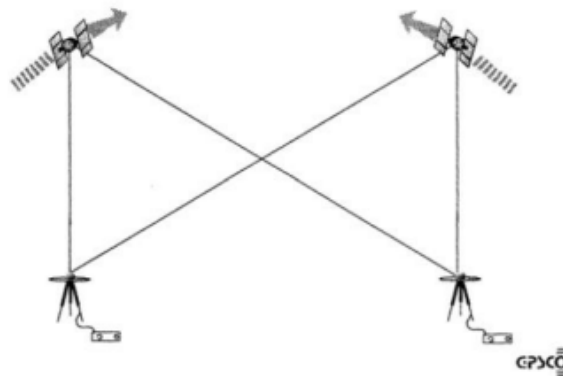
โดยที่สมการมีดังนี้

$$\varphi_{AB}^{12} = (\varphi_A^1 - \varphi_B^1) - (\varphi_A^2 - \varphi_B^2)$$

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

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

การหาค่าต่างแบบนี้จะสามารถจัดค่าความคลาดเคลื่อน ที่เกิดจากนาฬิกา ดาวเทียมและ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับ และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของ ดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ เช่นเดียวกันกับการหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับ ประสิทธิภาพในการลดค่าความคลาดเคลื่อนนั้นขึ้นอยู่กับระยะเส้นฐาน ดังรูปที่ 8 แสดงการหาค่าต่างครั้งที่สอง



รูปที่ 8 การหาค่าต่างครั้งที่สอง(เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

#### 2.1.4.3 การหาค่าต่างครั้งที่สาม (Triple differencing)

เป็นการนำข้อมูลมาหาค่าต่างสามครั้ง กล่าวคือเป็นการนำเอาค่าต่างครั้งที่สองระหว่างเวลาสองเวลามาหาค่าต่างกัน ซึ่งหากใส่เวลา  $t_0$  และ  $t_1$  ในสมการ (13) จะได้

$$\varphi_{AB}^{12}(t_0) = \rho_{AB}^{12}(t_0) + \lambda N_{AB}^{12}(t_0) \quad (16)$$

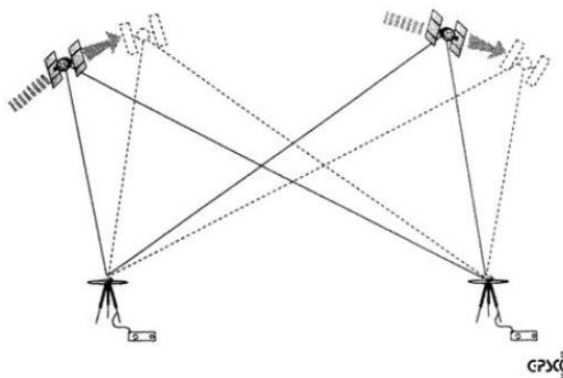
$$\varphi_{AB}^{12}(t_1) = \rho_{AB}^{12}(t_1) + \lambda N_{AB}^{12}(t_1) \quad (17)$$

หากไม่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดคลื่นหลุด เมื่อนำสมการ (16) ลบกับสมการ (17) จะได้

$$\varphi_{AB}^{12}(t_0) - \varphi_{AB}^{12}(t_1) = \rho_{AB}^{12}(t_0) - \rho_{AB}^{12}(t_1) \quad (18)$$

จากสมการ (18) จะเห็นได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิดได้ถูกขจัดออกไปจากข้อมูล อย่างไรก็ตามผลเสียของการหาค่าต่างครั้งที่สามก็คือ ระดับสัญญาณรบกวนในข้อมูลนั้นเพิ่มขึ้นและยังทำให้เรขาคณิตของการหาตำแหน่งยังแย่ลงด้วย(Rizos, 1997) ด้วยเหตุนี้จึงไม่นิยมใช้ค่าต่างครั้งที่สามมาเป็นสมการค่าสังเกตในการหาตำแหน่งที่ถูกต้องสูงด้วยจีพีเอส อย่างไรก็ตามค่าต่างครั้งที่สามมักถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจหาค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุด เนื่องจากถ้านำข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุดมาหาค่าต่างครั้งที่สามจะพบว่าค่า  $N_{AB}^{12}$  ที่เวลา  $t_0$  และ  $t_1$  จะมีค่าแตกต่างกัน ดังรูปที่ แสดงการหาค่าต่างครั้งที่สาม





รูปที่ 9 การหาค่าต่างครั้งที่สาม (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

### 2.1.5 วิธีการรังวัดแบบจลนในทันทีโดยอาศัยรูปแบบโครงข่ายสถานีฐาน (Network-Based RTK: NRTK)

คือ วิธีการรังวัดแบบจลนในทันทีโดยอาศัยรูปแบบโครงข่ายสถานีฐาน (Network-Based RTK) หรือเรียกว่า NRTK ซึ่งมีข้อดีคือ มีผลกระทบของความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่น้อยกว่าเทคนิคการรังวัด แบบจลนในทันทีแบบเดิมหรือ RTK ซึ่งความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่จะถูกขจัดในขั้นตอนการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่ง โดยวิธีการรังวัดแบบ NRTK นี้ถูกพัฒนาออกแบบมาเพื่อปรับปรุงและ แก้ไขข้อจำกัดของเทคนิคการรังวัดแบบ RTK ส่งผลให้วิธีการรังวัดแบบ NRTK นั้นสามารถลด ข้อจำกัดในเรื่องของความถูกต้องทางตำแหน่ง และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดเมื่อมีระยะทางระหว่าง สถานีฐานและสถานีผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การหาเลขปริศนาที่เป็นจำนวนเต็มตามทฤษฎีนั้นมี ประสิทธิภาพและทำให้ขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่า โดยมีความ น่าเชื่อถือมากกว่าวิธีการรังวัดแบบ RTK ซึ่งเป็นผลจากการที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง ช่วยให้การ หาตำแหน่งของสถานีผู้ใช้งานสามารถทำได้รวดเร็ว และมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นด้วยวิธีการรังวัดแบบ NRTK นั้นมีองค์ประกอบของเทคนิคที่ประกอบด้วย สถานีฐานถาวร ,ศูนย์ควบคุมกลาง และสถานี ผู้ใช้งาน ซึ่งแตกต่างจากเทคนิคการรังวัดแบบ RTK แต่การทำงานในสนามของวิธีการรังวัดแบบ NRTK มีความคล้ายคลึงกับวิธีการรังวัดแบบ RTK โดยหลักการทำงานของวิธีการรังวัดแบบ NRTK จะ เริ่มจากสถานีฐานถาวรที่มีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรังวัดคุณภาพสูงชนิดหลายความถี่ อย่าง น้อย 3 สถานี ที่ติดตั้งในที่ตั้งที่ถาวรซึ่งสภาพพื้นที่โดยรอบไม่มีสิ่งกีดขวางและมีอินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อ กับรูปแบบตลอดเวลาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมส่วนกลางได้ทันทีเมื่อศูนย์ควบคุม ส่วนกลางได้รับข้อมูลมาจากทุกสถานีฐานถาวรหลังจากนั้นจะทำการประมวลผลเพื่อ

คำนวณหาค่าแก้ คลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ เพื่อส่งให้สถานีผู้ใช้งานต่อไป เมื่อผู้ใช้งานต้องการทราบค่าพิกัดสามารถทำได้ โดยใช้เครื่องรับสัญญาณเพียงเครื่องเดียวไปวางตามตำแหน่งจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดที่อยู่ในพื้นที่ รูปแบบโครงข่ายของสถานีฐานให้บริการ (จีทีดี เจริญกัลยาณูตา, 2555)

### 2.1.6 Virtual Reference Station (VRS)

โดยในหลักการทำงานของวิธีการรังวัดแบบ NRTK มีหลายแนวคิดแต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ ได้แก่ รูปแบบ Virtual Reference Station (VRS), รูปแบบ Flächen Korrektur Parameter (FKP), รูปแบบ Master Auxiliary Corrections (MAC) และรูปแบบ Individualized Master Auxiliary Corrections (I-MAC)

รูปแบบ VRS ใช้หลักการสร้างสถานีเสมือนใกล้ๆกับสถานีผู้ใช้งาน โดยสถานีผู้ใช้งานจะส่งค่าพิกัดโดยประมาณไปยังศูนย์ควบคุม เพื่อทำการปรับแก้ค่าพิกัด โดยรับค่าแก้จากสถานีฐานที่อยู่บริเวณรอบๆสถานีผู้ใช้งานอย่างน้อย 3 สถานี แล้วจึงส่งค่าพิกัดที่ปรับแก้แล้วให้กับสถานีผู้ใช้ ดังรูปที่ 10 เป็นการสื่อสารแบบ two-way communications ซึ่งจุดเด่นของรูปแบบ VRS คือได้ค่าพิกัดที่รวดเร็ว มีจำนวน epoch ที่ fixed solution ในจำนวนที่มากกว่ารูปแบบอื่นๆ ซึ่งข้อมูลในการรังวัดจะเป็นแบบเฟสคลื่นส่ง (Carrier Phase) โดย (Hofmann-Wellenhof, 2008) ได้กล่าวถึงรูปแบบสมการดังนี้

$$\varphi_r^s(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_r^s(t) + f^s \Delta \delta_r^s(t) + N \quad (19)$$

โดย

$\varphi_r^s(t)$  คือ ข้อมูลของการวัดเฟสของคลื่นส่งจากดาวเทียม (s) ถึงเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (r) ณ เวลาใด ๆ (t) (เมตร)

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นส่ง (เมตร)

$\rho_r^s(t)$  คือ ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ณ เวลาใดๆ (เมตร)

$f^s$  คือ ความถี่ของคลื่นส่ง (เฮิร์ต) ได้จาก  $\frac{c}{\lambda}$  โดย c คือ ความเร็วแสง (วินาที/เมตร)

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

$N$  คือ ค่าเลขปริศนาของคลื่นส่ง

ในกรณีที่ต้องการจัดค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม นาฬิกาเครื่องรับ และค่าเลขปริศนาของคลื่นส่ง สามารถทำได้โดยกรณีของรูปแบบ VRS จะทำการกำหนดสถานีอ้างอิงเสมือนเป็นเวกเตอร์  $X_V$  สถานีเครื่องรับ A เป็นเวกเตอร์  $X_A$  แทนในสมการที่ (19) จะได้

$$\varphi_r^s(X_V, t) = \frac{1}{\lambda} \rho_r^s(X_V, t) + f^s \Delta \delta_r^s(t) + N \quad (20)$$

$$\varphi_r^s(X_A, t) = \frac{1}{\lambda} \rho_r^s(X_A, t) + f^s \Delta \delta_r^s(t) + N \quad (21)$$

สมการ (20) ลบ สมการ (21) จะได้

$$\varphi_r^s(X_V, t) = \varphi_r^s(X_A, t) + \frac{1}{\lambda} (\rho_r^s(X_V, t) - \rho_r^s(X_A, t)) \quad (22)$$

จากสมการที่ (22) ข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่งของสถานีอ้างอิงเสมือนจะสามารถหาค่าได้ กล่าวคือ ข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่งของสถานีเครื่องรับหาได้จากการรังวัดสัญญาณดาวเทียมของ สถานีเครื่องรับ ส่วนระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม หาค่าได้จากการทราบ ตำแหน่งของดาวเทียมและตำแหน่งของสถานีเครื่องรับ แต่ในการใช้งานจริงจำเป็นต้องใช้สถานีฐาน อย่างน้อย 3 สถานี รวมถึงค่าคลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS คือ ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากวงโคจร ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศทั้งไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ของแต่ละสถานี ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$\Delta_r^s(X_A, t) = \Delta^{\text{Orbit}}(X_A, t) + \Delta^{\text{Ionos}}(X_A, t) + \Delta^{\text{Tropos}}(X_A, t) \quad (23)$$

โดยที่

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

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

$\Delta^{\text{Ionos}}(X_A, t)$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศทั้งไอโอโนสเฟียร์ ที่สถานีเครื่องรับ A (เมตร)

$\Delta^{\text{Tropos}}(X_A, t)$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศทั้งโทรโพสเฟียร์ ที่สถานีเครื่องรับ A (เมตร)

จึงต้องนำไปคำนวณปรับแก้เพื่อหาข้อมูลการวัดเฟสของสถานีอ้างอิงเสมือนใหม่ โดยใส่ในสมการ (21) จะได้

$$\varphi_r^s(X_V, t) = \varphi_r^s(X_A, t) + \frac{1}{\lambda} (\rho_r^s(X_V, t) - \rho_r^s(X_A, t)) + \Delta_r^s(X_A, t) \quad (24)$$

ถ้าเป็นกรณี 3 สถานีก็ต้องกำหนดเวกเตอร์  $X_B, X_C$  แทนลงในสมการ (23) จะได้

$$\varphi_r^s(X_V, t) = \varphi_r^s(X_B, t) + \frac{1}{\lambda} (\rho_r^s(X_V, t) - \rho_r^s(X_B, t)) + \Delta_r^s(X_B, t) \quad (25)$$

$$\varphi_r^s(X_V, t) = \varphi_r^s(X_C, t) + \frac{1}{\lambda} (\rho_r^s(X_V, t) - \rho_r^s(X_C, t)) + \Delta_r^s(X_C, t) \quad (26)$$

ดังนั้น การหาค่าคลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ ของแต่ละสถานีเครื่องรับ จะสามารถหาได้จากการประมาณค่าในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งจะแสดงในสมการ (27) รวมถึงกรณีที่มีสถานีฐานมากกว่า 3 สถานี จะใช้เทคนิค Least-Square Adjustment เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวได้

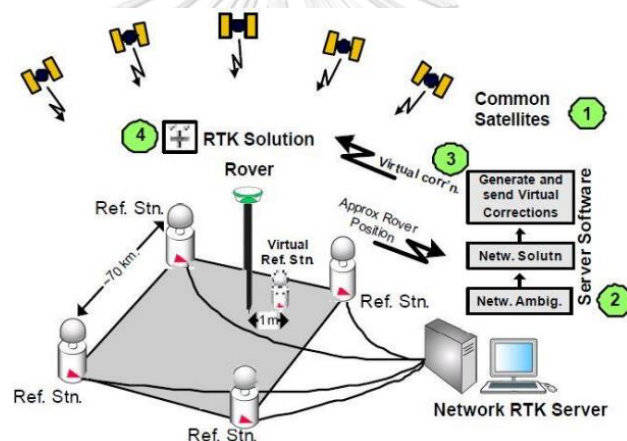
$$\Delta_r^s(X_i, t) = aX_i + bY_i + cZ_i \quad (27)$$

โดย

$\Delta_r^s(X_i, t)$  คือค่าคลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ ที่สถานีเครื่องรับ  $i$  (เมตร)

$X_i, Y_i, Z_i$  คือ ค่าพิกัดทั้ง 3 ทิศทางที่สถานีเครื่องรับ  $i$  (เมตร)

$a, b, c$  คือค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรค่าพิกัด



รูปที่ 10 หลักการทำงานของรูปแบบ VRS

### 2.1.7 RTCM standard และ RINEX format

ข้อมูล RTCM standard และ RINEX format เป็นข้อมูลดิบที่นิยมใช้ในการส่งข้อมูลของ GNSS โดยปัจจุบันเวอร์ชันที่ใช้จะเป็น RTCM 3.0 และ RINEX 2.2 (ปัจจุบันมีถึง RINEX 3.0) ซึ่งข้อมูลในการรังวัดแบบ NRTK จะใช้แบบ RTCM และในส่วนของการรังวัดแบบ Static ใช้ข้อมูลแบบ RINEX เนื่องจากค่าความละเอียด และคุณสมบัติต่างๆของแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง RTCM 3.0 และ RINEX 2.2

Format comparison	RTCM 3.0	Rinex 2.2
Pseudorange	C/A + P2(Y) or P1(Y) + P2(Y)	C/A + P1 + P2
PR Resolution	0.02 m	0.001 m
Carrier Phase	LA+L2 or L1+L2	L1+L2+LA
Carrier Phase Resolution	0.5 mm	0.001 cycles = 0.2 mm
Wavelength factor	-	-
Doppler	-	-
CNO	L1+L2	S1,S2,SA
CNO Resolution	0.25 db-Hz	0.001 Rx Dep.
Loss of lock	Lock time	Slip Flag
Time tag resolution	1 ms	100 ms
Navtime	Clock Steering (100 ns)	1 ns

### 2.1.8 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE)

รากที่สองของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root mean square error:RMSE) คือค่าที่ใช้เป็นตัวแทนของความถูกต้องในการรังวัด เป็นวิธีการวัดค่าคลาดเคลื่อนแบบมาตรฐานที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย และมีหน่วยเดียวกันกับค่ารังวัด ยิ่งค่า RMSE มีค่าน้อย หมายถึงการรังวัดข้อมูลมีความถูกต้องมาก ใช้ค่าพิชิตจากการรังวัดแบบ NRTK เป็นค่ารังวัด และค่าพิชิตจากวิธีการรังวัดแบบ STATIC ใช้เป็นค่าอ้างอิงดังสมการดัดแปลงจาก(FGDC., 1998; ชญานนท์ เหล่านิพนธ์, 2564)

$$\sqrt{\sum \frac{(X - x)^2}{n}}$$

โดย

$X$  คือ ค่าพิชิตจากการรังวัดแบบ NRTK ขณะเวลาใดๆ

$x$  คือ ค่าพิชิตการรังวัดแบบ STATIC

$n$  คือ จำนวนค่าพิชิตจากการรังวัดแบบ NRTK ขณะเวลาใดๆ

## 2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีทัต เจริญกาลัญญตา (2552) ได้ศึกษาวิจัยเรื่องการประเมินค่าความถูกต้องจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส แบบจลน์ในทันทีที่จะอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอส ในงานวิจัยนี้ดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการได้ค่าพิกัดในระบบเครือข่ายแบบจลน์ในทันทีแบบ VRS ของ 2 จุด คือ จุดที่เปิดโล่ง และจุดที่มีสิ่งปกคลุม ผลการวิจัยสรุปได้ว่า จุดที่เปิดโล่งมีโอกาสของการได้ค่าพิกัด ตำแหน่งมากกว่าบริเวณพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุม และส่วนใหญ่การได้พิกัดตำแหน่งจะทำงานในโหมด VRS ส่วนค่าการกระจายตัวเชิงตำแหน่งของทั้ง 2 จุด สรุปได้ว่าค่าพิกัดในทางราบอยู่ในระดับ 1-3 เซนติเมตร และค่าพิกัดในทางตั้งอยู่ที่ระดับ 45 เซนติเมตร แต่ค่าพิกัดทั้งทางราบและทางตั้งของทั้ง 2 สถานี ยังมีบางช่วงเวลาที่มีความแปรปรวนสูง

Dabov et al. (2012) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัดสำหรับระยะใกล้ที่ 50 กิโลเมตร ระยะกลางที่ 100 กิโลเมตร และระยะไกลที่ 150 กิโลเมตร โดยใช้รูปแบบ NRTK ที่แตกต่างกัน ใช้ค่าความถูกต้องที่ 95% เป็นระยะเวลา 24 ชม. ซึ่งผลการวิจัยพบว่า รูปแบบ VRS สามารถทำระยะได้ไกลเกิน 100 กม. และค่าความถูกต้องทางราบอยู่ที่ 2-8 ซม. ทางตั้งอยู่ที่ 5-12 ซม. โดยอีกรูปแบบที่สามารถทำได้ดีเช่นเดียวกันคือรูปแบบของ MAC แต่สามารถทำได้ดีในระยะใกล้และระยะกลางเท่านั้น โดยมีค่าความถูกต้องทางราบอยู่ที่ 5 ซม. ทางตั้งอยู่ที่ 10 ซม. สำหรับรูปแบบ FKP มีหลักการประมวลผลแบบเชิงพื้นที่ ซึ่งถ้ามีระยะฐานไกล ประสิทธิภาพก็จะ ลดลงอย่างมาก ซึ่งในงานวิจัยในระยะกลางก็ยังไม่สามารถได้ค่าพิกัดที่ดีได้

Ogutcu and Kalayci (2017) ตรวจสอบความแม่นยำการใช้ NRTK 3 เทคนิค ได้แก่ VRS, FKP, และ MAC โดยใช้โครงข่ายสถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณ ดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่อง Tusaga-Aktif ของประเทศตุรกีซึ่งใช้เส้นฐานระหว่างสถานี CORS สองสถานีที่มีระยะ ประมาณ 100 กิโลเมตรเป็นแนวอ้างอิงในการวางจุดทดสอบจำนวน 8 จุด โดยมีระยะที่ 5, 20, 40, และ 50 กิโลเมตรจากสถานี CORS ถึงจุดทดสอบ โดยแต่ละจุดทำการรังวัดค่าพิกัดทางราบและทาง ตั้งทุก ๆ 2 วินาที เป็นจำนวน 3000 Epoch ผลการทดสอบพบว่า ค่าความแม่นยำของค่าพิกัดทั้งทาง ราบและทางตั้งขึ้นอยู่กับระยะเส้นฐานระหว่างจุดทดสอบถึงสถานี CORS ที่ทำการส่งค่าแก้ให้กับ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ซึ่งระยะเส้นฐานยิ่งไกลค่าความแม่นยำก็จะลดน้อยลง แต่อย่างไรก็ตาม ในระยะเส้นไม่เกิน 50 กิโลเมตร ค่าความแม่นยำของค่าพิกัดทางราบและทางตั้งอยู่ที่ไม่เกิน 3 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

เจนพีธีกร สุนทรรัตน์ (2560) ศึกษาวิจัยในเรื่องของการทดสอบประสิทธิภาพรูปแบบโครงข่ายดาวเทียม GNSS แบบจลนในทันทีกับงานรังวัดที่ดิน ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความถูกต้องของค่าพิกัดใน 3 มิติ ของเทคนิคการสำรวจด้วยรูปแบบดาวเทียม GNSS 2 วิธี ได้แก่ การรังวัดแบบ Single Base RTK Positioning และ การรังวัดแบบเทคนิค VRS ใน 2 พื้นที่ จากการศึกษาในพื้นที่แรกพบว่า หากค่าพิกัด Fixed Solution นั้นจะให้ค่าความถูกต้องในทางราบใกล้เคียงกัน ในระดับ 4 เซนติเมตร ส่วนทั้ง 2 วิธีจะทำงานได้ในพื้นที่โล่งแจ้งและบริเวณที่ต้นไม้ไม่หนาแน่นมาก ส่วนบริเวณที่มีตึกสูง จะกลายเป็นพื้นที่อับสัญญาณ ส่วนพื้นที่ที่สอง หากค่าพิกัดอยู่ในโหมด Fixed Solution การรังวัดแบบเทคนิค VRS จะให้ค่าความถูกต้องในทางราบในระดับ 3 เซนติเมตร

สมเกียรติ ทิพย์สุมณฑา (2560) ศึกษาวิจัยเรื่องการประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการรังวัดดาวเทียมแบบจลนโดยอาศัยโครงข่ายสถานี GNSS แบบต่าง ๆ ในประเทศไทย โดยในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลการรังวัดแบบจลนโดยอาศัยโครงข่ายจากรูปแบบ MAC, iMAC, VRS และ FKP แบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีรังวัดสัญญาณแบบอยู่กับที่ ทำการเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที และกรณีรังวัดสัญญาณแบบเคลื่อนที่ ทำการเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที จากการศึกษากรณีรังวัดสัญญาณแบบอยู่กับที่ พบว่าเปอร์เซ็นต์ในโหมด Fixed Solution มีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ทั้งหมด และการรังวัดแบบ VRS ให้ความแม่นยำของค่าพิกัดทางราบมากที่สุด โดยมีค่า Root Mean Square Error, RMSE อยู่ที่ 0.029 เมตร ส่วนกรณีรังวัดสัญญาณแบบเคลื่อนที่ที่มี ใช้ความเร็วเฉลี่ย 1.53 เมตร/วินาที พบว่าการรังวัดแบบ MAC ให้ค่าพิกัดในโหมด Fixed Solution 96.0 เปอร์เซ็นต์ และ 96.6 เปอร์เซ็นต์ (ใช้ 2 โครงข่าย) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ส่วนการรังวัดแบบ i-MAC ให้ค่าพิกัดในโหมด Fixed Solution 68.4 เปอร์เซ็นต์ และ 90.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการรังวัดแบบ VRS และ FKP ให้ค่าพิกัดในโหมด Fixed Solution มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 2 โครงข่ายที่ทำการทดสอบ

Pehlivan et al. (2019) ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัดภายใต้เงื่อนไขการเปิดมุมมององศาดาวเทียมที่  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  และ  $40^\circ$  ในพื้นที่โล่ง โดยใช้รูปแบบการรังวัด NRTK 3 รูปแบบคือ VRS, FKP และ MAC ซึ่งผลการทดลองนั้น เนื่องจากเป็นพื้นที่โล่ง ค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทั้ง 3 รูปแบบมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าการเปิดมุมมององศาดาวเทียมที่จำกัดที่  $40^\circ$  ก็มีค่าความถูกต้องที่ต่ำกว่า 7 เซนติเมตร ทั้ง 3 รูปแบบ แต่เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของค่าพิกัดในแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ พบว่ารูปแบบ VRS มีผลลัพธ์ที่ดีกว่า

นิศพงษ์ นิวาสนนท์ (2562) ได้ทำการศึกษาค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบในแนวกั้นชน (Buffer line) ที่แตกต่างกัน โดยการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ด้วยวิธี VRS เปรียบเทียบกับวิธีสถิต (Static survey) แบบสัมพัทธ์ ที่อยู่ใกล้กับ CORS ในตำแหน่งเดียวกัน โดยมีหมุดทดสอบจำนวน 2,122 หมุด ซึ่งอยู่ภายในรูปของ CORS โดยการแบ่งระยะแนวกั้นชนจาก CORS ออกเป็น 4 ระยะได้แก่ 15, 30, 45 และมากกว่า 45 กิโลเมตร ซึ่งระบบ NRTK ประกอบด้วย CORS จำนวน 114 สถานี ครอบคลุมทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยมีระยะห่าง ระหว่างสถานี ตั้งแต่ 25 กิโลเมตร จนถึง 200 กิโลเมตร โดยประมาณ (ค่าเฉลี่ยของระยะห่าง ระหว่างสถานี คือ 80 กิโลเมตร) ส่งผลให้ระยะห่างระหว่าง CORS ที่ประกอบกันเป็นโครงข่ายสามเหลี่ยม (รูป) มีขนาดที่แตกต่างกันออกไปตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ ผลจากการศึกษาพบว่า รากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของหมุดทดสอบที่อยู่ในแนวกั้นชนของแต่ละระยะมีค่า RMSE ทางราบ 0.026 , 0.036 , 0.037 และ 0.039 เมตร ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าค่า RMSE ทางราบแปรผันตามระยะห่างจาก CORS ที่ใกล้ที่สุด

ชฎานนท์ เหล่านิพนธ์ (2564) ได้จัดทำเครื่องมือ GNSS Splitter วัดอุปสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ รังวัดทั้ง 4 ระบบ เวลาเดียวกัน 2 กรณีคือพื้นที่โล่ง และพื้นที่มีสิ่งกีดขวาง จากการศึกษาวิจัยพบว่ากรณีพื้นที่โล่ง จำนวน GNSS Fixed Solution ระบบ VRS, I-MAC ไม่ต่ำกว่า 95% ของจำนวนทั้งหมด ระบบ MAC, FKP จำนวน GNSS Fixed Solution ไม่ต่ำกว่า 75% ส่วนกรณีพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง ระบบ VRS, I-MAC และ MAC มีจำนวน GNSS Fixed Solution ไม่ต่ำกว่า 50% ระบบ FKP มีจำนวน GNSS Fixed Solution ต่ำกว่า 50% ในส่วนค่าความถูกต้องค่าพิกัด ทางราบ เมื่อเทียบกับการรังวัดสัญญาณดาวเทียมแบบสถิต ในกรณีพื้นที่โล่งทั้ง 4 ระบบ ให้ค่า RMSE ที่ต่ำกว่า 5 ซม. ในกรณีพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางทั้ง ระบบ VRS และ I-MAC ให้ค่า RMSE ต่ำกว่า 8 ซม. และ ระบบ FKP และ MAC ให้ค่า RMSE ต่ำกว่า 30 ซม.

Charles Wang et al. (2010) การทดลองถูกกำหนดขึ้นเพื่อทดสอบและวิเคราะห์วิธีแก้ปัญหา จากการใช้งานระบบ i-MAX, MAX และ VRS มีเครือข่ายรูปสามเหลี่ยม 3 รูป แต่ละรูปมีระยะทางระหว่างสถานีเฉลี่ย 69 กม. 118 กม. และ 166กม. ลักษณะการปฏิบัติงานที่ประเมิน รวมอัตราความสำเร็จในการเริ่มต้น เวลาเริ่มต้น ความแม่นยำของตำแหน่ง RTK และความพร้อมใช้งาน ความคลุมเครือความเสี่ยงในการแก้ปัญหาและความเสี่ยงด้านความสมบูรณ์ของ RTK เพื่อให้มุมมองที่กว้างขึ้นของประสิทธิภาพของการทดสอบระบบ ผลการวิจัยพบว่าผลการดำเนินงานของทุกเครือข่ายโซลูชัน RTK ที่ประเมินได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นจากระยะห่างระหว่างสถานีใกล้เคียงกัน โดย



ระบบ MAX โชลูชันได้รับอัตราความสำเร็จในการเริ่มต้นสูงสุด โดยเฉลี่ย 96.6% แม้ว่าจะมีเวลาการเริ่มต้นที่นานขึ้นและ วิธี VRS อัตราความสำเร็จในการเริ่มต้นที่ต่ำกว่า อัตราความสำเร็จ 80% ในแง่ของความแม่นยำของตำแหน่ง RTK

Hosoya (2013)( translated version) ในงานสัมมนาวิชาการของ NEWSLETTER OF IPNTJ ในประเทศญี่ปุ่น โดยวิธี deemed rover analysis นี้ได้รับการพัฒนาโดย Mr. Hosoya of Jenoba และตั้งชื่อว่า deemed rover analysis ในโครงการนี้ มีงานวิจัยอ้างอิงไม่กี่เล่มที่เป็นภาษาญี่ปุ่นที่ได้มีการอธิบายแนวคิดและผลลัพธ์ของ deemed rover analysis โดยชิโปรแกรม RTKLIB เป็นภาษาญี่ปุ่น โดยเหตุการณ์ในช่วงประมาณฤดูร้อนปี 2011 เริ่มได้รับการร้องเรียนเรื่องความแม่นยำที่ลดลงและความยากในการแก้ไข โดยไม่มีสัญญาณผิดปกติจากเซิร์ฟเวอร์การแจกจ่ายของ สถานี CORS และไม่สามารถยืนยันแนวโน้มที่ผิดปกติได้จากบันทึกการแจกแจง แนวโน้มคุณภาพสำหรับ Rover นั้นมีแนวโน้มลดลงอย่างแน่นอนในอัตรา FIX แต่อยู่ในระดับเล็กน้อย เพื่อเป็นการยืนยัน หากมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น จะได้รับการแจ้งเตือนทันทีและยืนยันคุณภาพของ output จากเครื่องรับสัญญาณ งานนี้ทำได้ยากเนื่องจากการระบุตัวตนของผู้ใช้และเป็นข้อมูลแบบเรียลไทม์วิธีเดียวที่จะยืนยันได้คือไปที่พื้นที่และทำการรังวัดเพื่อตรวจสอบ และเป็นการยากที่จะทำซ้ำและยืนยันความผิดปกติ ภายใต้สถานการณ์เหล่านี้ ได้พิจารณาว่าสามารถจัดการกับสถานะของบริการโดยไม่ต้องไปที่พื้นที่และทำการรังวัดได้หรือไม่ และมุ่งเน้นไปที่วิธีการพิจารณา CORS ที่ใช้สำหรับตรวจสอบคุณภาพของการกระจาย ในระบบ FKP (PAS) เป็น Rover โดยมีใบอนุญาตซอฟต์แวร์นี้เพียงใบเดียวซึ่งมีราคาแพงหลายแสนเยน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะตรวจสอบทั่วประเทศ จากการวิจัยสามารถเรียนรู้เกี่ยวกับซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส RTKLIB ที่พัฒนา โดย Mr. Takasu of Tokyo University of Marine Science and Technology ซอฟต์แวร์นี้สามารถทำงานบนคอมพิวเตอร์ PC ได้

Hosoya (2013)( translated version) โดยการทำแบบ deemed rover analysis เป็นการจำลองการรังวัด NRTK โดยที่ไม่ต้องไปรังวัดในพื้นที่ แต่เป็นการใช้โปรแกรม RTKLIB และต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ในโปรแกรม RTKLIB ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ strsvr.exe , rtknavi.exe , rtkplot.exe ตามรูปที่ 4 ในส่วนของ strsvr.exe โดยจัดการเตรียม copy ตัวโปรแกรม strsvr.exe เป็น 3 ชื่อและเปลี่ยนชื่อดังนี้ 1. ) strsvr\_”ใส่ชื่อสถานี CORS”\_rover.exe ตามรูปที่ 11 เป็นตัวเลือกสถานี CORS เป็น rover ที่ไม่อยู่ใน GNSS CORS NETWORK ในการรับสัญญาณดาวเทียมซึ่งเปรียบเสมือนเราไปรังวัด NRTK ในพื้นที่จริง 2.) strsvr\_”ใส่ชื่อสถานี CORS”\_base.exe ตามรูป

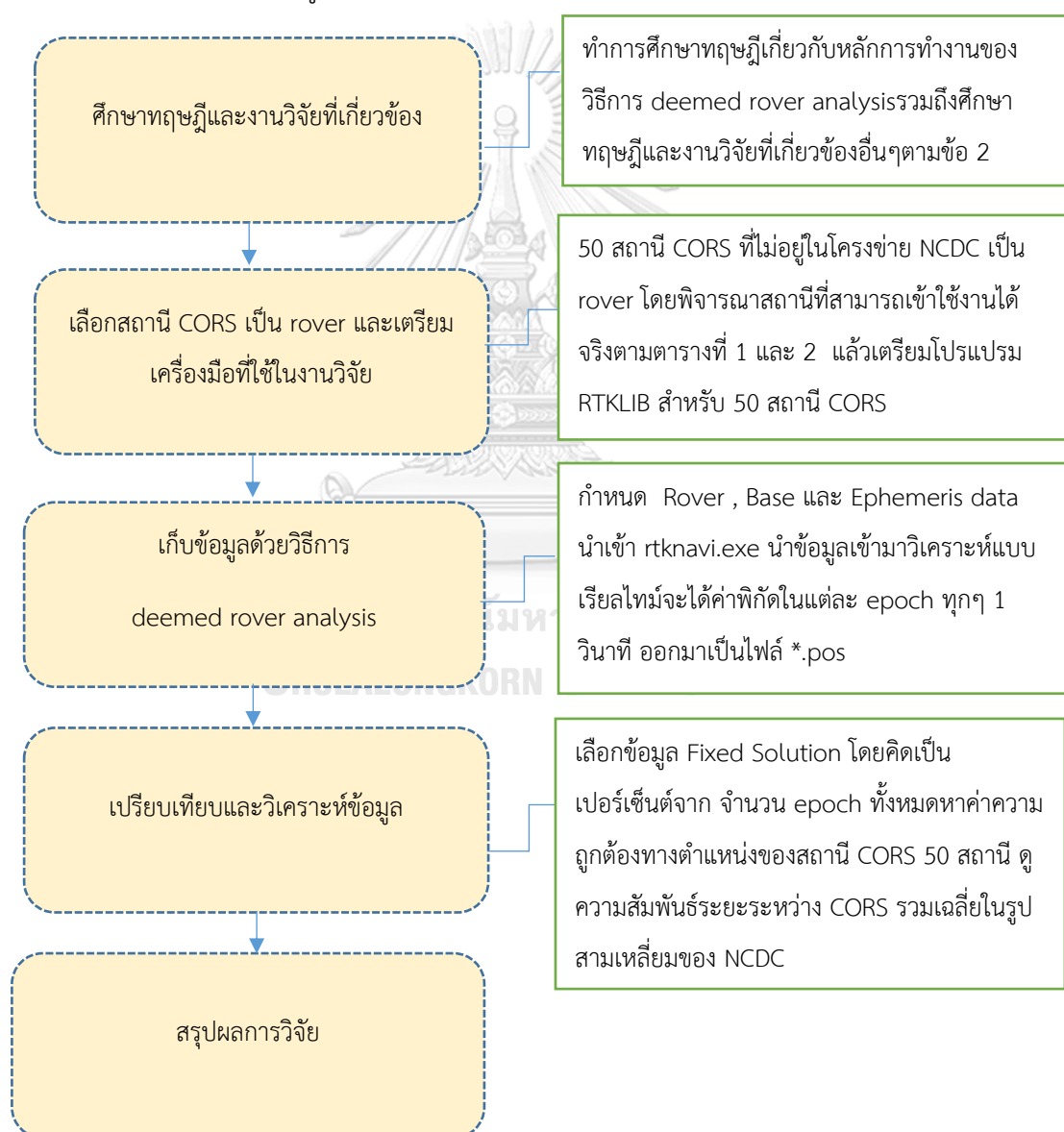
ที่ 11 เป็นการใช้โครงข่าย GNSS CORS NETWORK ส่งสัญญาณค่าปรับแก้ในรูปแบบโครงข่าย ซึ่งสามารถเลือกใช้ระบบ VRS FKP MAC iMAC ได้กับโปรแกรม RTKLIB และ 3.) strsvr\_”BKG(ชื่อหน่วยงานให้บริการ)”\_eph.exeตามรูปที่ 11 กำหนดการรับข้อมูล Ephemeris data ข้อมูลบริการจาก IGS Real-time service ตามรูปที่ 5 และ 11 ต่อไปเป็นในส่วนการแสดงผลข้อมูลวิเคราะห์ผลจาก RTCM แบบบเรียลไทม์ได้โดย rtknavi.exe จะได้ค่าพิกัดในแต่ละ epoch ทุกๆ 1 วินาที บันทึกออกมาเป็นไฟล์ \*.pos ตามรูปที่ 2 และ 13 สุดท้ายในส่วนของ rtkplot.exe ใช้ในการเปรียบเทียบและแสดงผลของข้อมูล \*.pos ดังรูปที่ 14 โดยดูค่า Fix แต่ละช่วงเวลาและดูการกระจายตัวของตำแหน่งว่ามีช่วงเวลาไหนบ้างที่มีปัญหาในการกระจายตัวทางตำแหน่งที่มาก จึงสามารถทราบช่วงเวลาที่ปัญหานี้ว่าเป็นช่วงเวลาไหนบ้างในแต่ละพื้นที่ในประเทศได้ เพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานตามเวลาดังกล่าวและตรวจสอบสาเหตุของปัญหาและแก้ไขต่อไป



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

สำหรับขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย จะแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พิจารณาสถานี CORS ที่ให้เป็น rover และเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย เก็บข้อมูลด้วยวิธีการ deemed rover analysis เปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการวิจัย ซึ่งขั้นตอนการวิจัยจะแสดงในรูปที่ 11 โดยรายละเอียดของขั้นตอนการวิจัยจะประกอบด้วย



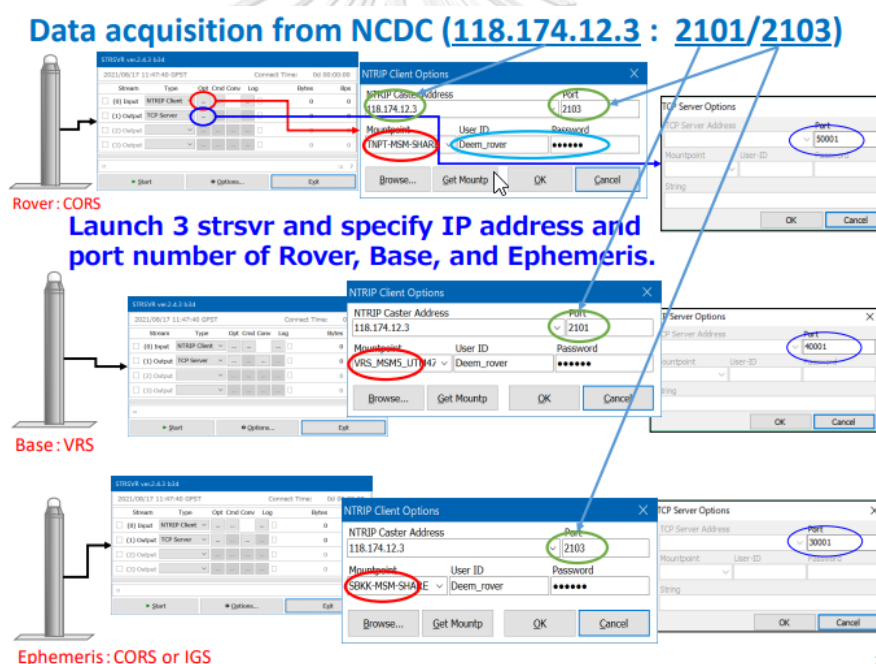
รูปที่ 11 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับหลักการทำงานของวิธีการ deemed rover analysis รวมถึง ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆตามข้อ 2

### 3.2 พิจารณาสถานี CORS ที่ให้เป็น rover และเตรียมเครื่องมือที่ใช้

โดยเลือก 50 สถานี CORS ที่ไม่อยู่ในโครงข่าย NCDC เป็น rover โดยพิจารณาสถานีที่สามารถเข้าใช้งานได้จริงตามตารางที่ 1 และ 2 แล้วเตรียมโปรแกรม RTKLIB ในขั้นตอนนี้มี 2 ส่วน คือ strsvr.exe , rtknavi.exe ในส่วนของ strsvr.exe แบ่งอีกมี 3 ส่วน ที่ต้องกำหนด คือ 1) กำหนดการใช้สถานี CORS ให้เป็น rover 2) กำหนดการใช้โครงข่าย GNSS CORS NETWORK เป็น base เลือกระบบ VRS 3) กำหนดการรับ Ephemeris data ข้อมูลบริการจาก IGS Real-time service และ กำหนดการนำเข้าข้อมูลทั้ง 3 ส่วนนี้ มาใน rtknavi.exe ตามรูปที่ 11 และ 12



รูปที่ 12 ส่วน strsvr.exe การกำหนดใช้ Rover:CORS , Base:VRS , Ephemeris data

### 3.3 วิธีการ deemed rover analysis

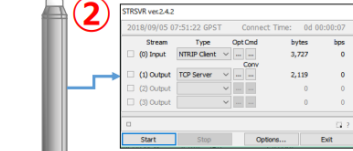
หลังจากกำหนดการใช้ Rover , Base และ Ephemeris data จะใช้ rtknavi.exe เป็นตัวนำ ข้อมูลจาก strsvr.exe ทั้ง 3 ส่วนเข้ามาวิเคราะห์แบบเรียลไทม์จะได้ค่าพิกัดในแต่ละ epoch ทุกๆ 1 วินาที ออกมาบันทึกไฟล์ \*.pos (ตามรูปที่ 12,13) ตามระยะเวลาที่กำหนดในข้อ 1.3.1

## RTKLIB Test observation in Thailand

\*Observing the CORS as Rover: TNPT, Base: VRS

STRSVR

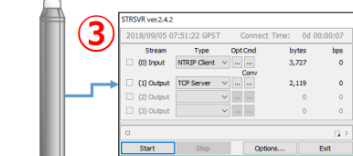
Use the "STRSVR", connected to the observation data of "TNPT"



Rover: CORS: "TNPT"

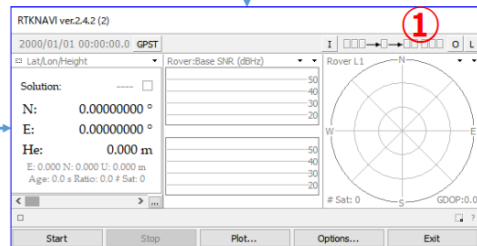
STRSVR

Use the "STRSVR", connected to the VRS data at "LKRI"



Base: VRS

STRSVR  
Use the "STRSVR",  
connected to the  
ephemeris data of  
"CORS or IGS"



① rtknavi (Main Screen)

② Rover, ③ Base, ④ Ephemeris

## รูปที่ 13 การใช้ RTKLIB



รูปที่ 14 หน้าต่างการทำงานของ rtknavi.exe

## 3.4 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จาก deemed rover analysis จะอยู่ในรูปแบบของ \*.pos ซึ่งแสดงค่าพิกัดทั้ง 3 มิติ ตามจำนวน epoch ที่บันทึกข้อมูลได้ โดยนำมาวิเคราะห์ข้อมูลใน rtkplot.exe เพื่อแสดงข้อมูลและผลลัพธ์ในรูปแบบไฟล์ \*.pos โดยจะเลือกข้อมูลที่ GNSS Fixed Solution ตามระยะเวลาที่กำหนดในข้อ 1.3.1 ตามรูปที่ 15 เพื่อประเมินประสิทธิภาพ สถานี CORS ในค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของสถานี CORS 50 สถานีเทียบกับค่าพิกัดของ CORS อ้างอิง ในระบบอ้างอิง ITRF2014



จากรูปที่ 15 เป็นตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์ของ ไฟล์ \*.pos ใน rtkplot.exe โดยมีการแสดงการกระจายตัวทางตำแหน่งของค่าพิกัดที่ได้บันทึกในแต่ละ 1 วินาที แสดงค่าพิกัดเริ่มต้นทางราบและทางตั้งของสถานี CORS นั้นๆตามตารางที่ 1 และ 2 แสดงค่า GNSS Fixed Solution(%) , ค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิงทั้ง Easting กับ Northing และ UP (AVE), ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STD) , ค่าต่างของรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองในทางราบ Root Mean Square Error (RMSE) , จำนวน epoch ที่ FIX Solution , จำนวน epoch ที่บันทึกได้ทั้งหมด , จำนวนดาวเทียม , ความหน่วงของเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาเปรียบเทียบวิเคราะห์ผลแบบเรียลไทม์ได้ โดยในงานวิจัยนี้เลือก 50 สถานี CORS เป็น rover ที่ไม่อยู่ในโครงข่ายสถานีของ NCDC และใช้การส่งสัญญาณค่าปรับแก้ในรูปแบบโครงข่ายของ NCDC 173 สถานี โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิค VRS กับโปรแกรม RTKLIB วิเคราะห์ผลแบบเรียลไทม์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การประเมินประสิทธิภาพการ Fix solution และค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและตั้งของสถานี CORS กับระยะระหว่างCORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม โดยวิธี deemed rover analysis

ตารางที่ 4 ระยะเวลาการบันทึกข้อมูลจากการรังวัดสัญญาณแบบ NRTK และจำนวน epoch

ชุด	Station	เริ่มบันทึกข้อมูล (วัน/เดือน/ปี)	สิ้นสุดบันทึกข้อมูล (วัน/เดือน/ปี)	ระยะเวลา (วัน)	จำนวน epoch ที่บันทึกได้ ตามระยะเวลาเปิดให้บริการ บริการ CORS
1	KNKN	11/10/2022	12/10/2022	1	111,011
	NSHO	11/10/2022	12/10/2022	1	112,728
2	DUDM	11/10/2022	27/10/2022	16	706,164
	KMCE	11/10/2022	27/10/2022	16	755,253
	PBHN	11/10/2022	27/10/2022	16	731,200
	SKPM	11/10/2022	27/10/2022	16	746,237
	WNNW	11/10/2022	27/10/2022	16	733,977
	SISK	11/10/2022	27/10/2022	16	744,603
	UDON	11/10/2022	27/10/2022	16	683,760
3	SDAN	18/10/2022	9/11/2022	22	1,493,719
4	PDCP	11/10/2022	4/11/2022	24	1,181,203
5	CHTK	17/10/2022	12/11/2022	26	1,542,717
6	KKOR	11/10/2022	9/11/2022	29	1,952,784
	NANO	11/10/2022	9/11/2022	29	1,622,614
	PPRM	11/10/2022	9/11/2022	29	1,806,232
	SISA	11/10/2022	9/11/2022	29	1,853,174
	WSPG	11/10/2022	9/11/2022	29	1,898,426
	UTTD	11/10/2022	9/11/2022	29	1,859,959
	BNNR	11/10/2022	9/11/2022	29	780,367
	CHPM	11/10/2022	9/11/2022	29	1,566,470
	DKTN	11/10/2022	9/11/2022	29	1,432,438
	KSKS	18/10/2022	9/11/2022	29	1,521,055
	LPMA	11/10/2022	9/11/2022	29	1,487,492
	NDDG	11/10/2022	9/11/2022	29	1,454,955
	SCHP	11/10/2022	9/11/2022	29	1,552,513



ตารางที่ 5 ระยะเวลาการบันทึกข้อมูลจากการรังวัดสัญญาณแบบ NRTK และจำนวน epoch

ชุด	Station	เริ่มบันทึกข้อมูล	สิ้นสุดบันทึกข้อมูล	ระยะเวลา (วัน)	จำนวน epoch ที่บันทึกได้ตามระยะเวลาเปิดให้ใช้บริการ CORS
6	BLAN	11/10/2022	9/11/2022	29	1,609,545
	KLNG	11/10/2022	9/11/2022	29	1,607,682
	PKKT	11/10/2022	9/11/2022	29	1,362,723
	DPT9	11/10/2022	9/11/2022	29	1,533,310
	NKPT	11/10/2022	9/11/2022	29	1,380,960
	THAI	11/10/2022	9/11/2022	29	1,613,885
	BGSP	11/10/2022	9/11/2022	29	1,702,950
	BNST	11/10/2022	9/11/2022	29	1,719,926
	PKNK	11/10/2022	9/11/2022	29	1,674,292
	PTLG	11/10/2022	9/11/2022	29	1,709,655
	SADO	11/10/2022	9/11/2022	29	1,697,583
	SATN	11/10/2022	9/11/2022	29	1,769,094
	SOKA	11/10/2022	9/11/2022	29	1,658,609
	SRTN	11/10/2022	9/11/2022	29	1,696,580
7	BTAK	11/10/2022	12/11/2022	32	1,789,946
	CHMA	11/10/2022	12/11/2022	32	1,808,477
8	BRAI	11/10/2022	1/12/2022	51	3,542,204
	KKOI	11/10/2022	1/12/2022	51	3,224,859
	KLKG	11/10/2022	1/12/2022	51	3,339,005
	TPHN	17/10/2022	1/12/2022	51	1,563,481
	UTHI	17/10/2022	1/12/2022	51	3,029,973
	UTOG	11/10/2022	1/12/2022	51	3,516,919
	LPBR	11/10/2022	1/12/2022	51	3,353,199
	SPBR	11/10/2022	1/12/2022	51	2,982,083
	ANGT	11/10/2022	1/12/2022	51	2,617,223

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากผลการทดสอบที่แสดงมาทั้งหมดนั้นจะแสดงให้เห็นถึงค่าความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัด NRTK เทียบกับค่าพิกัดของ CORS อ้างอิง ในระบบอ้างอิง ITRF2014 และระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม ที่กำหนดในข้อ 1.3.4 ของ NCDC ตามรูปที่ 1 โดยขีดความสามารถของการ Fixed solution ของ CORS สามารถเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจให้นักสำรวจหรือผู้ที่ต้องการรังวัด NRTK ได้พิจารณาและเข้าใจ แต่สิ่งที่พึงระวังคือให้สังเกตค่ากระโดดที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยจะต้องสังเกตค่า PDOP หรือจำนวนดาวเทียม ณ เวลานั้น ๆ ว่ามีการเปลี่ยนแปลง หรือมีค่าสูงขึ้นผิดปกติหรือไม่ ยกตัวอย่างเช่น ในการรังวัดโดยใช้เวลา 24 ชั่วโมง ค่า PDOP ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ระดับ 1-2 ชม. และ จำนวนดาวเทียมเกิน 10 ดวงขึ้นไป แต่ในห้วงเวลาเพียงคืน ของการรังวัด จะมีค่า PDOP อยู่ที่ 4-5 ชม. และ จำนวนดาวเทียมที่เปลี่ยนแปลงแบบกระทันหันจึงอาจเป็นข้อสังเกตได้ว่าห้วงเวลานั้นอาจเกิดการกระโดดของค่าพิกัดได้(ชฎานนท์ เหล่านิพนธ์, 2564)

ซึ่งการจำลองสถานการณ์การเลือกตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมโดยใช้ CORS 50 สถานีที่นอกเหนือจาก GNSS CORS Network ของ NCDC โดยใช้โปรแกรม RTKLIB และเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเป็นตัวกำหนดสถานี CORS ให้เป็น rover เพื่อวิเคราะห์ผลแบบเรียลไทม์ได้ โดยในงานวิจัยนี้เลือก 50 สถานี จากนั้นนำข้อมูลที่รับมาแสดงผลด้วยโปรแกรม rtkplot.exe แล้วนำค่าพิกัดที่บันทึกแบบ RTK มาแสดงเป็นกราฟเพื่อสังเกตความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง จากนั้นนำมาเทียบค่า SD จากการรังวัด และ RMSE เทียบกับค่า reference ทั้ง 50 สถานี แล้วทำการสรุปผลการศึกษาวิจัยโดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์และประเมินผลความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางดิ่งดังต่อไปนี้

#### 4.1 ขีดความสามารถ GNSS Fixed Solution

ขีดความสามารถ GNSS Fixed Solution ณ ช่วงเวลาเดียวกัน ในพื้นที่ในการรังวัด GNSS แบบ NRTK ใช้เทคนิค VRS ในพื้นที่เป็นระยะเวลา ตามตารางที่ 4 และ 5 เก็บค่าพิกัดทุกๆ 1 วินาที ทำให้ได้ค่าพิกัดทั้งหมดตามตารางที่ 4 และ 5 ซึ่งแต่ละชุดข้อมูลจะมีจำนวน GNSS Fixed Solution ที่ไม่เท่ากัน และจำนวนเปอร์เซ็นต์จะเทียบกับจำนวนค่าพิกัดทั้งหมดที่ได้ตามตารางที่ 4 และ 5 โดยแสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถของ GNSS Fixed Solution ดังตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 ขีดความสามารถ GNSS Fixed Solution ของ CORS ที่เป็น rover

ชุด	Station	GNSS Fixed Solution(%)	จำนวน epoch ที่ FIX Solution	จำนวน epoch ที่บันทึกได้ทั้งหมด	ระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้าน (km.)
1	KNKN	50.5	56,099	111,011	81
	NSHO	75.8	85,485	112,728	67
2	UDON	29.9	204,642	683,760	93
	SKPM	45	336,017	746,237	69
	KMCE	50.5	381,700	755,253	69
	SISK	51.3	382,064	744,603	65
	DUDM	69.6	491,674	706,164	51
	WNNW	71.7	526,209	733,977	52
	PBHN	73	533,961	731,200	69
3	SDAN	35.7	532,570	1,493,719	88
4	PDCP	40.4	477,343	1,181,203	85
5	CHTK	32.6	502,999	1,542,717	85
6	SISA	33.4	618,483	1,853,174	81
	PTLG	47.8	817,086	1,709,655	82
	KSKS	49.3	750,496	1,521,055	71
	BGSP	50.5	859,403	1,702,950	23 (ระยะใกล้CORSที่สุด)
	SATN	50.7	897,724	1,769,094	42.1 (ระยะใกล้CORSที่สุด)
	SCHP	51	792,443	1,552,513	74
	KKOR	52.9	1,009,499	1,910,065	85
	NDDG	53.9	783,778	1,454,955	90
	BLAN	54.3	874,660	1,609,545	65
	LPMA	55.3	822,995	1,487,492	85
	BNNR	55.7	435,017	780,367	74
	NKPT	56.4	778,994	1,380,960	57
	NANO	57.3	930,291	1,622,614	100

ตารางที่ 7 ขีดความสามารถ GNSS Fixed Solution ของ CORS ที่เป็น rover

ชุด	Station	GNSS Fixed Solution(%)	จำนวน epoch ที่ FIX Solution	จำนวน epoch ที่บันทึกได้ทั้งหมด	ระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้าน (km.)
6	SADO	57.7	979,648	1,697,583	103
	PKNK	58.9	985,322	1,674,292	32.5 (ระยะใกล้CORSที่สุด)
	SRTN	60.6	1,028,347	1,696,580	69
	DPT9	62.3	955,195	1,533,310	41
	PPRM	64.3	1,161,665	1,806,232	74
	BNST	65.3	1,122,280	1,719,926	89
	SOKA	66.1	1,095,612	1,658,609	94
	CHPM	67.7	1,059,973	1,566,470	58
	DKTN	68.6	982,549	1,432,438	79
	WSPG	69.7	1,322,542	1,898,426	78
	THAI	70.8	1,142,333	1,613,885	56
	KLNG	70.9	1,140,151	1,607,682	56
	UTTD	75.1	1,397,319	1,859,959	81
	PKKT	79.9	1,089,452	1,362,723	54
7	CHMA	63.2	1,143,344	1,808,477	85
	BTAK	71.4	1,277,248	1,789,946	89
8	TPHN	41.6	649,784	1,563,481	91
	SPBR	49.5	1,476,787	2,982,083	77
	LPBR	54.8	1,838,186	3,353,199	84
	KLKG	57.1	1,907,690	3,339,005	89
	UTHI	58.3	1,767,959	3,029,973	70
	ANGT	61	1,595,875	2,617,223	84
	BRAI	62.9	2,228,535	3,542,204	95
	UTOG	64	2,249,769	3,516,919	75
	KKOI	69.8	2,251,740	3,224,859	73

จากตารางที่ 6 และ 7 ด้วยวิธี deemed rover analysis โดยเทคนิค VRS มีจำนวน GNSS Fixed Solution ของแต่ละชุดข้อมูลดังนี้

ข้อมูลชุดที่ 1 GNSS Fixed Solution คำน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 50.5% ถึง 75.8% และค่าเฉลี่ย GNSS Fixed Solution ข้อมูลชุดที่ 1 คือ 63.2% ในชุดข้อมูลที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 74 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 2 GNSS Fixed Solution คำน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 29.9% ถึง 73% และค่าเฉลี่ย GNSS Fixed Solution ข้อมูลชุดที่ 2 คือ 55.9% ในชุดข้อมูลที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 67 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 3 GNSS Fixed Solution 35.7% ในชุดข้อมูลที่ 3 มีระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 88 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 4 GNSS Fixed Solution 40.4% ในชุดข้อมูลที่ 4 มีระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 85 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 5 GNSS Fixed Solution 32.6% ในชุดข้อมูลที่ 5 มีระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 85 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 6 GNSS Fixed Solution คำน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 33.4% ถึง 79.9% และค่าเฉลี่ย GNSS Fixed Solution ข้อมูลชุดที่ 6 คือ 59.5% ในชุดข้อมูลที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 66 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 7 GNSS Fixed Solution คำน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 63.2% ถึง 71.4% และค่าเฉลี่ย GNSS Fixed Solution ข้อมูลชุดที่ 7 คือ 67.3% ในชุดข้อมูลที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 87 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 8 GNSS Fixed Solution คำน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 41.6% ถึง 69.8% และค่าเฉลี่ย GNSS Fixed Solution ข้อมูลชุดที่ 7 คือ 57.7% ในชุดข้อมูลที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 82 ก.ม.

## 4.2 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัดการรังวัดแบบ NRTK ทั้ง 50 สถานี โดยใช้ค่าพิกัดของ CORS ในระบบอ้างอิง ITRF2014 เป็นค่าอ้างอิง

4.2.1 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัดการรังวัดแบบ NRTK ทั้ง 50 สถานี รูปแบบการใช้ CORS เป็น rover โดยใช้ค่าพิกัดของ CORS ในระบบอ้างอิง ITRF2014 เป็นค่าอ้างอิง ซึ่งใช้เวลาในการรังวัดตามตารางที่ 5 โดยแสดงข้อมูลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 8 ถึง 13 ซึ่งข้อมูลในตารางจะประกอบไปด้วยระยะระหว่าง CORS เฉลี่ยทั้งสามด้าน (km.) , GNSS Fixed Solution(%) , ค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิงทั้ง Easting กับ Northing และ UP (dEMean, dNMean, dUMean), ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และ ค่าต่างของรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองในทางราบ Root Mean Square Error (RMSE) โดยสูตรการหาของ SD และ RMSE นั้นจะมีขั้นตอนการเปรียบเทียบที่ต่างกัันกล่าวคือ SD จะใช้ค่าพิกัดที่ได้จาก NRTK ทั้งหมดของ GNSS Fixed Solution มาทำการคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วน RMSE จะใช้ค่าพิกัดที่ได้จาก NRTK มาเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงแล้วทำการคำนวณหา Root Mean Square Error

ตารางที่ 8 ข้อมูลการเปรียบเทียบค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean)

ชุด	Station	ระยะระหว่าง CORSเฉลี่ยทั้งสาม ด้าน (km.)	GNSS Fixed Solution(%)	dEMean Easting (m.)	dNMean Northing (m.)	dUMean UP(m.)
1	NSHO	67	75.8	-0.2108	0.0916	0.1389
	KNKN	81	50.5	-0.1946	0.1043	0.1489
2	WNNW	51	71.7	-0.221	0.1019	0.1176
	SISK	52	51.3	-0.2527	0.1006	0.0894
	SKPM	65	45	-0.1815	0.0786	0.241
	KMCE	69	50.5	-0.2279	0.0694	0.1665
	PBHN	69	73	-0.2107	0.0363	0.1032
	DUDM	69	69.6	-0.2134	0.0699	0.1665
	UDON	93	29.9	-0.2379	0.0811	0.1022
3	SDAN	88	35.7	-0.2126	0.0876	0.1378
4	PDCP	85	40.4	-0.2137	0.1526	0.016
5	CHTK	85	32.6	-0.2173	0.0802	0.1994
6	SATN	42.1 (ระยะใกล้CORSที่สุด)	50.7	-0.1273	0.0655	0.5781
	PKNK	32.5 (ระยะใกล้CORSที่สุด)	58.9	-0.163	0.0774	0.2153
	BGSP	23 (ระยะใกล้CORSที่สุด)	50.5	-0.199	0.0943	0.1749
	DPT9	41	62.3	-0.2431	0.0912	0.1944
	PKKT	54	79.9	-0.1863	0.0478	0.3957
	KLNG	56	70.9	-0.1654	0.0796	0.128
	THAI	56	70.8	-0.1918	0.0575	0.4732
	NKPT	57	56.4	-0.1957	0.0792	0.4362
	CHPM	58	67.7	-0.2267	0.0589	0.097
	BLAN	65	54.3	-0.194	0.08	0.2591
	SRTN	69	60.6	-0.1245	0.0854	0.2165
	KSKS	71	49.3	-0.1967	0.0976	0.1215
	PPRM	74	64.3	-0.211	0.0828	0.135

ตารางที่ 9 ข้อมูลการเปรียบเทียบค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean)

ชุด	Station	ระยะระหว่าง CORSเฉลี่ยทั้ง สามด้าน (km.)	GNSS Fixed Solution(%)	dEMean Easting (m.)	dNMean Northing (m.)	dUMean UP (m.)
6	BNNR	74	55.7	-0.141	0.0007	0.7215
	SCHP	74	51	-0.2105	0.0695	0.2282
	WSPG	78	69.7	-0.161	0.0919	0.1999
	DKTN	79	68.6	-0.2321	0.065	0.098
	SISA	81	33.4	0.2014	0.0688	0.1692
	UTTD	81	75.1	-0.2285	0.088	0.1774
	PTLG	82	47.8	-0.287	0.0842	0.0976
	KKOR	85	52.9	-0.2084	0.0915	0.139
	LPMA	85	55.3	-0.2291	0.0639	0.1895
	BNST	89	65.3	-0.1836	0.1079	0.2616
	NDDG	90	53.9	-0.2634	0.0687	0.1879
	SOKA	94	66.1	-0.1691	0.1017	0.0825
	NANO	100	57.3	-0.2258	0.1017	0.2624
	SADO	103	57.7	-0.1636	0.0961	0.1358
7	CHMA	85	63.2	-0.2194	0.0807	0.4394
	BTAK	89	71.4	-0.2141	0.0614	0.2205
8	UTHI	70	58.3	-0.2122	0.0675	0.1676
	KKOI	73	69.8	-0.1966	0.0601	0.1115
	UTOG	75	64	-0.2238	0.0764	0.1862
	SPBR	77	49.5	-0.2162	0.0882	0.2635
	LPBR	84	54.8	-0.2212	0.0829	0.3931
	ANGT	84	61	-0.2181	0.0913	0.381
	KLKG	89	57.1	-0.2193	0.0635	0.1178
	TPHN	91	41.6	-0.2301	0.0848	0.1168
	BRAI	95	62.9	-0.2024	0.0844	0.19



จากตารางที่ 8 และ 9 ด้วยวิธี deemed rover analysis โดยเทคนิค VRS การเปรียบเทียบค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean) ของแต่ละชุดข้อมูลดังนี้

ข้อมูลชุดที่ 1 ค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean) โดย dEMean ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.1946 ถึง 0.2108 เมตร และค่าเฉลี่ย dEMean ข้อมูลชุดที่ 1 คือ 0.2027 เมตร , dNMean น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.0916 ถึง 0.1043 เมตร และค่าเฉลี่ย dNMean ข้อมูลชุดที่ 1 คือ 0.098 เมตร , dUMean น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.1389 ถึง 0.1489 เมตร และค่าเฉลี่ย dUMean ข้อมูลชุดที่ 1 คือ 0.1439 เมตร ในชุดข้อมูลชุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 74 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 2 ค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean) โดย dEMean ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.1815 ถึง 0.2527 เมตร และค่าเฉลี่ย dEMean ข้อมูลชุดที่ 2 คือ 0.2207 เมตร , dNMean น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.0363 ถึง 0.1019 เมตร และค่าเฉลี่ย dNMean ข้อมูลชุดที่ 2 คือ 0.0768 เมตร, dUMean น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.0894 ถึง 0.241 เมตร และค่าเฉลี่ย dUMean ข้อมูลชุดที่ 2 คือ 0.1409 เมตร ในชุดข้อมูลชุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 67 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 3 ค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean) โดย dEMean 0.2126 เมตร , dNMean 0.0876 เมตร, dUMean 0.1378 เมตร ในชุดข้อมูลชุดที่ 3 ระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านคือ 88 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 4 ค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean) โดย dEMean 0.2137 เมตร , dNMean 0.1526 เมตร, dUMean 0.016 เมตร ในชุดข้อมูลชุดที่ 4 ระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านคือ 85 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 5 ค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean) โดย dEMean 0.2173 เมตร , dNMean 0.0802 เมตร, dUMean 0.1994 เมตร ในชุดข้อมูลชุดที่ 5 ระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านคือ 85 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 6 ค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean) โดย dEMean ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.1245 ถึง 0.287 เมตร และค่าเฉลี่ย dEMean ข้อมูลชุดที่ 6 คือ -0.1825 เมตร , dNMean น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.0007 ถึง 0.1079 เมตร

และค่าเฉลี่ย dNMean ข้อมูลชุดที่ 6 คือ 0.0777 เมตร , dUMean น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.0825 ถึง 0.7215 เมตร และค่าเฉลี่ย dUMean ข้อมูลชุดที่ 6 คือ 0.2361 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่าง CORS เฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 66 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 7 ค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean) โดย dEMean ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.2141 ถึง 0.2194 เมตร และค่าเฉลี่ย dEMean ข้อมูลชุดที่ 7 คือ -0.2168 เมตร , dNMean น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.0614 ถึง 0.0807 เมตร และค่าเฉลี่ย dNMean ข้อมูลชุดที่ 7 คือ 0.0711 เมตร , dUMean น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.2205 ถึง 0.4394 เมตร และค่าเฉลี่ย dUMean ข้อมูลชุดที่ 7 คือ 0.33 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 87 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 8 ค่าต่างพิกัดเฉลี่ยกับค่าพิกัดอ้างอิง (dEMean,dNMean,dUMean) โดย dEMean ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.1966 ถึง 0.2301 เมตร และค่าเฉลี่ย dEMean ข้อมูลชุดที่ 8 คือ -0.2155 เมตร , dNMean น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.0601 ถึง 0.0913 เมตร และค่าเฉลี่ย dNMean ข้อมูลชุดที่ 8 คือ 0.0777 เมตร , dUMean น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.1115 ถึง 0.3931 เมตร และค่าเฉลี่ย dUMean ข้อมูลชุดที่ 8 คือ 0.2142 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 8 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 82 ก.ม.

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

ชุด	Station	ระยะระหว่าง CORSเฉลี่ยทั้งสาม ด้าน (km.)	GNSS Fixed Solution(%)	SD Easting (m.)	SD Northing (m.)	SD UP(m.)
1	NSHO	67	75.8	0.218	0.1172	0.52
	KNKN	81	50.5	0.2733	0.1494	0.563
2	WNNW	51	71.7	0.4523	0.4403	1.001
	SISK	52	51.3	0.3715	0.3183	0.4085
	SKPM	65	45	0.7875	0.5656	1.5262
	KMCE	69	50.5	0.9711	0.5853	1.3561
	PBHN	69	73	0.8119	0.8229	1.5342
	DUDM	69	69.6	0.3545	0.4458	0.8671
	UDON	93	29.9	0.837	0.2824	0.9931
3	SDAN	88	35.7	0.6216	0.7889	1.2651
4	PDCP	85	40.4	5.2719	4.0899	15.7458
5	CHTK	85	32.6	0.3217	0.2594	0.4773
6	SATN	42.1 (ระยะใกล้CORSที่สุด)	50.7	1.7756	1.2532	2.4301
	PKNK	32.5 (ระยะใกล้CORSที่สุด)	58.9	1.0892	1.3018	7.0819
	BGSP	23 (ระยะใกล้CORSที่สุด)	50.5	0.8335	0.4042	0.6844
	DPT9	41	62.3	1.5014	0.5756	4.7524
	PKKT	54	79.9	0.5077	0.7127	1.8421
	KLNG	56	70.9	1.4234	0.6478	2.4834
	THAI	56	70.8	0.7192	0.8558	2.2687
	NKPT	57	56.4	0.4986	0.3491	1.2268
	CHPM	58	67.7	0.5722	0.4278	1.0542
	BLAN	65	54.3	0.6126	0.4806	1.8665
	SRTN	69	60.6	0.3174	0.31	2.3947
	KSKS	71	49.3	0.7232	0.6323	1.2162
	PPRM	74	64.3	0.9386	0.7133	1.7749

ตารางที่ 11 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

ชุด	Station	ระยะระหว่าง CORSเฉลี่ยทั้ง สามด้าน (km.)	GNSS Fixed Solution(%)	SD Easting (m.)	SD Northing (m.)	SD UP(m.)
6	BNNR	74	55.7	0.8589	0.8014	2.3198
	SCHP	74	51	0.5121	0.5187	1.0644
	WSPG	78	69.7	1.3765	0.7533	1.9202
	DKTN	79	68.6	0.6025	0.5412	1.1387
	SISA	81	33.4	0.5406	0.8822	1.0751
	UTTD	81	75.1	0.4027	0.3799	0.7448
	PTLG	82	47.8	2.8545	1.3656	2.5187
	KKOR	85	52.9	0.5611	0.4033	0.8566
	LPMA	85	55.3	0.6084	0.421	0.9837
	BNST	89	65.3	0.972	0.655	1.2234
	NDDG	90	53.9	1.1088	0.7736	1.0826
	SOKA	94	66.1	0.6428	0.5906	1.0843
	NANO	100	57.3	0.5218	0.4349	0.8301
	SADO	103	57.7	0.8441	0.5248	1.1756
7	CHMA	85	63.2	0.6369	0.5516	1.2971
	BTAK	89	71.4	0.5695	0.394	0.8888
8	UTHI	70	58.3	4.3136	4.78	4.2872
	KKOI	73	69.8	1.2529	1.1464	3.2592
	UTOG	75	64	0.2808	0.2233	0.7491
	SPBR	77	49.5	0.4665	0.4093	0.9081
	LPBR	84	54.8	0.3902	0.3615	1.0061
	ANGT	84	61	0.3508	0.2864	0.7904
	KLKG	89	57.1	0.5055	0.3989	0.9079
	TPHN	91	41.6	0.3511	0.1806	0.7056
	BRAI	95	62.9	0.467	0.347	0.8289

จากตารางที่ 10 และ 11 ด้วยวิธี deemed rover analysis โดยเทคนิค VRS การเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแต่ละชุดข้อมูลดังนี้

ข้อมูลชุดที่ 1 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดย SD Easting ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.218 ถึง 0.2733 เมตร และค่าเฉลี่ย SD Easting ข้อมูลชุดที่ 1 คือ 0.2457 เมตร , SD Northing น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.1172 ถึง 0.1494 เมตร และค่าเฉลี่ย SD Northing ข้อมูลชุดที่ 1 คือ 0.1333 เมตร , SD UP น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.52 ถึง 0.563 เมตร และค่าเฉลี่ย SD UP ข้อมูลชุดที่ 1 คือ 0.5415 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่าง CORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 74 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 2 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดย SD Easting ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.3545 ถึง 0.9711 เมตร และค่าเฉลี่ย SD Easting ข้อมูลชุดที่ 2 คือ 0.6551 เมตร , SD Northing ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.2824 ถึง 0.8229 เมตร และค่าเฉลี่ย SD Northing ข้อมูลชุดที่ 2 คือ 0.4944 เมตร, SD UP น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.4085 ถึง 1.5342 เมตร และค่าเฉลี่ย SD UP ข้อมูลชุดที่ 2 คือ 1.0980 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่าง CORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 67 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 3 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดย SD Easting 0.6216 เมตร , SD Northing 0.7889 เมตร, SD UP 1.2651 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 3 ระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านคือ 88 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 4 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดย SD Easting 5.2719 เมตร , SD Northing 4.0899 เมตร, SD UP 15.7458 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 4 ระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านคือ 85 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 5 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดย SD Easting 0.3217 เมตร , SD Northing 0.2594 เมตร, SD UP 0.4773 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 5 ระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านคือ 85 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 6 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดย SD Easting ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.3174 ถึง 2.8545 เมตร และค่าเฉลี่ย SD Easting ข้อมูลชุดที่ 6 คือ 0.8859 เมตร , SD Northing ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.31 ถึง 1.3656 เมตร และค่าเฉลี่ย SD Northing

ข้อมูลชุดที่ 6 คือ 0.6559 เมตร, SD UP น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.6844 ถึง 7.0819 เมตร และค่าเฉลี่ย SD UP ข้อมูลชุดที่ 6 คือ 1.8183 เมตร ในชุดข้อมูลชุดที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่าง CORS เฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 66 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 7 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดย SD Easting ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.5695 ถึง 0.6369 เมตร และค่าเฉลี่ย SD Easting ข้อมูลชุดที่ 7 คือ 0.6032 เมตร , SD Northing ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.394 ถึง 0.5516 เมตร และค่าเฉลี่ย SD Northing ข้อมูลชุดที่ 7 คือ 0.4728 เมตร, SD UP น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.8888 ถึง 1.2971 เมตร และค่าเฉลี่ย SD UP ข้อมูลชุดที่ 7 คือ 1.0930 เมตร ในชุดข้อมูลชุดที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่าง CORS เฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 87 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 8 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดย SD Easting ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.2808 ถึง 4.3136 เมตร และค่าเฉลี่ย SD Easting ข้อมูลชุดที่ 8 คือ 0.9309 เมตร , SD Northing ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.1806 ถึง 4.78 เมตร และค่าเฉลี่ย SD Northing ข้อมูลชุดที่ 8 คือ 0.9037 เมตร, SD UP น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.7056 ถึง 4.2872 เมตร และค่าเฉลี่ย SD UP ข้อมูลชุดที่ 8 คือ 1.4936 เมตร ในชุดข้อมูลชุดที่ 8 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่าง CORS เฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 82 ก.ม.

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบ Root Mean Square Error (RMSE)

ชุด	Station	ระยะระหว่าง CORSเฉลี่ยทั้ง สามด้าน(km.)	GNSS Fixed Solution(%)	RMSE Easting (m.)	RMSE Northing (m.)	RMSE UP (m.)	RMSE 2D (m)
1	NSHO	67	75.8	0.3032	0.1487	0.5382	0.6755
	KNKN	81	50.5	0.3355	0.1822	0.5824	0.7636
2	WNNW	51	71.7	0.5034	0.4519	1.0079	1.353
	SISK	52	51.3	0.4493	0.3338	0.4182	1.1195
	SKPM	65	45	0.8082	0.5711	1.5451	1.9791
	KMCE	69	50.5	0.9975	0.5894	1.3663	2.3171
	PBHN	69	73	0.8388	0.8273	1.5377	2.3513
	DUDM	69	69.6	0.4138	0.4513	0.8829	1.2246
	UDON	93	29.9	0.8702	0.2938	0.9984	1.8368
3	SDAN	88	35.7	0.657	0.7937	1.2726	2.0607
4	PDCP	85	40.4	5.2762	4.0927	15.7458	13.355
5	CHTK	85	32.6	0.3882	0.2715	0.5173	0.9475
6	SATN	42.1 (ระยะ ใกล้CORSที่สุด)	50.7	1.7802	1.2549	2.498	4.3561
	PKNK	32.5 (ระยะ ใกล้CORSที่สุด)	58.9	1.1013	1.3041	7.0852	3.4139
	BGSP	23 (ระยะใกล้CORS ที่สุด)	50.5	0.8569	0.4151	0.7064	1.9043
	DPT9	41	62.3	1.521	0.5828	4.7564	3.2576
	PKKT	54	79.9	0.5408	0.7143	1.8841	1.7919
	KLNG	56	70.9	1.433	0.6527	2.4867	3.1493
	THAI	56	70.8	0.7444	0.8578	2.3176	2.2714
	NKPT	57	56.4	0.5357	0.358	1.302	1.2886
	CHPM	58	67.7	0.6155	0.4318	1.0586	1.5037
	BLAN	65	54.3	0.6426	0.4872	1.8844	1.6128
	SRTN	69	60.6	0.3409	0.3215	2.4045	0.9372
	KSKS	71	49.3	0.7494	0.6398	1.2222	1.9708
	PPRM	74	64.3	0.962	0.7181	1.7801	2.4009

ตารางที่ 13 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบ Root Mean Square Error (RMSE)

ชุด	Station	ระยะระหว่าง CORSเฉลี่ยทั้ง สามด้าน(km.)	GNSS Fixed Solution (%)	RMSE Easting (m.)	RMSE Northing (m.)	RMSE UP (m.)	RMSE 2D (m)
6	BNNR	74	55.7	0.8704	0.8014	2.4294	2.3663
	SCHP	74	51	0.5537	0.5233	1.0886	1.5238
	WSPG	78	69.7	1.3859	0.7589	1.9306	3.1601
	DKTN	79	68.6	0.6457	0.5451	1.1429	1.69
	SISA	81	33.4	0.5769	0.8849	1.0884	2.1127
	UTTD	81	75.1	0.463	0.39	0.7656	1.2107
	PTLG	82	47.8	2.8689	1.3682	2.5206	6.3569
	KKOR	85	52.9	0.5986	0.4136	0.8678	1.4551
	LPMA	85	55.3	0.6501	0.4258	1.0018	1.5543
	BNST	89	65.3	0.9892	0.6638	1.2511	2.3825
	NDDG	90	53.9	1.1397	0.7767	1.0988	2.7583
	SOKA	94	66.1	0.6647	0.5993	1.0875	1.7899
	NANO	100	57.3	0.5686	0.4466	0.8706	1.4461
	SADO	103	57.7	0.8598	0.5335	1.1834	2.0237
7	CHMA	85	63.2	0.6736	0.5575	1.3695	1.7488
	BTAK	89	71.4	0.6084	0.3988	0.9158	1.4549
8	UTHI	70	58.3	4.3188	4.7805	4.2905	12.885
	KKOI	73	69.8	1.2682	1.148	3.2611	3.4212
	UTOG	75	64	0.3591	0.236	0.7719	0.8594
	SPBR	77	49.5	0.5142	0.4187	0.9455	1.3262
	LPBR	84	54.8	0.4485	0.3708	1.0801	1.164
	ANGT	84	61	0.413	0.3006	0.8774	1.0216
	KLKG	89	57.1	0.551	0.4039	0.9155	1.3664
	TPHN	91	41.6	0.4198	0.1995	0.7152	0.9295
	BRAI	95	62.9	0.509	0.3572	0.8504	1.2436



จากตารางที่ 12 และ 13 ด้วยวิธี deemed rover analysis โดยเทคนิค VRS การเปรียบเทียบ Root Mean Square Error (RMSE) ของแต่ละชุดข้อมูลดังนี้

ข้อมูลชุดที่ 1 RMSE Easting ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.3032 ถึง 0.3355 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE Easting ข้อมูลชุดที่ 1 คือ 0.3194 เมตร , RMSE Northing น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.1487 ถึง 0.1822 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE Northing ข้อมูลชุดที่ 1 คือ 0.1655 เมตร , RMSE UP น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.5382 ถึง 0.5824 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE UP ข้อมูลชุดที่ 1 คือ 0.5603 เมตร , RMSE(2D) น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.6755 ถึง 0.7636 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE(2D) ข้อมูลชุดที่ 1 คือ 0.7196 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 74 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 2 RMSE Easting ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.4138 ถึง 0.9975 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE Easting ข้อมูลชุดที่ 2 คือ 0.6973 เมตร , RMSE Northing ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.2938 ถึง 0.8273 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE Northing ข้อมูลชุดที่ 2 คือ 0.5027 เมตร, SD UP น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.4182 ถึง 1.5451 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE UP ข้อมูลชุดที่ 2 คือ 1.1081 เมตร , RMSE(2D) น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 1.1195 ถึง 2.3513 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE(2D) ข้อมูลชุดที่ 2 คือ 1.7402 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 67 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 3 RMSE Easting 0.657 เมตร , RMSE Northing 0.7937 เมตร, RMSE UP 1.2726 เมตร , RMSE(2D) 2.0607 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 3 ระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านคือ 88 ก.ม.

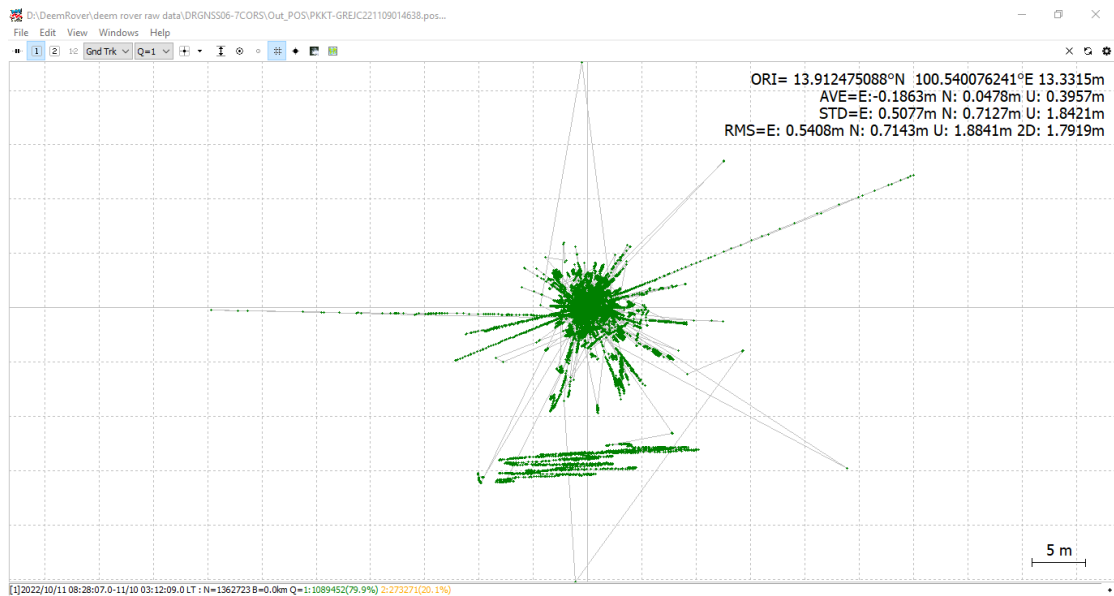
ข้อมูลชุดที่ 4 RMSE Easting 5.2762 เมตร , RMSE Northing 4.0927 เมตร, RMSE UP 15.7458 เมตร , RMSE(2D) 13.355 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 4 ระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านคือ 85 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 5 RMSE Easting 0.3882 เมตร , RMSE Northing 0.2715 เมตร, RMSE UP 0.5173 เมตร , RMSE(2D) 0.9475 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 5 ระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านคือ 85 ก.ม.

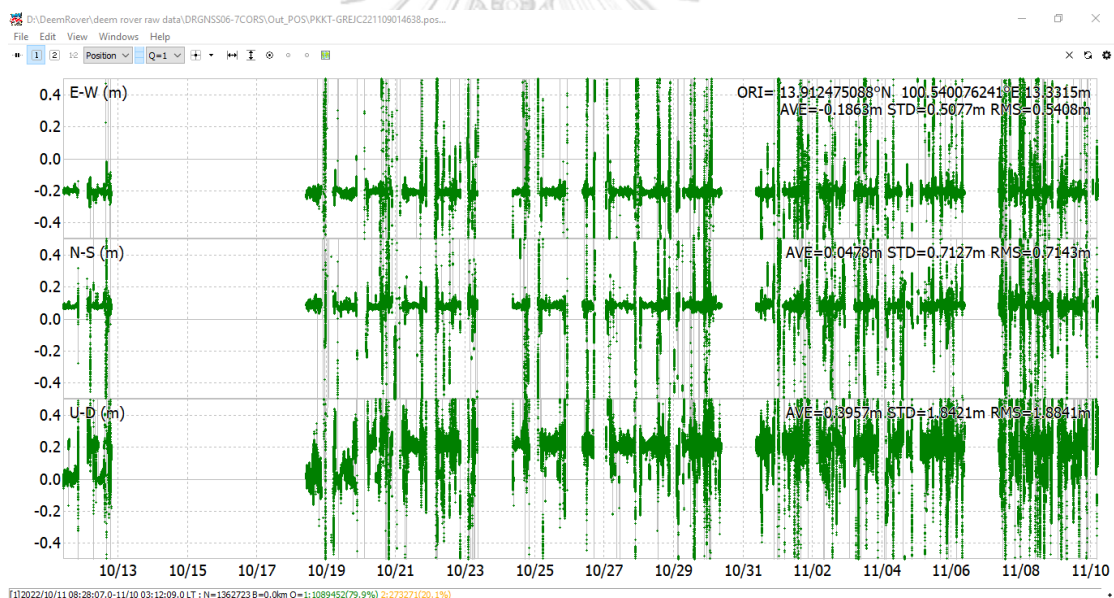
ข้อมูลชุดที่ 6 RMSE Easting ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.3409 ถึง 2.8689 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE Easting ข้อมูลชุดที่ 6 คือ 0.9133 เมตร , RMSE Northing ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.3215 ถึง 1.3682 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE Northing ข้อมูลชุดที่ 6 คือ 0.6618 เมตร, RMSE UP น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.7064 ถึง 7.0852 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE UP ข้อมูลชุดที่ 6 คือ 1.8412 เมตร , RMSE(2D) น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.9372 ถึง 6.3569 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE(2D) ข้อมูลชุดที่ 6 คือ 2.2848 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่าง CORS เฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 66 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 7 RMSE Easting ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.6084 ถึง 0.6736 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE Easting ข้อมูลชุดที่ 7 คือ 0.6410 เมตร , RMSE Northing ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.3988 ถึง 0.5575 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE Northing ข้อมูลชุดที่ 7 คือ 0.4782 เมตร, RMSE UP น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.9158 ถึง 1.3695 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE UP ข้อมูลชุดที่ 7 คือ 1.1427 เมตร , RMSE(2D) น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 1.4549 ถึง 1.7488 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE(2D) ข้อมูลชุดที่ 7 คือ 1.6019 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่าง CORS เฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 87 ก.ม.

ข้อมูลชุดที่ 8 RMSE Easting ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.3591 ถึง 4.3188 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE Easting ข้อมูลชุดที่ 8 คือ 0.9780 เมตร , RMSE Northing ค่าน้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.1995 ถึง 4.7805 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE Northing ข้อมูลชุดที่ 8 คือ 0.9128 เมตร, RMSE UP น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.7152 ถึง 4.2905 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE UP ข้อมูลชุดที่ 8 คือ 1.5231 เมตร , RMSE(2D) น้อยที่สุดกับมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 0.8594 ถึง 12.885 เมตร และค่าเฉลี่ย RMSE(2D) ข้อมูลชุดที่ 8 คือ 2.6908 เมตร ในชุดข้อมูลที่ 8 มีค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างCORSเฉลี่ยทั้งสามด้านอยู่ที่ 82 ก.ม.

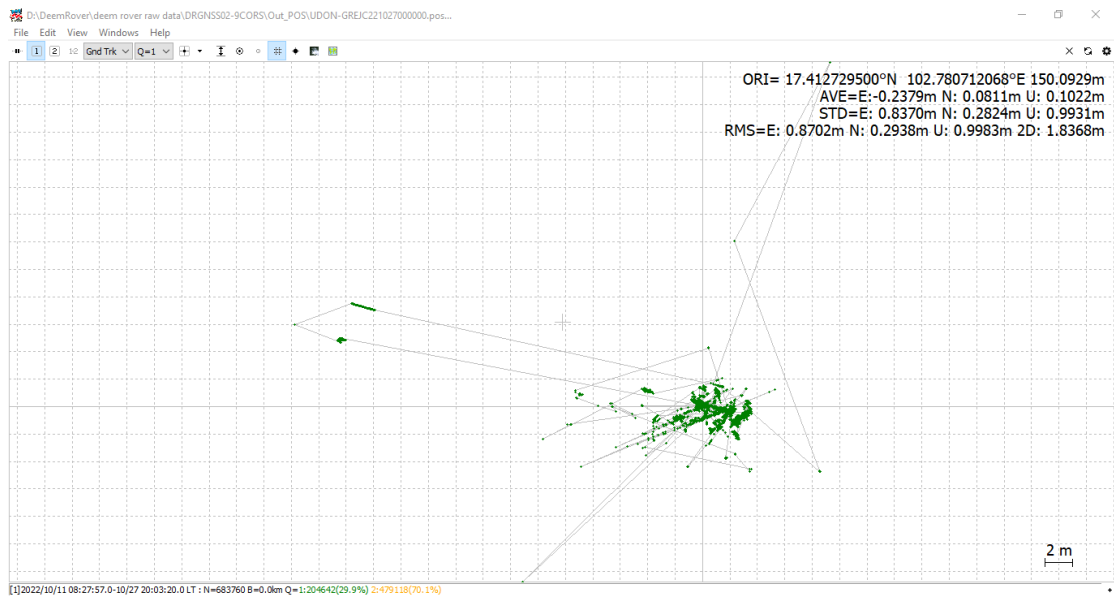


รูปที่ 16 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี PKKT ข้อมูลชุดที่ 6

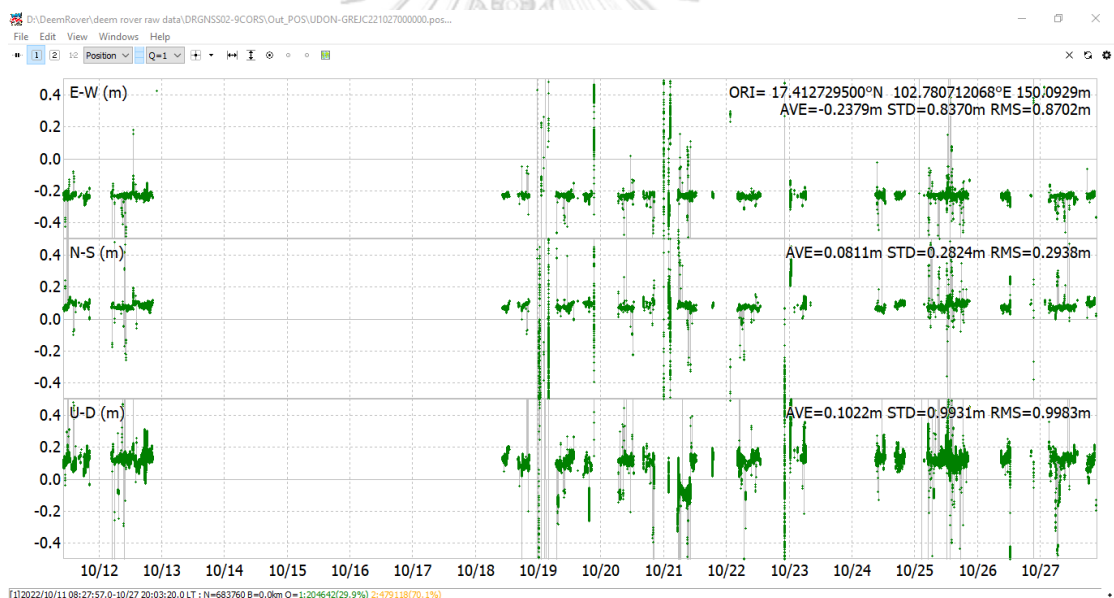


รูปที่ 17 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี PKKT ข้อมูลชุดที่ 6

จากรูปที่ 16 และ 17 ในขีดความสามารถในการ GNSS Fixed Solution ของการรังวัดแบบ NRTK สรุปได้ว่าวิธี deemed rover analysis รังวัดแบบ NRTK ในเทคนิค VRS มีประสิทธิภาพสูงสุด 79.9% ของสถานี PKKT ของจำนวนค่าพิกัดการรังวัดทั้งหมด มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 54 ก.ม.

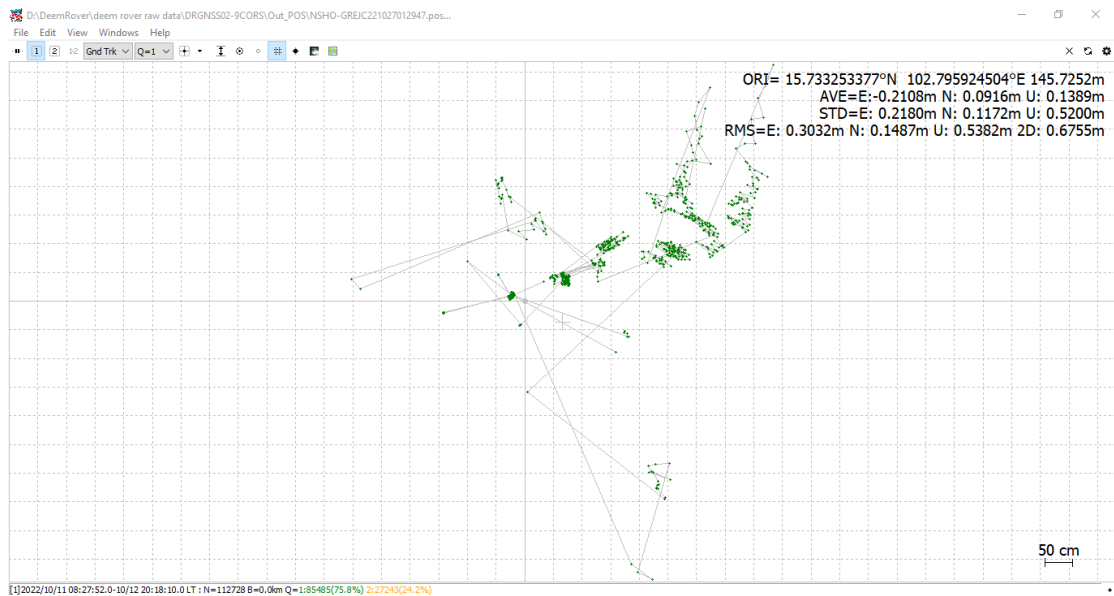


รูปที่ 18 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี UDON ข้อมูลชุดที่ 2

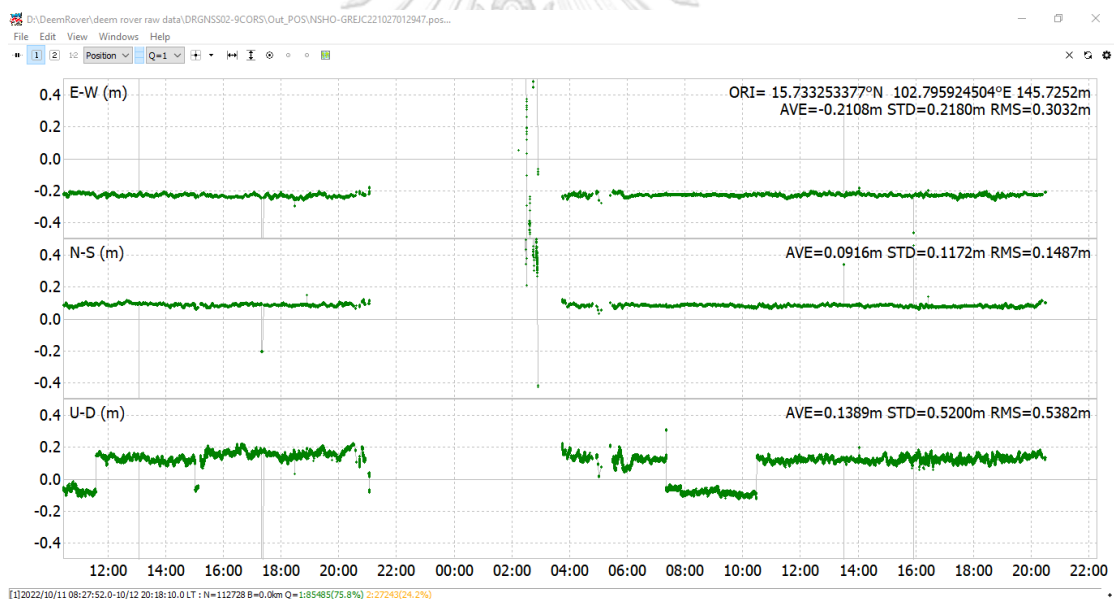


รูปที่ 19 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี UDON ข้อมูลชุดที่ 2

จากรูปที่ 18 และ 19 ในขีดความสามารถในการ GNSS Fixed Solution ของการรังวัดแบบ NRTK สรุปได้ว่าวิธี deemed rover analysis รังวัดแบบ NRTK ในเทคนิค VRS มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด 29.9% ของสถานี UDON ของจำนวนค่าพิกัดการรังวัดทั้งหมด มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 93 ก.ม.

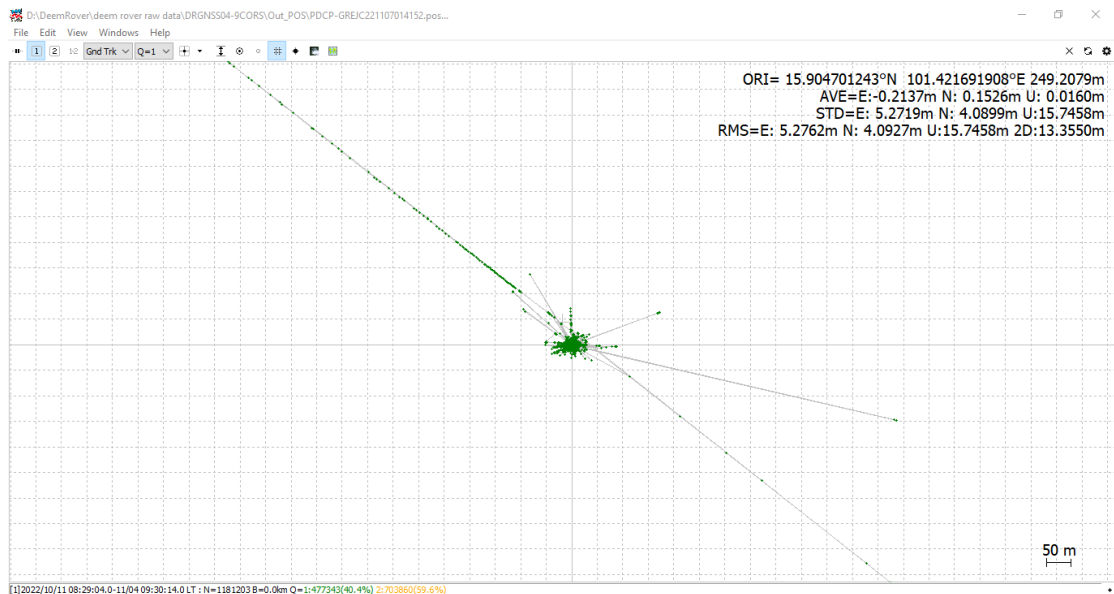


รูปที่ 20 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี NSHO ข้อมูลชุดที่ 1

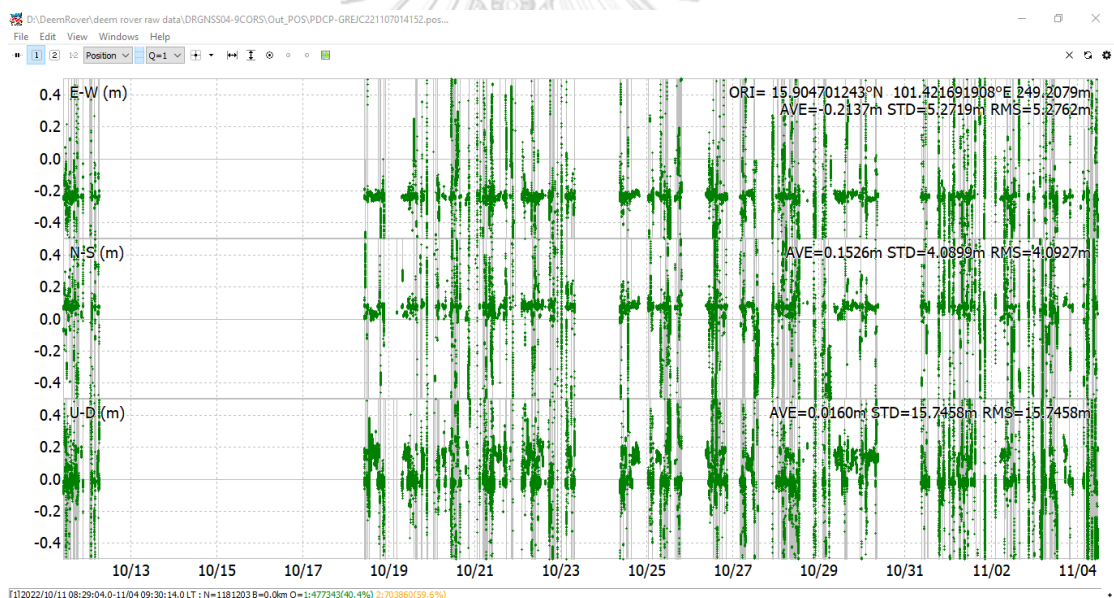


รูปที่ 21 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี NSHO ข้อมูลชุดที่ 1

จากรูปที่ 20 และ 21 ในส่วนของค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด RMSE ของ Easting ค่าน้อยที่สุด 30.32 เซนติเมตร , RMSE ของ Northing ค่าน้อยที่สุด 14.87 เซนติเมตร , RMSE (2D) ค่าน้อยที่สุด 67.55 เซนติเมตร ของสถานี NSHO มี Fixed Solution อยู่ที่ 75.8% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 67 กม.

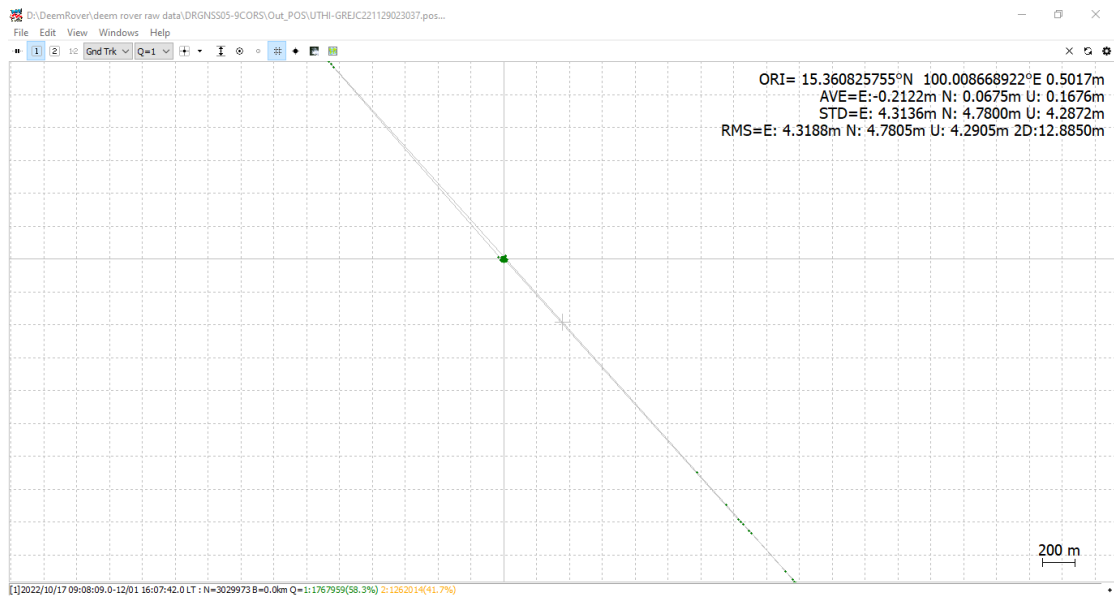


รูปที่ 22 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี PDCP ข้อมูลชุดที่ 4

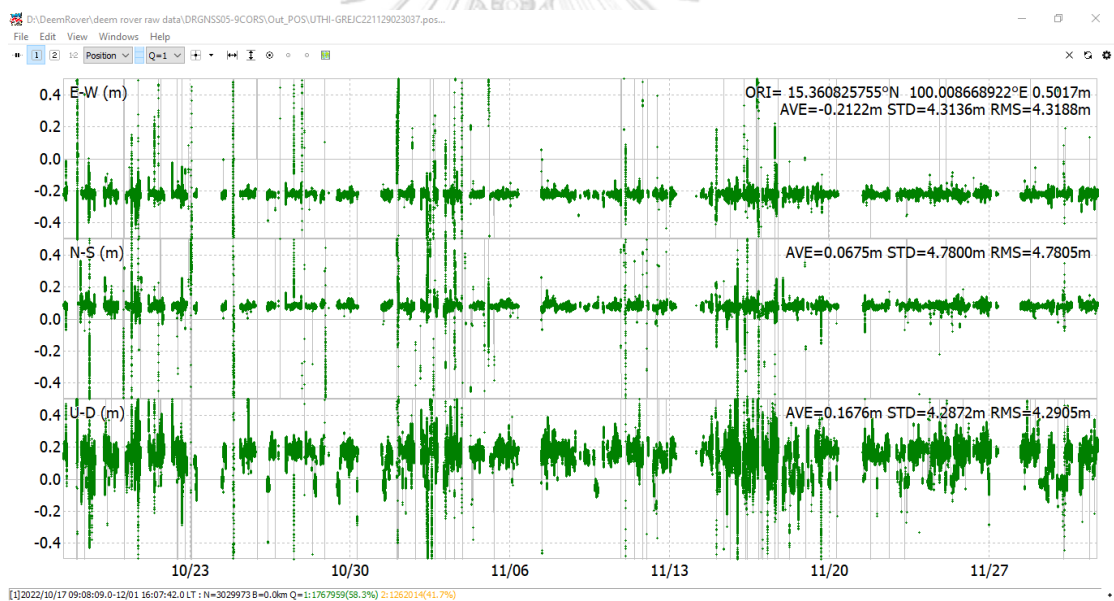


รูปที่ 23 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี PDCP ข้อมูลชุดที่ 4

จากรูปที่ 22 และ 23 ในส่วนของค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด RMSE ของ Easting มากที่สุด 5.27 เมตร, RMSE ของ UP โดยมีค่ามากที่สุด 15.74 เมตร , RMSE (2D) สูงที่สุด 13.35 เมตร ของสถานี PDCP มี Fixed Solution อยู่ที่ 40.4% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 85 กม.

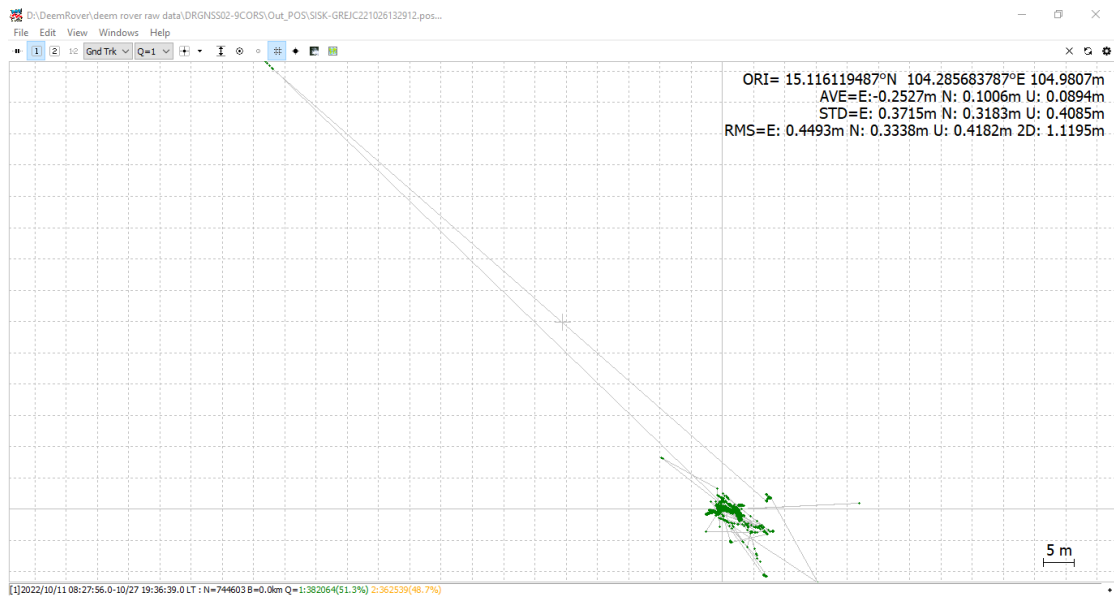


รูปที่ 24 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี UTHI ข้อมูลชุดที่ 8

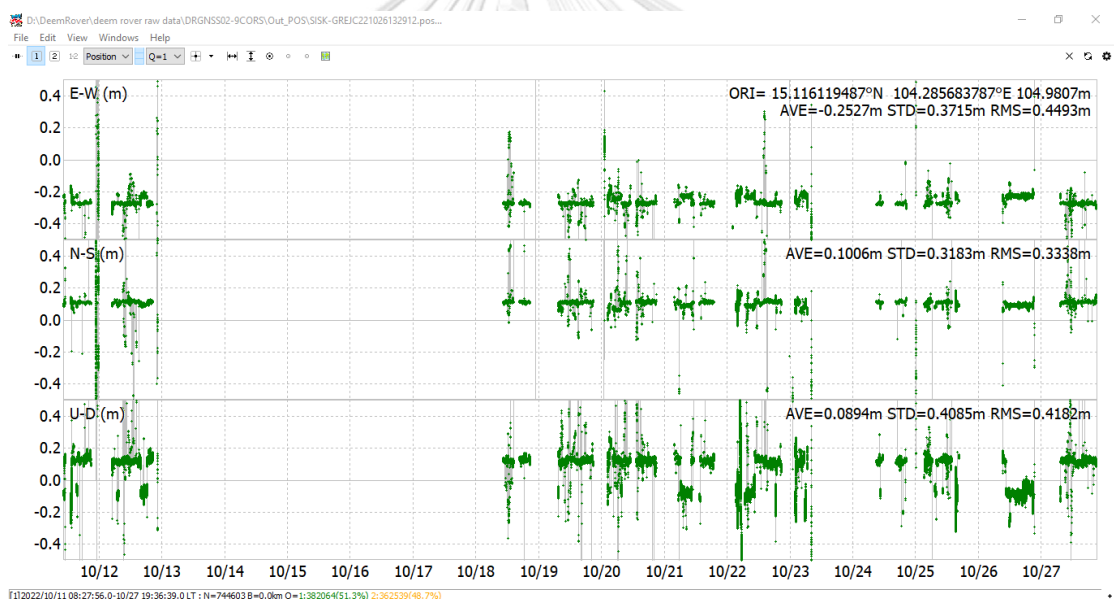


รูปที่ 25 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี UTHI ข้อมูลชุดที่ 8

จากรูปที่ 24 และ 25 ในส่วนของค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด RMSE ของ Northing ค่ามากที่สุด 4.78 เมตร ของสถานี UTHI มี Fixed Solution อยู่ที่ 58.3% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 70 ก.ม.



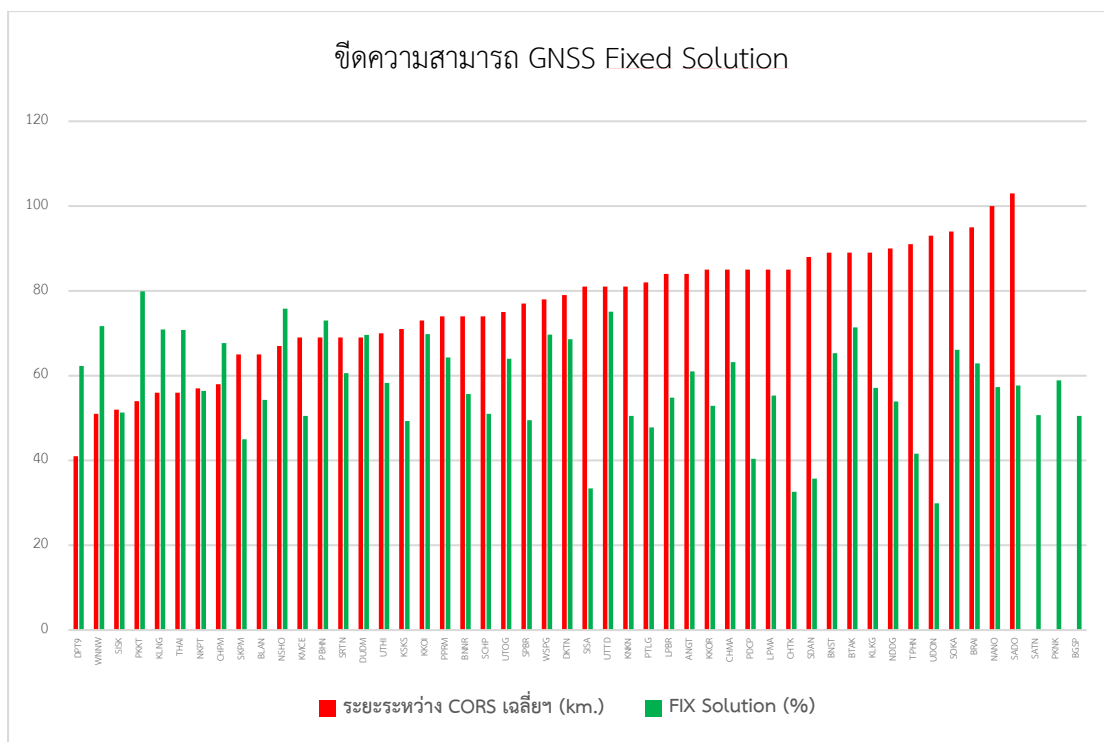
รูปที่ 26 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี SISK ข้อมูลชุดที่ 2



รูปที่ 27 ผลการทดลองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของสถานี SISK ข้อมูลชุดที่ 2

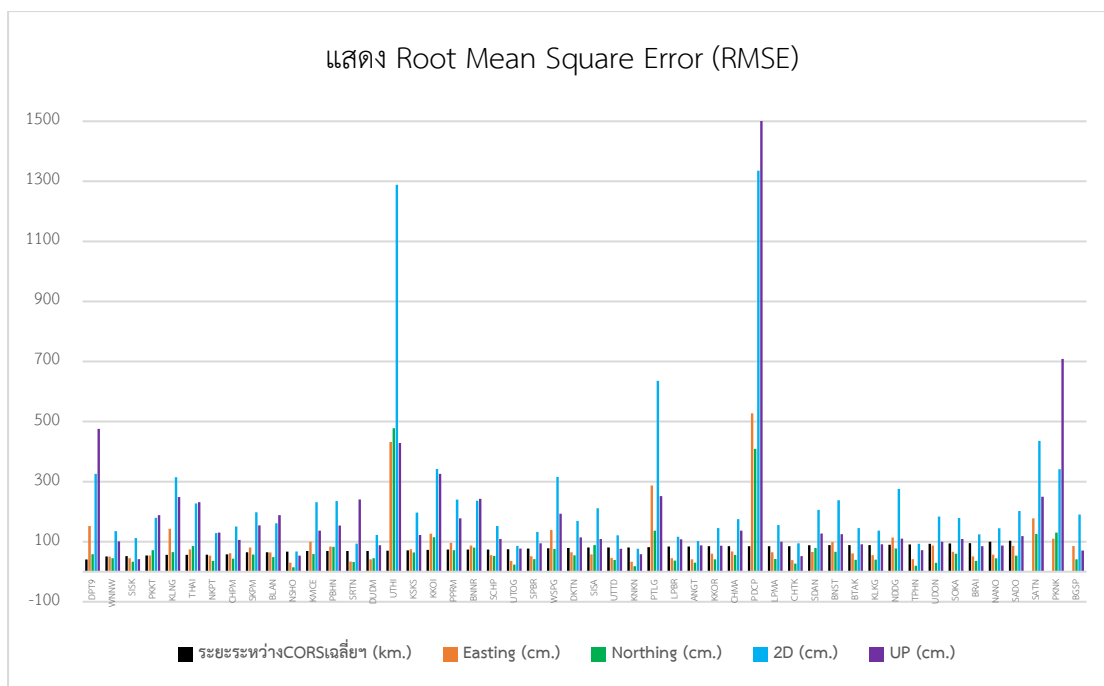
จากรูปที่ 26 และ 27 ในส่วนของค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด RMSE ของ UP โดยมีค่าน้อยที่สุด 41.82 เซนติเมตร ของสถานี SISK มี Fixed Solution อยู่ที่ 51.3% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 52 กม.





รูปที่ 28 กราฟแสดงผลการทดลองจากความสามารถ Fixed Solution จาก 50 CORS

จากรูปที่ 28 แสดงให้เห็นว่า ความสามารถการ Fixed Solution ของสถานีผู้ใช้ จะมีประสิทธิภาพดีขึ้นนั้นมีแนวโน้มจากระยะห่างระหว่างสถานีฐานถาวรที่อยู่บริเวณโดยรอบของสถานีผู้ใช้ ขีดความสามารถในการ GNSS Fixed Solution ของการรังวัดแบบ NRTK สรุปได้ว่าวิธี deemed rover analysis รังวัดแบบ NRTK ในเทคนิค VRS มีประสิทธิภาพสูงสุด 79.9% ของสถานี PKKT ของจำนวนค่าพิกัดการรังวัดทั้งหมด มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 54 ก.ม. ส่วนการ Fixed Solution มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด 29.9% ของสถานี UDON ของจำนวนค่าพิกัดการรังวัดทั้งหมด มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 93 ก.ม. ดังนั้นระยะห่างระหว่างสถานีฐานถาวرن้อยลง ทำให้แนวโน้มประสิทธิภาพ Fixed Solution ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 29 กราฟแสดงผลจากการทดลองจากค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด RMSE

จากรูปที่ 29 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัด วิธี deemed rover analysis รั้งวัดแบบ NRTK ในเทคนิค VRS โดยใช้ค่าพิกัดของสถานี CORS เป็นค่าอ้างอิง สรุปได้ว่า มีค่า RMSE ของ Easting โดยมีค่าน้อยที่สุด 30.32 เซนติเมตร ของสถานี NSHO โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 75.8% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 67 ก.ม.และค่า RMSE ของ Easting มากที่สุด 5.27 เมตร ของสถานี PDCP โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 40.4% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 85 กม. ในส่วน RMSE ของ Northing โดยมีค่าน้อยที่สุด 14.87 เซนติเมตร ของสถานี NSHO โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 75.8% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 67 ก.ม. และค่า RMSE ของ Northing มากที่สุด 4.78 เมตร ของสถานี UTHI โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 58.3% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 70 กม. ในส่วน RMSE ของ UP โดยมีค่าน้อยที่สุด 41.82 เซนติเมตรของสถานี SISK โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 51.3% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 52 ก.ม. และค่า RMSE ของ UP โดยมีค่ามากที่สุด 15.74 เมตร ของสถานี PDCP โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 40.4% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 85 ก.ม. จากผลการวิจัยพบว่าระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยมยิ่งน้อยลงมีแนวโน้มจะทำให้ประสิทธิภาพการ Fix solution และค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและดิ่งของสถานี CORS ดียิ่งขึ้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการจำลองสถานการณ์ของภูมิประเทศจริง เมื่อออกปฏิบัติงานสนาม ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของ CORS ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบคือ ต้องใช้ค่าใช้จ่ายและจำนวนเจ้าหน้าที่สูง ในภูมิประเทศหลายๆพื้นที่เพื่อตรวจสอบ และไม่สามารถทราบปัญหานั้นได้แบบเรียลไทม์ รวมถึงการที่รังวัด NRTK แล้วไม่สามารถ Fixed Solutions ได้ โดยในงานวิจัยนี้ เลือก 50 สถานี CORS เป็น rover ที่ไม่อยู่ในโครงข่ายสถานีของ NCDC ที่อยู่ในหลายพื้นที่ของประเทศไทย และใช้การส่งสัญญาณค่าปรับแก้ในรูปแบบโครงข่ายของ NCDC 173 สถานี โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิค VRS กับโปรแกรม RTKLIB วิเคราะห์ผลแบบเรียลไทม์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การประเมินประสิทธิภาพการ Fix solution ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและดิ่งของ สถานี CORS กับระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปแบบสามเหลี่ยม โดยวิธี deemed rover analysis โดยใช้คอมพิวเตอร์ PC จำนวน 6 ชุด ของกรมแผนที่ทหารกองบัญชาการกองทัพไทยที่ใช้ในงาน deemed rover analysis เวลาเริ่มเก็บข้อมูลด้วยวิธี deemed rover analysis ใช้เทคนิค VRS ตั้งแต่วันที่ 11 ตุลาคม 2565 ถึง วันที่ 1 ธันวาคม 2565 เป็น โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที พิกัดอ้างอิงของแต่ละ CORS อยู่ในระบบอ้างอิง ITRF2014 แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดของ CORS แต่ละสถานี ด้วยการคำนวณหาค่า Root Mean Square Error, RMSE ซึ่งพบว่าในแต่ละ CORS มีประสิทธิภาพแตกต่างกันไป จากการ Fixed Solution มีประสิทธิภาพสูงสุดถึง 79.9% ของสถานี PKKT ของจำนวนค่าพิกัดการรังวัดทั้งหมด มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปแบบสามเหลี่ยม 54 กม. และ Fixed Solution มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด 29.9% ของสถานี UDON ของจำนวนค่าพิกัดการรังวัดทั้งหมด มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปแบบสามเหลี่ยม 93 กม. ในส่วนของค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดทางราบ RMSE (2D) น้อยที่สุด 67.55 เซนติเมตร ของสถานี NSHO โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 75.8% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปแบบสามเหลี่ยม 67 กม. และค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดทางราบ RMSE (2D) สูงที่สุด 13.35 เมตร ของสถานี PDCP โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 40.4% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปแบบสามเหลี่ยม 85 กม. โดยทั้ง 50 CORS นั้น ไม่สามารถทำได้ตามเกณฑ์ที่ไม่เกิน 4 ซม. และไม่ได้นำมาใช้เป็นโครงข่ายสถานี CORS ของ NCDC ในความเป็นจริงแล้ว ค่าพิกัดที่ได้นั้นมีการกระโดดของค่าพิกัดเวลาที่กำลังรังวัด NRTK ถึงจะ Fixed Solution ก็ตาม เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจสอบค่าความถูกต้องของค่าพิกัดซึ่งพบว่าวิธี

deemed rover analysis โดยใช้เทคนิค VRS สามารถตรวจสอบได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งถือว่าช่วยลดค่าใช้จ่ายและจำนวนผู้ปฏิบัติงานได้ ดังนั้นผู้ที่ทำการรังวัดควรจะหลีกเลี่ยงช่วงเวลาที่มีการกระโดดของค่าพิกัด เพราะถึงจะมีการ Fixed Solution แต่ก็ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงอยู่ในบทย่อยจะกล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย โดยแบ่งออกเป็นกรณี 3 กรณี ดังนี้ 1) สรุปผลการวิจัย 2) ประโยชน์ที่ได้รับ และ 3) ข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากความคาดหวังของผู้วิจัยว่าระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยมยิ่งน้อยทำให้มีแนวโน้มประสิทธิภาพของ Fixed Solution และค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทั้งทางราบและทางดิ่งจะมีประสิทธิภาพดีขึ้น ดังนั้นเพื่อประเมินประสิทธิภาพการ Fix solution กับระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยมของ NCDC โดยวิธี deemed rover analysis รังวัดแบบ NRTK ในเทคนิค VRS และเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบและทางดิ่งการรังวัดแบบ NRTK โดยใช้ค่าพิกัดของสถานี CORS เป็นค่าอ้างอิงสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ชัดความสามารถในการ GNSS Fixed Solution ของการรังวัดแบบ NRTK สรุปได้ว่าวิธี deemed rover analysis รังวัดแบบ NRTK ในเทคนิค VRS มีประสิทธิภาพสูงสุด 79.9% ของสถานี PKKT ของจำนวนค่าพิกัดการรังวัดทั้งหมด มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 54 ก.ม. ส่วนการ Fixed Solution มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด 29.9% ของสถานี UDON ของจำนวนค่าพิกัดการรังวัดทั้งหมด มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 93 ก.ม. เปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพิกัด วิธี deemed rover analysis รังวัดแบบ NRTK ในเทคนิค VRS โดยใช้ค่าพิกัดของสถานี CORS เป็นค่าอ้างอิง สรุปได้ว่า มีค่า RMSE ของ Easting โดยมีค่าน้อยที่สุด 30.32 เซนติเมตร ของสถานี NSHO โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 75.8% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 67 ก.ม. และค่า RMSE ของ Easting มากที่สุด 5.27 เมตร ของสถานี PDGP โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 40.4% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 85 ก.ม. ในส่วน RMSE ของ Northing โดยมีค่าน้อยที่สุด 14.87 เซนติเมตร ของสถานี NSHO โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 75.8% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 67 ก.ม. และค่า RMSE ของ Northing มากที่สุด 4.78 เมตร ของสถานี UTHI โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 58.3% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 70 ก.ม. ในส่วน RMSE ของ UP โดยมีค่าน้อยที่สุด 41.82 เซนติเมตรของสถานี SISK โดยมี Fixed Solution อยู่ที่ 51.3% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 52 ก.ม. และค่า RMSE ของ UP โดยมีค่ามากที่สุด 15.74 เมตร ของสถานี PDGP โดย

มี Fixed Solution อยู่ที่ 40.4% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 85 ก.ม. จากผลการวิจัยพบว่าระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยมยิ่งน้อยลงมีแนวโน้มจะทำให้ประสิทธิภาพการ Fix solution และค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและดิ่งของสถานี CORS ดียิ่งขึ้นตามที่ผู้วิจัยได้คาดหวังไว้

## 5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

5.2.1 การใช้ deemed rover analysis สามารถประเมินประสิทธิภาพ CORS เพื่อในการพัฒนาโครงข่ายสถานี CORS ต่อไปได้ในอนาคต

5.2.2 โดยทราบถึงระยะเวลาที่เพียงพอในการประเมินประสิทธิภาพสถานี CORS เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจเรื่องระยะเวลาการใช้งานของผู้ที่จะใช้งานสถานี CORS ของ NCDC และไม่ต้องไปรังวัดในภูมิประเทศจริง เพื่อลดค่าใช้จ่าย และลดการใช้ทรัพยากรบุคคล

## 5.3 ปัญหาและอุปสรรค

จากการศึกษาวิจัยพบว่าในวิธี deemed rover analysis รังวัดแบบ NRTK ในเทคนิค VRS จะใช้สถานี CORS ของ NCDC ซึ่ง ผลกระทบคือระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยมที่ใกล้เคียงกันมากพอสมควร มีผลต่อประสิทธิภาพการ Fix solution และค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและดิ่งของสถานี CORS เห็นได้วาระยะที่ใกล้ที่สุดอยู่ที่ระยะ 41 กม. แต่ระยะที่ไกลที่สุด มีระยะอยู่ที่ 103 กม. กับผลกระทบจากการเปิดให้ใช้บริการของสถานี CORS ไม่ต่อเนื่องทำให้มีปัญหาในการให้บริการ และค่ากระโดดของค่าพิกัดที่ได้

จากผลการทดสอบสถานีที่มีการกระโดดของค่าพิกัดจากการรังวัด NRTK โดยวิธี deemed rover analysis เกิดปัญหาการสลับสถานีฐานจากการทดลองเนื่องจากอินเทอร์เน็ตไม่เสถียร ส่งผลให้ เกิดค่าพิกัดกระโดดของค่าพิกัดที่ได้รุนแรงมาก ค่าพิกัดกระโดดของ RMSE ของ Easting Northing UP ในระดับ 18 กม. , 21 กม. , 483 เมตร ตามลำดับ ของสถานี KKOR ทำให้ต้องเอาข้อมูลส่วนที่ค่าพิกัดกระโดดออกจากการประมวลผลของงานวิจัยนี้ ในส่วนของสถานี UTHI จากรูปที่ 24 และ 25 ในส่วนของค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด RMSE ของ Northing ค่ามากที่สุด 4.78 เมตร มี Fixed Solution อยู่ที่ 58.3% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม 70 ก.ม. และ สถานี PDCP จากรูปที่ 22 และ 23 ในส่วนของค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด RMSE ของ Easting มากที่สุด 5.27 เมตร, RMSE ของ UP โดยมีค่ามากที่สุด 15.74 เมตร , RMSE (2D) สูงที่สุด 13.35 เมตร ของสถานี PDCP มี Fixed Solution อยู่ที่ 40.4% มีระยะระหว่าง CORS รวมเฉลี่ยใน

รูปสามเหลี่ยม 85 กม. อาจเกิดจากสาเหตุของระดับความสูงของภูมิประเทศ และสภาพแวดล้อมของสถานีโดยรอบมีสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร ต้นไม้ หรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ความล่าช้าของอินเทอร์เนตของสถานีฐานถาวรส่งผลให้การประมวลผลค่าพิกัดกระโดดรุนแรงได้

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้สังเกตเห็นได้จากกราฟว่ามีช่วงเวลาที่ทำ deemed rover analysis แล้วเกิดการแกว่ง ของ ค่าพิกัดในช่วงเวลาในช่วงเวลาของแต่ละวัน โดยที่ค่าพิกัดยังเป็นการ Fixed ambiguity แบบ GNSS Fixed Solution ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่าควรจะมีการเพิ่มการตรวจสอบในการรังวัดพื้นที่จริงว่าระดับความสูงในภูมิประเทศ และจุดทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบว่ามีผลต่อการแกว่งของค่าพิกัด หากสามารถใช้สถานี CORS ของหน่วยงานต่าง ๆ ร่วมด้วย เพื่อลดระยะห่างของสถานีฐาน ว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพค่าความถูกต้องของค่าพิกัดได้หรือไม่

การศึกษานี้เป็นการทดสอบการรังวัด NRTK โดยวิธี deemed rover analysis โดยใช้ระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 11 ตุลาคม 2565 ถึง วันที่ 1 ธันวาคม 2565 ซึ่งผล การทดสอบที่ได้นับเป็นผล การทดสอบระยะสั้น หากต้องการทราบถึงผลในระยะยาว ควรมีการออกแบบการทดสอบโดยการเพิ่มระยะเวลาการทดสอบให้มากขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้ผลการทดสอบที่ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

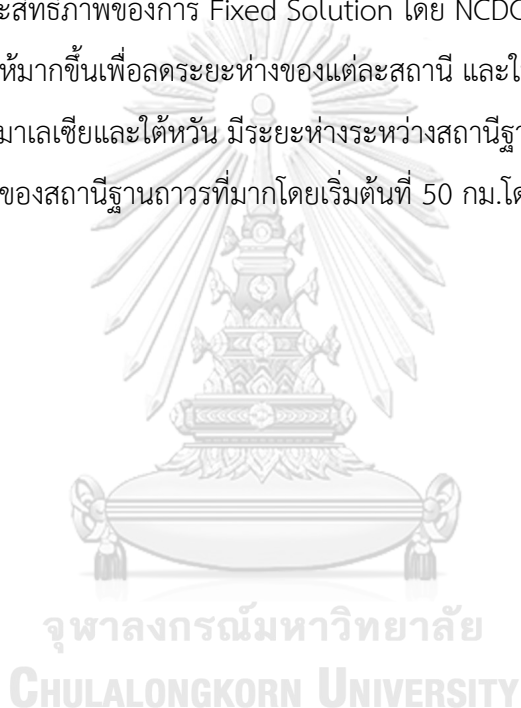
ผลที่ได้จากการศึกษานี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลค่าพิกัดที่ได้ทำการทดสอบเท่านั้น เพราะผู้วิจัยได้ออกแบบการทดสอบตามระยะเวลาที่กำหนด หากมีปัจจัยอื่นเข้ามา เกี่ยวข้องในการทดสอบกรณีมีปัญหาในการให้บริการของสถานี CORS ควรมีการตรวจสอบปัญหาในเวลาที่เกิดการไม่ให้บริการเกิดจากสาเหตุไฟดับหรือปิดปรับปรุงระบบ

จากผลการทดสอบพบว่าการกระโดดของค่าพิกัดจากการรังวัด NRTK ในทุกสถานี CORS ซึ่งอาจ เป็นผลจากการใช้โครงข่ายสถานีของ NCDC ซึ่งยังมีระยะเส้นฐานที่ค่อนข้างไกล หากนำ สถานี CORS จากหน่วยงานอื่น ๆ เข้ามาใช้ร่วมกันเพื่อลดระยะเส้นฐานลงจะทำให้โอกาสที่จะเกิดการกระโดดของค่าพิกัดมีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีระยะเวลาที่เกิดการกระโดดของค่าพิกัดใกล้เคียงกันกับ ผล การทดสอบของ ชญานนท์ เหล่านินธ์ (2564) จึงควรมีการทดสอบเพิ่มเติมว่าการกระโดดของค่า พิกัดมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาในแต่ละวันหรือไม่

จากผลการทดสอบสถานีที่มีการกระโดดของค่าพิกัดจากการรังวัด NRTK โดยวิธี deemed rover analysis นั้น มีสถานีที่มีค่ากระโดดที่มาก คือ UTHI และ PDCP อาจมีผลจากระดับความสูงของภูมิประเทศ และสภาพแวดล้อมของสถานีโดยรอบมีสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร ต้นไม้ หรือสิ่งปลูก

สร้างต่างๆ ความล่าช้าของอินเทอร์เน็ตของสถานีสถานีฐานถาวรส่งผลให้การประมวลผลค่าพิกัดคลาดเคลื่อนเป็นต้น อาจรวมถึงผลกระทบของความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศของประเทศไทยที่มีความรุนแรงมากกว่าประเทศอื่น ในอนาคตหากมีผู้ที่ต้องการศึกษาว่าผลกระทบของระดับความสูงภูมิประเทศมีผลต่อการกระโดดของค่าพิกัดที่ได้จากวิธี deemed rover analysis นั้น หรือไม่ ควรมีการทดสอบเพิ่มขึ้น โดยการแบ่งกลุ่มทดสอบตามระดับความสูงของภูมิประเทศ และตรวจสอบรูปแบบการกระโดดของค่าพิกัดว่ามีแนวโน้มในรูปแบบอย่างไร

เพื่อลดปัญหาของผู้ใช้บริการของ NCDC ในเรื่องของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งทั้งทางราบและทางตั้ง รวมทั้งประสิทธิภาพของการ Fixed Solution โดย NCDC มีการเพิ่มจำนวนของสถานีสถานีฐานถาวรในโครงข่ายให้มากขึ้นเพื่อลดระยะห่างของแต่ละสถานี และให้ครอบคลุมพื้นที่ในประเทศมากขึ้น ซึ่งในประเทศมาเลเซียและไต้หวัน มีระยะห่างระหว่างสถานีสถานีฐานถาวรเฉลี่ยอยู่ที่ 30 กม. ในประเทศยังมีระยะห่างของสถานีสถานีฐานถาวรที่มากโดยเริ่มต้นที่ 50 กม.โดยประมาณ



## บรรณานุกรม

- Charles Wang, Y. F., Matt Higgins, Ben Cowie. (2010). Assessment of Commercial Network RTK User Positioning Performance over Long Inter-Station Distances Faculty of Science and Technology, Queensland University of Technology<sup>2</sup>Department of Environment Resource Management, Queensland Government.
- Dabove, P., De Agostino, M., & Manzano, A. (2012). Dabove, P., De Agostino, M., & Manzano, A. (2012). Achievable Positioning Accuracies in a Network of GNSS Reference Stations. In.
- FGDC. (1998). Geospatial Positioning Accuracy Standards. In Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. Virginia: Federal Geographic Data Committee Secretariat.
- Hein, G. W. (2020). Status, perspectives and trends of satellite navigation. Satellite navigation, 1(1), 22-22. doi:10.1186/s43020-020-00023-x.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and More: Springer.
- Hosoya. (2013). GNSS 配信における測位異常とその対策について (translated version). Newsletter of Institute of Positioning, Navigation and Timing of Japan, .
- Leick, A., Rapoport, L., & Tatarnikov, D. (2015). GPS Satellite Surveying (4th ed.). New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Ogutcu, S., & Kalayci, I. (2017). Investigating Precision of Network Based RTK Techniques: Baseline Length Is Concerned.
- Pehlivan, H., Bezcioglu, M., & Yilmaz, M. . (2019). PERFORMANCE OF NETWORK RTK CORRECTION TECHNIQUES (FKP, MAC and VRS) UNDER LIMITED SKY VIEW CONDITION. International Journal of Engineering and Geosciences. doi:10.26833/ijeg.492496.
- Rizos, C. (1997). Principles and Practice of GPS Surveying Monograph 17. Australia: School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales.
- Teunissen, P. J. G., & Odijk, D. (1997). Ambiguity Dilution of Precision: Definition,



Properties and Application. Paper presented at the Proceedings of ION-GPS-97, Salt Lake City.

เจนพีธีกร สุนทรรัตน์. (2560). การทดสอบประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีสำหรับงานรังวัดที่ดิน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

เฉลิมชนม์ สติระพนธ์. (2549). เอกสารคำสอนวิชา 2108631 Advanced GPS Satellite Surveying งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชฎานนท์ เหล่านิพนธ์. (2564). การประเมินประสิทธิภาพของระบบการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยโครงข่าย 4 วิธีในเวลาเดียวกัน สำหรับการใช้งานที่มีความแม่นยำสูง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

ธีทัต เจริญกาลัญญา. (2552). การประเมินค่าความถูกต้องจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส แบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสระบบแรกในประเทศไทย : ผลการทดสอบเบื้องต้น . วิศวกรรมสารมก . , 22(70), 45-56. Retrieved from [https://kukr.lib.ku.ac.th:443/journal/ENGJ/search\\_detail/exportBibTex/202202](https://kukr.lib.ku.ac.th:443/journal/ENGJ/search_detail/exportBibTex/202202).

ธีทัต เจริญกาลัญญา. (2555). ผลกระทบของค่าคลาดเคลื่อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ต่อประสิทธิภาพจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

นิทัศน์พงษ์ นิเวศานนท์. (2562). การประเมินประสิทธิภาพของการรังวัดดาวเทียมจากโครงข่ายแบบจลน์ในทันทีในประเทศไทย กรณีศึกษาการกระจายตัวของจุดทดสอบ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

สมเกียรติ ทิพย์สุมนธา. (2560). การประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายสถานี GNSS แบบต่าง ๆ ในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ร.อ.นันทวัฒน์ โก่งกระโทก
วัน เดือน ปี เกิด	3 สิงหาคม 2533
สถานที่เกิด	จังหวัดสุรินทร์
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแผนที่ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
ที่อยู่ปัจจุบัน	28/403 ถนนป๊อปปูล่า ตำบลบ้านใหม่ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
ผลงานตีพิมพ์	บทความตีพิมพ์ 1:นันทวัฒน์ โก่งกระโทก , ศ. ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์1 , รศ.ดร.พุทธิพล ดำรงชัย2 (2566) "การประเมินประสิทธิภาพของสถานีค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่อง โดยวิธีวิเคราะห์แบบ Deemed Rover กับเทคนิคสถานีอ้างอิงเสมือน" การประชุมวิชาการวิศวกรรมและการก่อสร้างระดับชาติครั้งที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เขตพื้นที่อุเทนถวาย 18-19 พฤษภาคม 2566.
รางวัลที่ได้รับ	นำเสนอบทความระดับดีเด่น