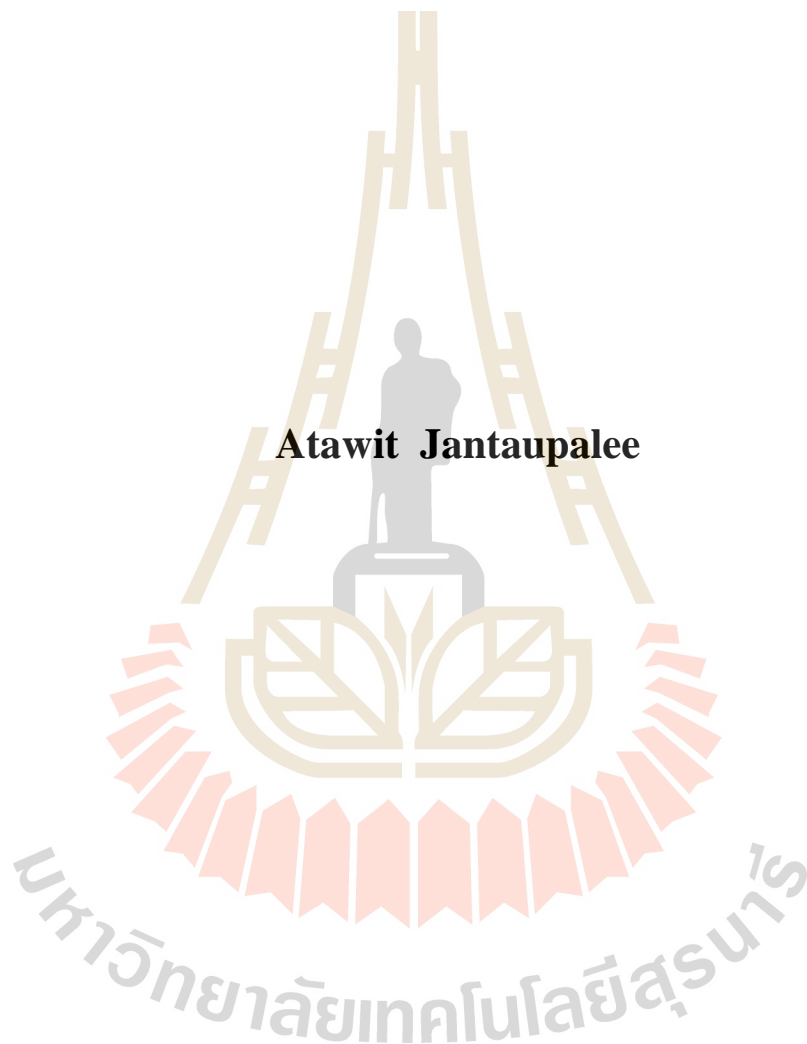


การออกแบบระบบระบุพิกัดภายในถ้ำโดยใช้เทคนิคจีพีเอส



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2563

**A DESIGN OF THE POSITIONING SYSTEM IN CAVE
BY USING GEODESY TECHNIQUE**



Atawit Jantaupalee

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master in Telecommunication
and Computer Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2020**

การออกแบบระบบระบุพิกัดภายในถ้ำโดยใช้เทคนิคย็อดเดซี่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีอนุมัติให้นักศึกษาระดับปริญญาโทเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.มนต์ทิพย์ภา อูฑารสกุล)

ประธานกรรมการ



(รศ. ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์)

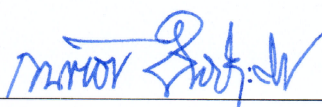
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ดร.ณัฐวุฒิ อางปรุ)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชานีประศาสน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล





(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อรรถวิท จันทอุปถิติ : การออกแบบระบบระบุพิกัดภายในถ้ำโดยใช้เทคนิคยี่ห้อเดซี่
(A DESIGN OF THE POSITIONING SYSTEM IN CAVE BY USING GEODESY
TECHNIQUE) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรคค์, 100 หน้า.

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System : GNSS) เป็นเทคโนโลยีบอกตำแหน่งด้วยดาวเทียมที่มีการใช้งานและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดย GNSS เป็นชื่อเรียกโดยรวมของระบบนำทางด้วยดาวเทียมต่าง ๆ ทั้งระบบ GPS, GLONASS, Galileo และ BeiDou เป็นต้น การใช้งาน GNSS จะสามารถเข้าถึงระบบดาวเทียมได้หลายระบบตลอดเวลา เพื่อความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นและความเพียงพอต่อการใช้งาน อย่างไรก็ตามระบบเหล่านี้จะสามารถให้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้งานในพื้นที่เปิดโล่ง ในขณะที่หากนำไปใช้งานภายในถ้ำ ที่มีสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการรับสัญญาณข้อมูลจากดาวเทียมใด ๆ ดังนั้นการใช้งาน GNSS จะไม่สามารถใช้งานในการบอกตำแหน่งภายในถ้ำได้โดยตรง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเสนอวิธีการระบุตำแหน่งภายในถ้ำโดยใช้เทคนิคทางยี่ห้อเดซี่ ด้วยการอ้างอิงตำแหน่งที่ถูกต้องจากภายนอกถ้ำโดยรับสัญญาณพิกัดตำแหน่งจาก GNSS หลังจากนั้นนำข้อมูลที่มีความถูกต้องทั้งระยะทางและทิศทางที่เกิดขึ้นจากจุดอ้างอิง โดยใช้อุปกรณ์วัดระยะทางด้วยเลเซอร์และเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ ตามลำดับ มาคำนวณด้วยเทคนิคทางยี่ห้อเดซี่และให้ผลลัพธ์เป็นละติจูดและลองจิจูดที่จุดพิกัดปลายทาง เพื่อให้การคำนวณจุดพิกัดปลายทางมีความถูกต้องที่สุด ตำแหน่งอ้างอิงจุดแรกที่รับสัญญาณจาก GNSS จะต้องมีความแม่นยำมากที่สุด เพราะฉะนั้นวิทยานิพนธ์นี้ยังได้ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งจากดาวเทียมที่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ เพื่อลดความผิดพลาดในการคำนวณจุดพิกัดปลายทางภายในถ้ำ

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนักศึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ATAWIT JUNTAUPALEE : A DESIGN OF THE POSITIONING SYSTEM IN CAVE BY USING GEODESY TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.RANGSAN WONGSAN, D.Eng., 100 PP.

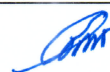
Currently, the positioning technology using the Global Navigation Satellite System (GNSS) has been commonly used and continuously developed. GNSS is a collective term for different types of satellite navigation systems globally used like GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou and etc. GNSS-based systems can access such multiple satellite systems at all times for better accuracy, redundancy, and availability. However, these systems can provide the most efficiency when they are utilized in the open area. Whereas inside the caves have the environment cannot receive a data signal from any satellite. Therefore, the GNSS cannot directly be applied for positioning in caves. In this thesis, propose the positioning method inside the cave using the Geodesy technique, referring to an accurate position outside the cave obtained from the GNSS. The Geodesy technique needs the correct data such as the displaced distance and the azimuthal direction from a reference point using laser distance meter and electronic compass, respectively. Finally, these data are used to calculate the latitude and longitude of the position at the destination point. To accurately calculate the endpoint, the first reference position from the satellite must approach the exact value. Therefore, this thesis also studies the position error from satellite navigation affected form the various factors in order to reduce the position error of the calculated result inside the cave.

School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2020

Student's Signature

Advisor's Signature



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัยจากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสทางการศึกษา คอยให้คำปรึกษาและช่วยแก้ปัญหาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา รองศาสตราจารย์ ดร.พิระพงษ์ อุฑารสกุล รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐวิทย์ ภูญาษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตพงศ์ เวชไชยสงค์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ด้านวิชาการและให้โอกาสในการศึกษา

ขอขอบคุณพี่น้องบัณฑิตศึกษาทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ ช่วยเหลือในด้านวิชาการและให้คำแนะนำด้านวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่าน ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทางการศึกษาโดยเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้บิดา มารดาและญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบันจนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

อรรณวิท จันทอุปถัมภ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	2
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2.1 หลักการของระบบระบุตำแหน่งบนโลก	5
2.2.2 ความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม	6
2.2.3 ข้อจำกัดของการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมภายในอาคาร	9
2.2.4 เทคโนโลยีที่ใช้เพื่อระบุตำแหน่งภายในอาคาร	10
2.2.5 งานสำรวจทางยิปโซเดซี (Geodesy).....	11
2.2.6 เครื่องวัดระยะเลเซอร์ (Laser Distance Meter).....	17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3	สรุป	17
3	การออกแบบระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ	18
3.1	บทนำ	18
3.2	การออกแบบระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ	18
3.2.1	อุปกรณ์ที่ใช้ระบุตำแหน่งภายในถ้ำ	19
3.2.2	แอปพลิเคชันซอฟต์แวร์คำนวณตำแหน่งภายในถ้ำ	22
3.3	หลักการการทำงานของระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ	29
3.4	สรุป	30
4	ผลการทดสอบ	31
4.1	บทนำ	31
4.2	การทดสอบความแม่นยำโดยใช้เทคนิคทางยี่ห้อเดซี่	31
4.2.1	ขั้นตอนการทดสอบ	31
4.2.2	ผลที่ได้จากการทดสอบ	35
4.3	การทดสอบความแม่นยำตรงของอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส	43
4.3.1	ขั้นตอนการทดสอบ	43
4.3.2	ผลการทดสอบครั้งที่ 1	44
4.3.3	ผลการทดสอบครั้งที่ 2	48
4.3.4	ผลการทดสอบครั้งที่ 3	52
4.3.5	ผลการทดสอบครั้งที่ 4	56
4.3.6	ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับเวลา	64
4.3.7	กราฟวิเคราะห์ผลที่ได้	68
4.4	สรุป	73

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการวิจัย	74
5.1	สรุปผลการวิจัย	74
5.2	ข้อเสนอแนะในการวิจัย	75
	รายการอ้างอิง.....	76
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา	77
	ประวัติผู้เขียน	86



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ข้อมูลทางเทคนิคเบื้องต้นของเครื่องวัดระยะเลเซอร์ รุ่น GLM150 C..... 20
3.2	ข้อมูลทางเทคนิคเบื้องต้นของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลตำแหน่งจีพีเอส Aaronia 21
3.3	ส่วนประกอบของแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์คำนวณตำแหน่งภายในถ้ำจากรูปที่ 3.6 23

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การรับสัญญาณจากดาวเทียม 3 ดวง	6
2.2	ความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม	7
2.3	การเกิดการสะท้อนของสัญญาณ	8
2.4	ตัวอย่างการวางตัวของดาวเทียม	9
2.5	การรับสัญญาณจากดาวเทียมขณะอยู่ในอาคาร	10
2.6	เทคโนโลยีแท็ก RFID	10
2.7	ภาพแสดงเส้นละติจูด (Latitude) และเส้นลองจิจูด (Longitude)	12
2.8	แสดงการตัวอย่างการใช้พิกัดทรงกลมและตรีโกณมิติในการคำนวณ	13
2.9	เส้นฐานของโลกในระบบพื้นหลักฐาน WGS 84	14
2.10	ภาพตัดย่อยระนาบแนวตั้งของโลกซึ่งมีรูปทรงกลม	14
2.11	แสดงความสัมพันธ์ของระยะ d และมุม Azimuth ต่อปลายทาง (S)	15
2.12	เครื่องวัดระยะเลเซอร์ รุ่น GLM150 C	17
3.1	การสำรวจถ้ำเบื้องต้น ณ ถ้ำเชียงดาว จ.เชียงใหม่	18
3.2	องค์ประกอบของระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ	19
3.3	เครื่องวัดระยะเลเซอร์ รุ่น GLM150 C	20
3.4	อุปกรณ์บันทึกข้อมูลตำแหน่งจีพีเอส Aaronia	21
3.5	หน้าต่างแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์คำนวณตำแหน่งภายในถ้ำ	22
3.6	ส่วนประกอบของแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์	23
3.7	ผังแสดงกระบวนการทำงานในโหมดการทำงานอัตโนมัติ	25
3.8	การทำงานในโหมดการทำงานอัตโนมัติ	26
3.9	ผังแสดงกระบวนการทำงานในโหมดการทำงานอัตโนมัติ	27
3.10	การทำงานในโหมดการทำงานทั่วไป	28
3.11	ภาพแสดงหลักการทำงานในมุมมองด้านข้าง	29
3.12	ภาพแสดงหลักการทำงานในมุมมองด้านบน	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	ภาพจากดาวเทียมบริเวณศูนย์วิจัยมันสำปะหลัง 32
4.2	ภาพจากดาวเทียมแสดงพิกัดเริ่มต้น 32
4.3	แผนที่จากดาวเทียมแสดงระยะทางรวมในแต่ละทิศทาง 33
4.4	แผนที่จากดาวเทียมแสดงตัวอย่างระยะห่างจุดละ 2 เมตร ทั้งหมด 50 จุด 33
4.5	ภาพแสดงขณะทำการทดสอบ 34
4.6	แผนที่จากดาวเทียมแสดงตัวอย่างผลที่ได้จากจีพีเอส ณ มุม 0 องศา 34
4.7	แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ได้จากคำนวณ มุม 0 องศา 35
4.8	แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ได้จากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 0 องศา 35
4.9	แผนที่แสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 0 องศา 36
4.10	กราฟแสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 0 องศา 36
4.11	แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ได้จากคำนวณ มุม 90 องศา 37
4.12	แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 90 องศา 37
4.13	แผนที่แสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 90 องศา 37
4.14	กราฟแสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 90 องศา 38
4.15	แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ได้จากคำนวณ มุม 180 องศา 38
4.16	แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 180 องศา 39
4.17	แผนที่แสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 180 องศา 39
4.18	กราฟแสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 180 องศา 40
4.19	แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ได้จากคำนวณ มุม 270 องศา 40
4.20	แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 270 องศา 41
4.21	แผนที่แสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 270 องศา 41
4.22	กราฟแสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 270 องศา 41
4.23	กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากคำนวณเทียบกับทฤษฎีพิกัดทรงกลม 42
4.24	ภาพจากดาวเทียมบริเวณลานศิลปวัฒนธรรม (ลานหมอลำ) 43
4.25	ภาพขณะทำการทดสอบบริเวณลานศิลปวัฒนธรรม (ลานหมอลำ) 44
4.26	กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 1 เวลา 06.00 น. 44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 1 เวลา 09.00 น.	45
4.28 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 1 เวลา 12.00 น.	45
4.29 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 1 เวลา 15.00 น.	46
4.30 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 1 เวลา 18.00 น.	46
4.31 กราฟแสดงผลการทดสอบรวมครั้งที่ 1	47
4.32 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 2 เวลา 06.00 น.	48
4.33 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 2 เวลา 09.00 น.	49
4.34 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 2 เวลา 12.00 น.	49
4.35 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 2 เวลา 15.00 น.	50
4.36 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 2 เวลา 18.00 น.	50
4.37 กราฟแสดงผลการทดสอบรวมครั้งที่ 2	51
4.38 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 3 เวลา 06.00 น.	52
4.39 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 3 เวลา 09.00 น.	53
4.40 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 3 เวลา 12.00 น.	53
4.41 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 3 เวลา 15.00 น.	54
4.42 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 3 เวลา 18.00 น.	54
4.43 กราฟแสดงผลการทดสอบรวมครั้งที่ 3	55
4.44 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 06.00 น.	56
4.45 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 07.00 น.	57
4.46 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 08.00 น.	57
4.47 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 09.00 น.	58
4.48 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 10.00 น.	58
4.49 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 11.00 น.	59
4.50 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 12.00 น.	59
4.51 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 13.00 น.	60
4.52 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 14.00 น.	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.53	กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 15.00 น. 61
4.54	กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 16.00 น. 61
4.55	กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 17.00 น. 62
4.56	กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 18.00 น. 62
4.57	กราฟแสดงผลการทดสอบรวมครั้งที่ 4 63
4.58	กราฟแสดงผลการทดสอบเทียบเวลาครั้งที่ 1 64
4.59	กราฟแสดงผลการทดสอบเทียบเวลาครั้งที่ 2 65
4.60	กราฟแสดงผลการทดสอบเทียบเวลาครั้งที่ 3 66
4.61	กราฟแสดงผลการทดสอบเทียบเวลาครั้งที่ 3 67
4.62	ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 19 มกราคม 2563 เวลา 15.00 น. 68
4.63	ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 19 มกราคม 2563 เวลา 18.00 น. 69
4.64	ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 เวลา 18.00 น. 70
4.65	ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 19 เมษายน 2563 เวลา 09.00 น. 71
4.66	ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 14.00 น. 72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System : GNSS) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลาย เช่น ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ ระบบยานพาหนะไร้คนขับ ระบบขนส่งและทางการทหาร เป็นต้น ระบบนำทางด้วยดาวเทียมเป็นเทคโนโลยีที่ทำหน้าที่ให้ข้อมูลพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์รับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณ เพื่อระบุข้อมูลของพิกัดตำแหน่งและเวลาโดยอาศัยการคำนวณจากความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากตำแหน่งของดาวเทียมต่าง ๆ ที่โคจรอยู่รอบโลก ทำให้สามารถระบุพิกัดตำแหน่ง ณ จุดที่สามารถรับสัญญาณได้ทั่วโลกและในทุกสภาพอากาศได้ ซึ่งหากใช้งานบริเวณภายในอาคารหรือภายในถ้ำที่มีสิ่งกีดขวางเส้นแนวสายตาระหว่างดาวเทียมและตัวรับสัญญาณ จะส่งผลให้ไม่สามารถบอกพิกัดตำแหน่งได้ จึงต้องนำเทคโนโลยีอื่นมาประยุกต์ใช้

เทคโนโลยีต่าง ๆ ได้ถูกนำมาใช้เพื่อระบุตำแหน่งภายในอาคาร เช่น คลื่นวิทยุ (Radio Frequency) เครือข่ายไร้สาย (WLAN) อินฟราเรด (Infrared) บลูทูธ (Bluetooth) และ อุปกรณ์รับสัญญาณจากดาวเทียมนำทางที่มีประสิทธิภาพสูง (High Sensitivity GNSS) โดยเทคโนโลยีเหล่านี้สามารถแบ่งประเภทในการทำงานได้ 4 แบบ คือ ระบบวัดช่วงทิศทางไร้สาย (Wireless Direction-Range Measurement System) ระบบจับคู่กับอุปกรณ์ส่งสัญญาณบลูทูธ (Indoor Beacon Matching System) ระบบนำทางเฉื่อย (Inertial Navigation System) และระบบรวม (Mixed System)

เนื่องจากข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมภายในอาคารหรือภายในถ้ำที่มีความยาวตั้งแต่ระดับเมตรไปจนถึงหลายกิโลเมตร จะไม่สามารถรับสัญญาณจากระบบนำทางด้วยดาวเทียมได้ อีกทั้งสภาพแวดล้อมภายในอาจไม่เอื้ออำนวยต่อการติดตั้งอุปกรณ์แบบถาวรเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่ง เช่น การติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณ Wi-Fi อุปกรณ์บลูทูธ หรือเครื่องรับส่งแบนด์กว้าง เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงเสนอการใช้อุปกรณ์วัดระยะทางด้วยเลเซอร์ เข็มทิศ และอุปกรณ์นำทางด้วยดาวเทียม หรือจีพีเอส ผสมกับการใช้ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์และภูมิศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาการระบุพิกัดตำแหน่งภายในถ้ำ โดยอุปกรณ์ต้นแบบของระบบ ฯ ถูกออกแบบขึ้นโดยการเก็บค่าข้อมูลพิกัดตำแหน่งจากระบบนำทางด้วยดาวเทียมในครั้งแรกเพียงครั้งเดียว หลังจากนั้นจะใช้ข้อมูลระยะทางและทิศทางของพิกัดตำแหน่งถัดไป โดยมาอ้างอิงกับข้อมูลพิกัดตำแหน่ง ที่ได้จากการวัดจริงในครั้ง

แรกมาทำการประมวลผลด้วยแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของตำแหน่งที่ไม่สามารถทราบพิกัดตำแหน่งภายในถ้ำ

อย่างไรก็ตาม ตำแหน่งจากดาวเทียมนำทางที่ได้จากการวัดจริงในครั้งแรกเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการคำนวณนั้นจะต้องมีค่าที่ถูกต้องมากที่สุด ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนจากหลายปัจจัยที่เข้ามามีผลกระทบ เช่น ความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม (Ephemeris Error) ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาบนดาวเทียม (Satellite Clock Error) ความคลาดเคลื่อนของการหักเหในชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Errors) ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นสะท้อน (Multipath Errors) และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวางตัวของดาวเทียม (Dilution of Precision : DOP) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เพิ่มในส่วนของการศึกษาความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งจากดาวเทียมนำทางจากปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวเพื่อนำมาใช้กับระบบระบุพิกัดตำแหน่งภายในถ้ำและเพื่อให้มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาระบบนำทางด้วยดาวเทียม และระบบนำทางภายในถ้ำ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยการวางตัวของดาวเทียมนำทางในแต่ละช่วงเวลา ที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของระบบนำทาง ณ พื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- 1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ทฤษฎีทางด้านคณิตศาสตร์ และภูมิศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง
- 1.2.4 สร้างอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบุข้อมูลพิกัดตำแหน่งภายในถ้ำ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 การวางตัวของดาวเทียมนำทางในแต่ละช่วงเวลา ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของระบบนำทางด้วยดาวเทียม
- 1.3.2 จากการวางตัวของดาวเทียมนำทางในแต่ละช่วงเวลา จะสามารถเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความแม่นยำของระบบนำทางด้วยดาวเทียม ที่ใช้ในการระบุพิกัดอ้างอิงได้อย่างถูกต้อง
- 1.3.3 การใช้อุปกรณ์ระบุพิกัดตำแหน่งภายในถ้ำ โดยใช้อุปกรณ์วัดระยะทางด้วยเลเซอร์ เซมิทิสและระบบนำทางด้วยดาวเทียม จะสามารถใช้งานเพื่อการระบุตำแหน่งภายในถ้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ระบบระบุพิกัดตำแหน่งด้วยดาวเทียมที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้งานเฉพาะระบบ Global Positioning System (GPS) และ Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)

1.4.2 ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่มีการคัดแปลงอุปกรณ์ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ศึกษาปัจจัยการวางตัวของดาวเทียมนำทางในแต่ละช่วงเวลา ที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของระบบนำทาง ณ พื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.2 สร้างแอปพลิเคชันคำนวณพิกัดตำแหน่งแต่ละจุด โดยใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์วัดระยะทางด้วยเลเซอร์ เข็มทิศและระบบนำทางด้วยดาวเทียม

1.5.3 ทดสอบการทำงานร่วมกันของชุดอุปกรณ์และแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถสร้างอุปกรณ์ต้นแบบระบบระบุพิกัดตำแหน่งภายในถ้ำได้

1.6.2 สามารถเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมในการรับสัญญาณจากระบบนำทางด้วยดาวเทียมให้มีความแม่นยำตรง

1.6.3 อุปกรณ์ระบบระบุพิกัดตำแหน่งภายในถ้ำ สามารถใช้งานในถ้ำได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System : GNSS) เป็นเทคโนโลยีระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมที่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้โดยทั่วไป ทั้งระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ ระบบยานพาหนะไร้คนขับและระบบขนส่ง เป็นต้น ประกอบไปด้วยกลุ่มดาวเทียมที่แตกต่างกัน เช่น GPS ออกแบบโดยประเทศสหรัฐอเมริกา, GLONASS ระบบดาวเทียมของรัสเซีย, Galileo ระบบดาวเทียมของสหภาพยุโรป และ BeiDou ระบบดาวเทียมของประเทศจีน โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณจากกลุ่มดาวเทียมเพื่อระบุข้อมูลของพิกัดตำแหน่งและเวลาโดยอาศัยการคำนวณจากความเร็วสัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากตำแหน่งของดาวเทียมที่โคจรอยู่รอบโลก ในกรณีใช้งานภายในอาคารที่ไม่สามารถรับสัญญาณของดาวเทียมได้โดยตรง จึงมีเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ถูกนำมาใช้เพื่อระบุตำแหน่งภายในอาคาร เช่น คลื่นวิทยุ (Radio Frequency) เครือข่ายไร้สาย (WLAN) อินฟราเรด (Infrared) บลูทูธ (Bluetooth) และ อุปกรณ์รับสัญญาณจากดาวเทียมนำทางที่มีประสิทธิภาพสูง (High Sensitivity GNSS) แต่อีกเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานภายในถ้ำ คือ การใช้ระบบรวม (Mixed System) โดยการใช้อุปกรณ์วัดระยะทางด้วยเลเซอร์ เจ็มทิส และอุปกรณ์นำทางด้วยดาวเทียมหรือจีพีเอส ผสมกับการใช้ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์และภูมิศาสตร์ วัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยนี้คือ การออกแบบระบบระบุพิกัดภายในถ้ำโดยใช้การวัดระยะด้วยเลเซอร์ เจ็มทิสและระบบระบุตำแหน่งบนด้วยดาวเทียม ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องดำเนินการสำรวจและศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบนำทางทั้งภายนอกอาคารและภายในอาคาร เพื่อเพิ่มความแม่นยำของระบบนำทางด้วยดาวเทียมให้ดียิ่งขึ้น เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยที่เกี่ยวข้องระเบียบวิธีที่เคยถูกนำมาใช้ ผลการดำเนินการวิจัย ตลอดจนข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อที่จะนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้ โดยฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนั้นเป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE นอกจากนี้ยังได้ทำการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ ทั้งในและต่างประเทศเพื่อนำผลการสืบค้นที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป

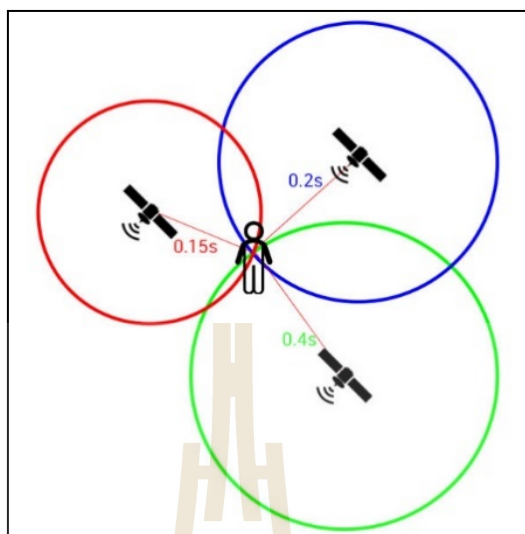
2.2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 หลักการของระบบระบุตำแหน่งบนโลก

ระบบระบุตำแหน่งบนโลก หรือ จีพีเอส หรือรู้จักในชื่อ นาฟสตาร์ (Navstar) เป็นระบบดาวเทียมนำร่อง (Global Navigation Satellite System : GNSS) ใช้ระบุตำแหน่งและเวลาโดยคำนวณจากเวลาที่ของสัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากดาวเทียม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่โคจรอยู่รอบโลก ทำให้สามารถระบุตำแหน่งจุดรับสัญญาณได้ในทุกสภาพอากาศ รวมถึงสามารถคำนวณความเร็วและทิศทางเพื่อนำมาใช้ในการนำทางได้

ระบบดาวเทียมของจีพีเอสประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ (1) ส่วนควบคุมภาคพื้นโลก (2) ส่วนผู้ใช้งาน และ (3) ส่วนอวกาศ ในส่วนอวกาศประกอบด้วยดาวเทียมที่ใช้งานทั้งหมด 24 ดวง โคจรรอบโลก 1 รอบใช้เวลา 11 ชั่วโมง 58 นาที โคจรใน 6 ระนาบ แต่ละระนาบทำมุมห่างกัน 60 องศา จำนวนระนาบละ 4 ดวง โดยวงโคจรจะทำมุมเอียง 55 องศา กับเส้นศูนย์สูตร (Equator) มีวงโคจรระดับกลาง (Medium Earth Orbit : MEO) ที่ระดับความสูงประมาณ 20,200 กิโลเมตรจากพื้นโลก มีการใช้งาน 3 ย่านความถี่ คือ (1) L1 ย่านความถี่ 1,559 – 1,610 MHz (2) L2 ย่านความถี่ 1,215 - 1,240 MHz และ (3) L5 ย่านความถี่ 960 – 1,215 MHz โดยดาวเทียมแต่ละดวงจะใช้งานสองย่านความถี่นี้ที่มีการเข้ารหัสไว้ ซึ่งความถี่ในย่าน L2C จะใช้สำหรับการใช้งานทั่วไปที่ไม่ต้องการความปลอดภัย ส่วนความถี่ย่าน L5 จะใช้งานสำหรับการใช้งานที่ต้องการความปลอดภัยในชีวิต เช่น ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ (Kaplan, 2006)

จีพีเอสทำงานโดยการรับสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวง โดยสัญญาณดาวเทียมนี้ประกอบไปด้วยข้อมูลที่ระบุตำแหน่งและเวลาของดาวเทียมขณะส่งสัญญาณ ตัวเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส จะต้องประมวลผลความแตกต่างของเวลาในการรับสัญญาณเทียบกับเวลาจริง ณ ปัจจุบัน เพื่อแปลงเป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียมแต่ละดวง เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการค้นหาตำแหน่งด้วยดาวเทียม ต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อบอกตำแหน่งบนผิวโลก ซึ่งระยะห่างจากดาวเทียมทั้ง 3 กับเครื่องรับจีพีเอส จะสามารถระบุตำแหน่งบนผิวโลกได้ ดังรูปที่ 2.1 หากพื้นโลกอยู่ในแนวระนาบ แต่ในความเป็นจริงพื้นโลกมีความโค้งเนื่องจากลักษณะของโลกมีลักษณะกลม ดังนั้นดาวเทียมดวงที่ 4 จะทำให้สามารถคำนวณเรื่องความสูงเพื่อทำให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้ความแม่นยำของการระบุตำแหน่งนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง กล่าวคือถ้าระยะห่างระหว่างดาวเทียมที่ใช้งานอยู่ห่างกันหรือวางตัวกระจายตัวกันยอมให้ค่าที่แม่นยำกว่าที่อยู่ใกล้กัน และยังมีจำนวนดาวเทียมที่รับสัญญาณได้มากก็จะยิ่งให้ความแม่นยำได้มากขึ้น (<https://www.global5thailand.com>)



รูปที่ 2.1 การรับสัญญาณจากดาวเทียม 3 ดวง

2.2.2 ความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม

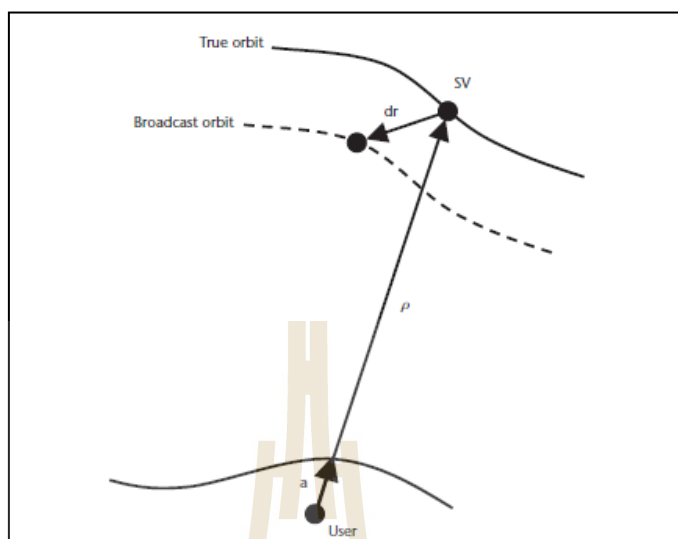
ในการใช้งานอุปกรณ์ระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม แล้วเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นนั้น เกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น สาเหตุที่เกิดขึ้นจากตัวดาวเทียมเอง ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตัวนาฬิกาของดาวเทียม หรือสาเหตุที่เกิดจากการเดินทางของคลื่นที่เกิดการหักเห ลดทอน ครอบคลุมในชั้นบรรยากาศ แม้กระทั่งการเกิดการสะท้อนของสัญญาณ และอีกสาเหตุที่สำคัญซึ่งเกิดจากอุปกรณ์รับสัญญาณ เช่น ความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาของอุปกรณ์ จำนวนดาวเทียมที่รับสัญญาณได้ ตำแหน่งของดาวเทียมที่รับสัญญาณได้

1) ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาบนดาวเทียม (Satellite Clock Error)

นาฬิกาบนดาวเทียม จะใช้นาฬิกาอะตอม (Atomic Clock) ซึ่งมีความแม่นยำสูงที่สุดในโลก แม้ว่านาฬิกาอะตอมที่เป็นตัวกำหนดเวลาบนดาวเทียมจะมีความถูกต้องสูง แต่ก็ยังมีความคลาดเคลื่อน ส่งผลให้เวลาที่ถูกลงมาคลาดเคลื่อนด้วย

2) ความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม (Ephemeris error)

วงโคจรดาวเทียมที่อุปกรณ์รับมานั้น เป็นวงโคจรที่เกิดจากการคำนวณตำแหน่งล่วงหน้าของดาวเทียม โดยอาศัยรูปจำลองที่คำนวณจากปัจจัยภายนอกต่าง ๆ ที่ต่อดาวเทียมได้รับ เช่น แรงดึงดูด พายุสุริยะ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลที่ถูกลงมานั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ดังรูปที่



รูปที่ 2.2 ความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม

3) ความคลาดเคลื่อนของการหักเหในชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Errors)

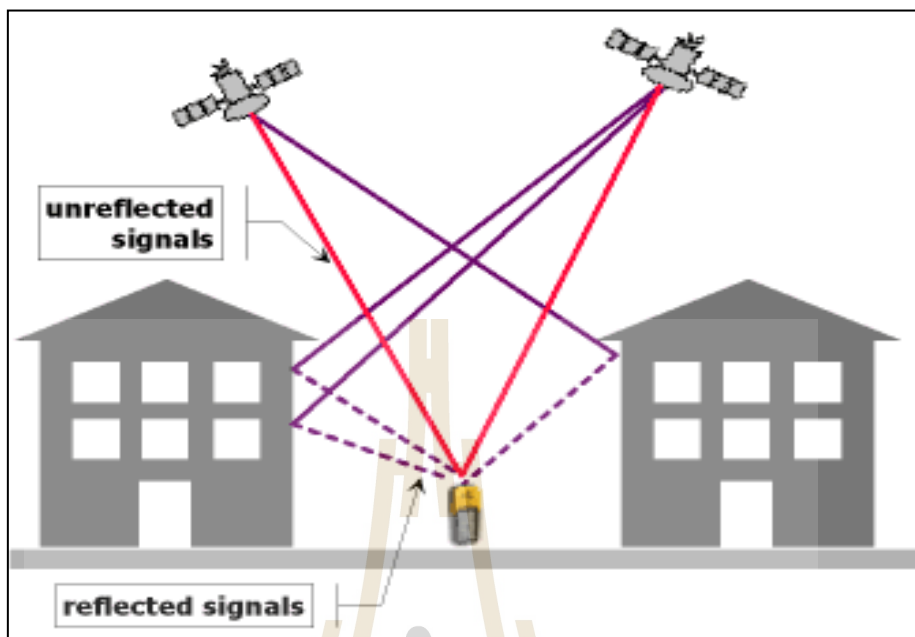
การเดินทางของคลื่นในตัวกลางที่มีดัชนีหักเหต่างกันเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเฟสและความเร็ว บรรยากาศของโลกถูกแบ่งออกเป็นหลายชั้น มีค่าดัชนีการหักเหแตกต่างกันในแต่ละชั้น ชั้นบรรยากาศชั้นแรก เรียกว่า ชั้นโทรโปสเฟียร์ (Troposphere) มีความสูงจากผิวโลก 16 - 17 กิโลเมตร และชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) ซึ่งความสูงตั้งแต่ระดับ 50 - 1,000 กิโลเมตร ซึ่งทั้งชั้นโทรโปสเฟียร์และชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีผลต่อการเดินทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

4) ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Receiver Clock Errors)

เนื่องจากความแม่นยำของระบบนาฬิกาที่ใช้ในเครื่องรับนั้นมีความแม่นยำน้อยมาก เมื่อเทียบกับนาฬิกาอะตอมที่ใช้งานภายในดาวเทียม ทำให้นาฬิกาของเครื่องรับมีความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อกรคำนวณหาตำแหน่งเครื่องรับได้

5) ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการสะท้อนของสัญญาณที่มาจากหลายเส้นทาง (Multipath)

สัญญาณที่ส่งจากดาวเทียมมาจนถึงเครื่องรับนั้นอาจเกิดการสะท้อนกับวัตถุต่าง ๆ ซึ่งจะเกิดการสะท้อนมากหากใช้งานในพื้นที่ชุมชนที่มีสิ่งก่อสร้าง หรือยานพาหนะ การสะท้อนของสัญญาณเป็นความคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถระบุได้อย่างแน่ชัด

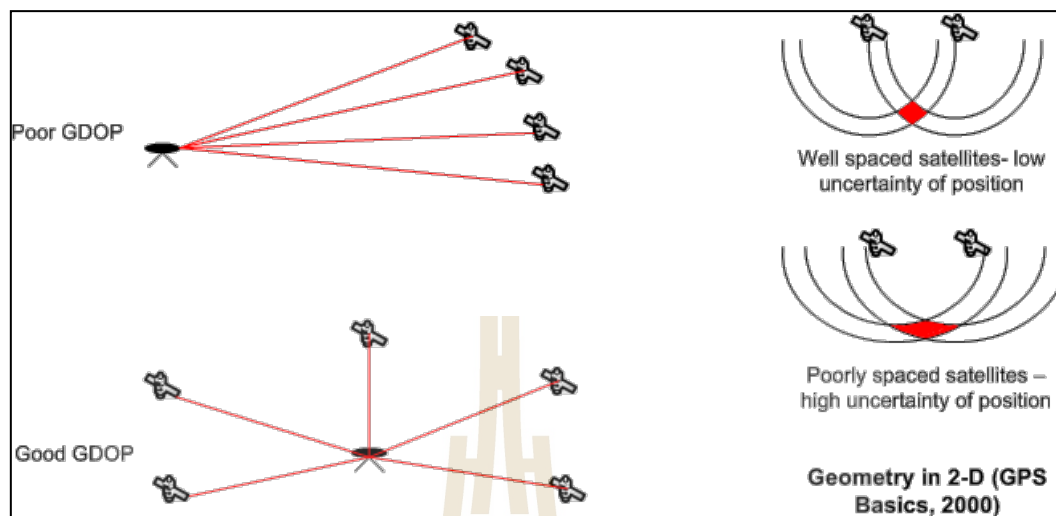


รูปที่ 2.3 การเกิดการสะท้อนของสัญญาณ

6) ความคลาดเคลื่อนจากการวางตัวของดาวเทียม (**Dilution of Precision : DOP**)

ความคลาดเคลื่อนจากการวางตัวของดาวเทียม ใช้ในบอกถึงคุณภาพของเรขาคณิตของดาวเทียม ซึ่งการหาดำแหน่งของวัตถุนั้นควรคำนึงถึงการวางตำแหน่งของดาวเทียมบนเป็นส่วนสำคัญ ค่า DOP สามารถแบ่งออกได้ 5 ชนิด คือ

- ก. ความไม่แน่นอนในองค์ประกอบด้านตำแหน่งทางราบ (Horizontal Dilution of Precision : HDOP)
- ข. ความไม่แน่นอนในองค์ประกอบด้านความสูง (Vertical Dilution of Precision : VDOP)
- ค. ความไม่แน่นอนในองค์ประกอบตำแหน่งสามมิติ (Position Dilution of Precision : PDOP) คือ โดย $PDOP = HDOP + VDOP$
- ง. ความไม่แน่นอนในองค์ประกอบทางด้านเวลา (Time Dilution of Precision : TDOP)
- จ. ความไม่แน่นอนในองค์ประกอบด้านเรขาคณิต (Geometry Dilution of Precision : GDOP) โดย $GDOP = PDOP + TDOP$

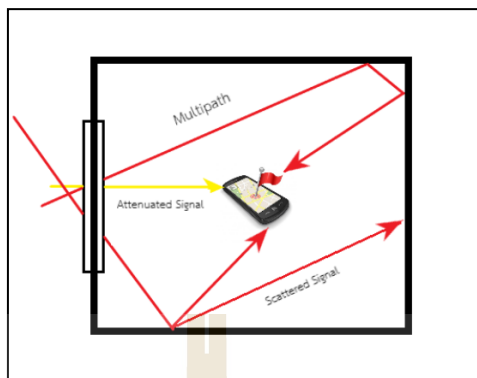


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการวางตัวของดาวเทียม

จากงานวิจัยของ S. Xayavong (2014) จะเห็นตัวอย่างการวางตัวของดาวเทียมที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนในการคำนวณของตำแหน่ง ซึ่งจำนวนดาวเทียมที่สามารถรับสัญญาณมีจำนวนมากขึ้นและกระจายตัวสมมาตรกัน จะส่งผลให้ค่า DOP มีค่าที่ดีขึ้นตามไปด้วย

2.2.3 ข้อจำกัดของการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมภายในอาคาร

การระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมนั้นถูกออกแบบให้ใช้งานในสภาพแวดล้อมกลางแจ้งเพื่อจะสามารถลดปัญหาการลดทอนและการสะท้อนของสัญญาณที่ทำให้การคำนวณตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อน แต่หากใช้ในสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่มีทั้งการลดทอนสูง การสะท้อนของสัญญาณ การรบกวนและการกระเจิงของสัญญาณ จะทำให้ไม่สามารถคำนวณตำแหน่งได้ถูกต้องหรือไม่สามารถรับสัญญาณได้ การลดทอนนั้นเกิดขึ้นโดยทั่วไปแต่ในสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่มีส่วนปิดกั้นเส้นนำสายตาระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณตัวอย่างเช่น บ้านที่มีกำแพงไม้จะมีการลดทอนประมาณ 10 เดซิเบล ในขณะที่บ้านที่อยู่อาศัยที่มีกำแพงอิฐจะลดทอน 20-25 เดซิเบล ซึ่งความไว (Sensitivity) ในการรับสัญญาณของตัวรับสัญญาณทั่ว ๆ ไป จะอยู่ในช่วง -160 เดซิเบล ถึง -190 เดซิเบล (Puricer, Kovar, 2007)

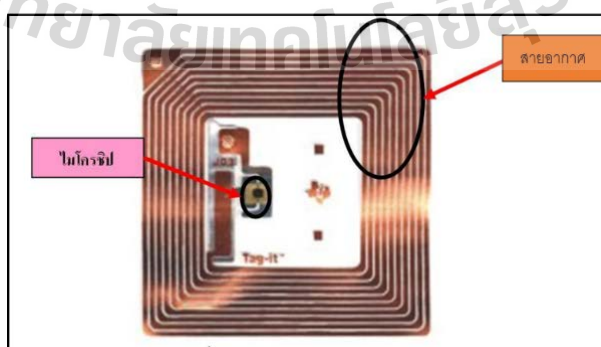


รูปที่ 2.5 การรับสัญญาณจากดาวเทียมขณะอยู่ในอาคาร

ปัญหาการลดลงมา คือ การสะท้อนของสัญญาณ สัญญาณที่ถูกส่งในสภาพแวดล้อมกลางแจ้งทั่วไปจะประกอบด้วยสัญญาณทางตรงและสัญญาณที่เกิดการสะท้อน แต่การใช้งานกลางแจ้งมีปัญหาที่เกิดจากการสะท้อนน้อยกว่าการใช้งานสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ปัญหาการสะท้อนของสัญญาณที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถคาดการณ์ได้ ซึ่งสัญญาณสามารถเสริมกันหรือหักล้างกันได้ตามสภาพแวดล้อมนั้น

2.2.4 เทคโนโลยีที่ใช้เพื่อระบุตำแหน่งภายในอาคาร

จากข้อจำกัดของระบบระบุตำแหน่งบนโลกหรือจีพีเอส ที่ในการใช้ภายในอาคาร ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร เช่น เทคโนโลยีอินฟราเรด เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย คลื่นวิทยุ บลูทูธ เทคโนโลยีแท็กร์ก RFID และอุปกรณ์รับสัญญาณจากดาวเทียมนำทางที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งเทคโนโลยีต่าง ๆ นั้นมีข้อจำกัดและความเหมาะสมในการใช้งานต่างกัน (Hameed, Ahmed, 2018)



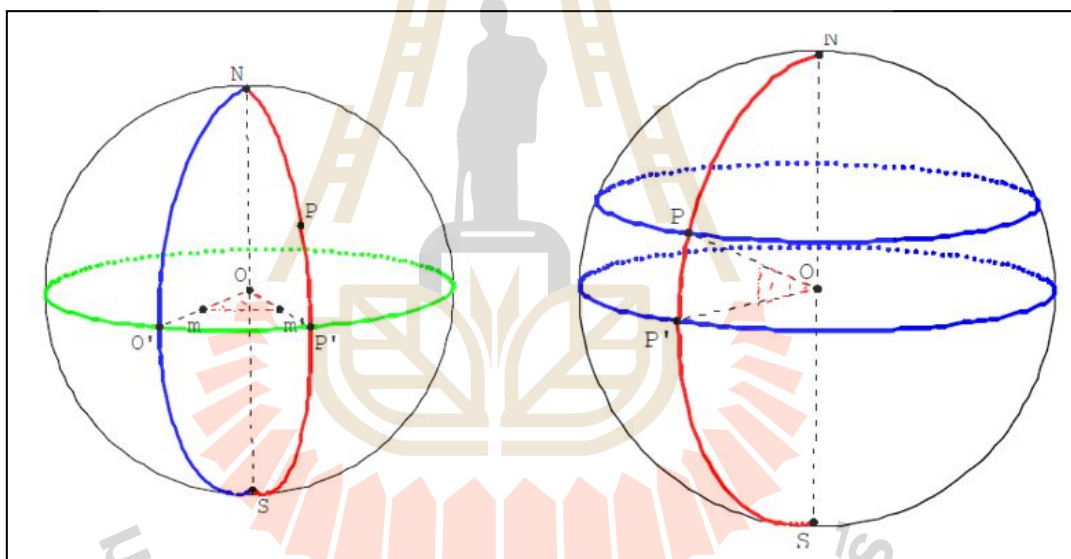
รูปที่ 2.6 เทคโนโลยีแท็กร์ก RFID

จากงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งภายในอาคาร จำแนกได้เป็น 4 ประเภท คือ (1) ระบบวัดช่วงทิศทางไร้สาย (Wireless Direction-range Measurement System) เช่น การใช้งานเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra-wideband Technology) และคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ในการหาในการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้การวัดค่าเวลาที่เดินทางจากวัตถุถึงจุดรับสัญญาณ (Time of arrival : TOA) การหาคำแหน่งของวัตถุจากทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกมาจากวัตถุ (Angle of arrival : AOA) เฟสของสัญญาณและระดับความแรงของสัญญาณ เป็นต้น (2) ระบบจับคู่กับอุปกรณ์ส่งสัญญาณบลูทูธ (Indoor Beacon Matching System) เป็นการใช้งานที่ได้รับความนิยมเพราะสามารถใช้งานได้หลายวิธี เช่น การใช้เทคโนโลยีแท็กรหัส RFID หรือการใช้เราเตอร์ Wi-Fi ที่ติดตั้งไว้ภายในอาคารเพื่อรับส่งสัญญาณจากการวิจัยในหลายปีที่ผ่านมาการใช้งานโดยการส่งสัญญาณบลูทูธได้ถูกพัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การใช้งานประเภทนี้ยังไม่เคยถูกใช้เพื่อการกู้ภัยฉุกเฉิน (3) ระบบนำทางเฉื่อย (Inertial Navigation System) คือการนำทางโดยการคอมพิวเตอร์ เช่น เซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวและเซ็นเซอร์การหมุน เพื่อคำนวณหาตำแหน่งจากทิศทางและความเร็วโดยไม่ต้องมีจุดอ้างอิง และ (4) ระบบรวม (Mixed System) คือการรวมระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ระบบ หรือ 3 ระบบ เพื่อใช้งานร่วมกัน (Zhen-Peng et al. ,2015)

2.2.5 งานสำรวจทางยี่อเดซี (Geodesy)

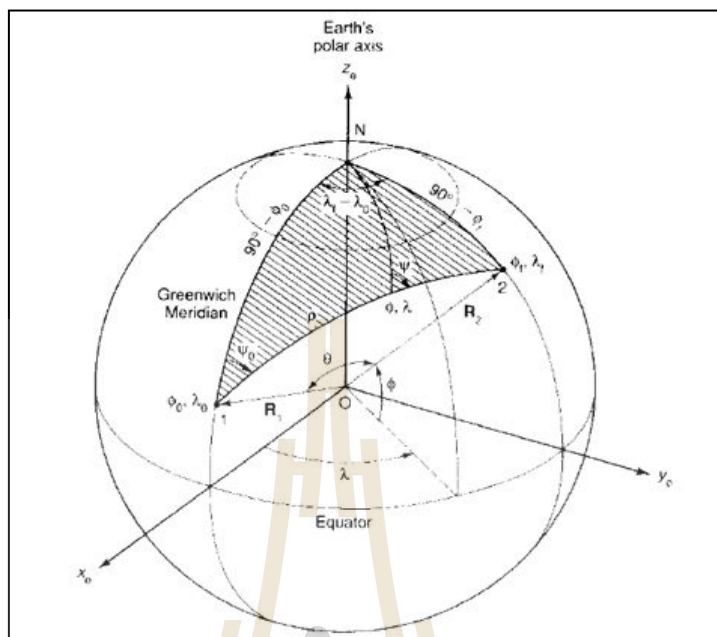
เนื่องจากโลกมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม (Spheroid) ทำให้หลักเกณฑ์และวิธีการสำรวจนั้นมีความยุ่งยากมากขึ้น ดังนั้นถ้าหากต้องการจะสำรวจเพื่อทำแผนที่ให้มีความถูกต้องที่สุดแล้ว จำเป็นต้องคำนึงถึงความโค้งของผิวโลกด้วย โดยในการสำรวจเพื่อทำแผนที่ได้คำนึงถึงความโค้งของผิวโลกที่เรียกว่า การสำรวจทางยี่อเดซี (Geodesy) ซึ่งการสำรวจทางยี่อเดซี มีวิธีการหลายอย่าง เช่น การใช้ทฤษฎีสองเหลี่ยม (Triangulation) เครือข่ายสถานีสำรวจ (Traverse) และ การใช้ทฤษฎีแรงโน้มถ่วง(Gravity) ฯลฯ วิธีการเหล่านี้ จะทำให้เราทราบถึงขนาด (Size) รูปร่าง (Shape) ของโลกเราได้ และในการบอกพิกัดตำแหน่งโดยทั่วไปสามารถบอกได้หลายวิธี เช่น การบอกพิกัดโดยใช้ระบบพิกัดกริด (Grid Locator System) ระบบพิกัดกริดซึ่งยังคงใช้พื้นฐานความรู้ในเรื่องของพิกัดละติจูดและลองจิจูดมาทำการคำนวณ ซึ่งปัจจุบันยังคงนิยมใช้ในทางทหารและกลุ่มนักวิทยุสมัครเล่น เป็นต้น หรือ การบอกพิกัดโดยใช้ละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) ซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการบอกพิกัดโดยใช้ละติจูดและลองจิจูด ได้อ้างอิงจากการใช้ทฤษฎีพิกัดทรงกลมมาเปรียบเทียบกับโลก ที่มีลักษณะคล้ายวงกลมเช่นกัน (อุดม สิริปัญญา, <http://www.bangkokgis.com>)

การบอกพิกัดตำแหน่งโดยการใช้ละติจูดและลองจิจูด เป็นการบอกพิกัดที่ใช้บอกตำแหน่งบนพื้นโลก ซึ่งระบุว่าตำแหน่งนั้นอยู่ตรงจุดที่ทำมุมสัมพันธ์กับเส้นศูนย์สูตร (Equator) และเส้นสมมุติในแนวเหนือใต้ที่เรียกว่า เส้นไพรม์เมริเดียน (Prime Meridian) เท่าใด โดยละติจูดเป็นพิกัดที่อ้างอิงจากเส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 องศาที่เส้นศูนย์สูตร ไปจนถึง 90 องศาที่บริเวณขั้วโลกเหนือและใต้ (นับเป็น 90 องศาเหนือหรือใต้) พื้นที่ที่มีพิกัดละติจูดต่างกันจะมีสภาพภูมิอากาศ (Climate) และสภาพอากาศ (Weather) ต่างกัน ส่วนลองจิจูดจะเป็นพิกัดที่ใช้บอกตำแหน่งโดยการวัดไปทางตะวันออกหรือตะวันตกจากเส้นสมมุติในแนวเหนือใต้ที่เรียกว่า เส้นเมริเดียน (Meridian) มีหน่วยเป็นองศาเช่นเดียวกับละติจูด โดยนับจาก 0 องศา ที่เส้นไพรม์เมริเดียนไปทางตะวันออก 180 องศา (180 องศาตะวันออก) และไปทางตะวันตก -180 องศา (180 องศาตะวันตก) โดยลองจิจูดจะถูกนำมาใช้ในการแบ่งเขตเวลาของแต่ละพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



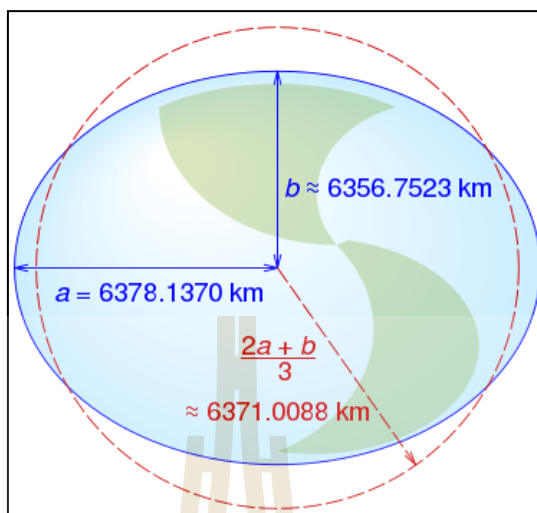
รูปที่ 2.7 ภาพแสดงเส้นละติจูด (Latitude) และเส้นลองจิจูด (Longitude)

จากรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่า การบอกพิกัดตำแหน่งโดยใช้ละติจูดและลองจิจูด นั้น จะมีความสอดคล้องกับความรู้ด้านระบบพิกัดทรงกลม (Spherical Coordinates) และด้านตรีโกณมิติ (Trigonometric) ดังแสดงรูปที่ 2.8

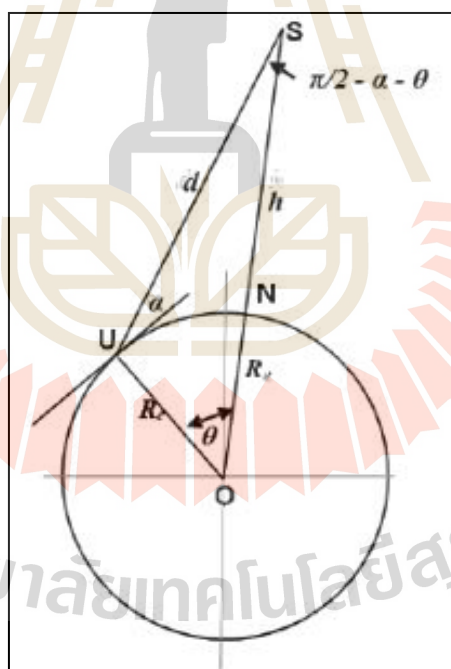


รูปที่ 2.8 แสดงการตัวอย่างการใช้พิกัดทรงกลมและตรีโกณมิติในการคำนวณ

การกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกให้มีความถูกต้องนั้น นอกจากวิธีที่ใช้ในการรังวัดต้องมีความถูกต้องสูงแล้ว สิ่งที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่ากัน คือ พื้นหลักฐานอ้างอิง (Reference Datum) ซึ่งใช้เป็นระบบอ้างอิงในการหาตำแหน่ง (Reference System) และโครงข่ายทางขี้อเดซี (Geodetic Network) ซึ่งประกอบด้วยหมุดหลักฐานที่รังวัดเชื่อมโยงกันเป็นโครงข่ายและมีค่าพิกัดบนระบบอ้างอิง โดยพื้นหลักฐานอ้างอิงมี 2 ชนิด คือ พื้นหลักฐานทางราบและพื้นหลักฐานทางดิ่ง พื้นหลักฐานทางราบที่ใช้ในประเทศไทยมีหลายพื้นหลักฐาน เช่น พื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 และ พื้นหลักฐาน WGS 84 (World Geodetic System 1984) พื้นหลักฐานนี้อาจเรียกได้ว่าเป็นระบบพื้นหลักฐานสากล เนื่องจากเป็นพื้นหลักฐานที่อ้างอิงทั้งโลกซึ่งพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยอาศัยข้อมูลของแรงโน้มถ่วง (Gravity Data) ครอบคลุมทั่วโลก ประโยชน์ของพื้นหลักฐานนี้เพื่อใช้พัฒนากิจการด้านอวกาศ โดยเฉพาะระบบการกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียม ที่สำคัญจุดศูนย์กลางของโลกและจุดกำเนิดของพื้นหลักฐาน ยังเป็นจุดศูนย์กลางของวงโคจรดาวเทียมจีพีเอสอีกด้วย พื้นหลักฐานนี้ในปัจจุบันได้รับการยอมรับว่าเป็นพื้นหลักฐานที่มีความละเอียดถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือสูง (ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งศูนย์กลางของโลกประมาณ ± 1 เมตร) และประเทศไทยได้จัดทำแผนที่ชุดใหม่โดยใช้พื้นหลักฐานนี้อ้างอิงทางราบ คือ แผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐานส่วน 1:50,000 ชุด L7018 (ราชวัลย์กันภัย, <http://kqgnss.blogspot.com>)



รูปที่ 2.9 สันฐานของโลกในระบบพื้นหลักฐาน WGS 84



รูปที่ 2.10 ภาพตัดย่อระยะนาบแนวตั้งของโลกซึ่งมีรูปทรงกลม

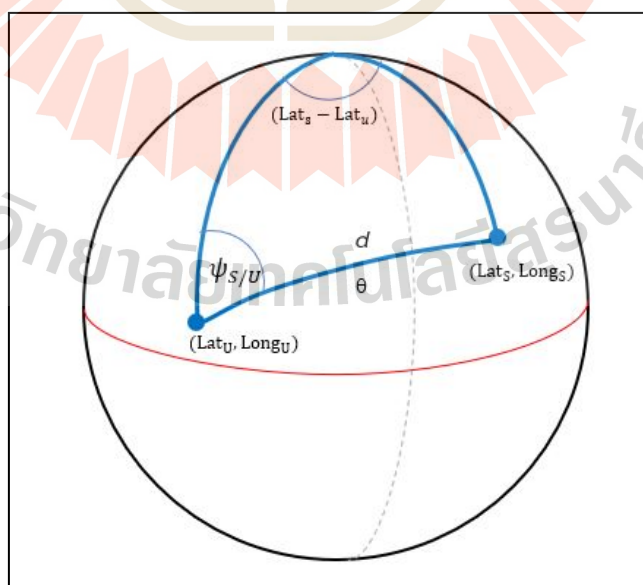
ตามสันฐานของโลกในระบบพื้นหลักฐาน WGS 84 ที่ใช้อ้างอิงในระบบจีพีเอส ดังรูปที่ 2.9 โลกมีรูปร่างเป็นทรงรี ประกอบด้วยระยะรัศมีในแนวเส้นศูนย์สูตร ขนาด 6,378.137 กิโลเมตร และ ระยะรัศมีในแนวขั้วโลก ขนาด 6,356.7523 กิโลเมตร ทำให้รัศมีของโลกนั้นไม่

เท่ากัน แตกต่างกันตามละติจูด และจากรูปที่ 2.10 สามารถหารัศมีของโลก ณ ละติจูดนั้น ๆ ได้ตามสมการที่ [1] (<https://en.wikipedia.org>)

$$R_e(L) = \sqrt{\frac{(a^2 \cos L)^2 + (b^2 \sin L)^2}{(a \cos L)^2 + (b \sin L)^2}} \quad [1]$$

- โดยที่ a คือ รัศมีของโลกในแนวเส้นศูนย์สูตร มีหน่วยเป็นกิโลเมตร
 b คือ รัศมีของโลกในแนวขั้วโลก มีหน่วยเป็นกิโลเมตร
 L คือ ตำแหน่งละติจูด มีหน่วยเป็นองศา

เมื่อลากเส้นจากจุดเริ่มต้น $(Lat_U, Long_U)$ ไปถึงจุดปลายทาง $(Lat_S, Long_S)$ ดังในรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าจะมีทั้งทิศทางและระยะทางเข้ามาเกี่ยวข้องตามทฤษฎีเรื่องระบบพิกัดทรงกลมและศาสตร์ของตรีโกณมิติ ซึ่งทิศทางที่ใช้จะเริ่มต้นจากทิศเหนือและหมุนตามเข็มนาฬิกา หรือเรียกว่ามุม Azimuth ($\psi_{S/U}$) และมีระยะทาง (d) จากความสัมพันธ์ของพิกัดตำแหน่งจุดเริ่มต้น (U) มุม Azimuth และระยะทาง จะทำให้เกิดสมการเพื่อหาพิกัดตำแหน่งที่จุดปลายทาง $(Lat_S, Long_S)$ โดยการใช้วิธี The Direct Problem of Geodesy ดังนี้ (Geyer, 2016)



รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ของระยะ d และมุม Azimuth ต่อปลายทาง (S)

- 1) การคำนวณหาตำแหน่งละติจูดที่จุดปลายทางโดยการใช่วิธี The Direct Problem of Geodesy ดังสมการที่ [2]

$$L_S = \sin^{-1} \left(\sin(L_U) \cos \theta + \cos(L_U) \sin \theta \cos(\varphi_{S/U}) \right) \quad [2]$$

โดยที่ L_U คือ ตำแหน่งละติจูดเริ่มต้น มีหน่วยเป็นองศา
 L_S คือ ตำแหน่งลองจิจูดปลายทาง มีหน่วยเป็นองศา
 $\varphi_{S/U}$ คือ มุม Azimuth จากจุดเริ่มต้น มีหน่วยเป็นองศา
 θ คือ มุมจีโอเซนทริก (Geocentric angle) มีหน่วยเป็นองศา

- 2) การคำนวณหาตำแหน่งลองจิจูดที่จุดปลายทางโดยการใช่วิธี The Direct Problem of Geodesy ดังสมการที่ [3]

$$\lambda_S = \tan^{-1} \left[\frac{\cos L_U \sin \lambda_U \cos \theta + (\cos \lambda_U \sin \varphi_{S/U} - \sin L_U \sin \lambda_U \cos \varphi_{S/U}) \sin \theta}{\cos L_U \cos \lambda_U \cos \theta + (\sin \lambda_U \cos \varphi_{S/U} + \sin L_U \cos \lambda_U \cos \varphi_{S/U}) \sin \theta} \right] \quad [3]$$

โดยที่ L_U คือ ตำแหน่งละติจูดเริ่มต้น มีหน่วยเป็นองศา
 λ_U คือ ตำแหน่งลองจิจูดเริ่มต้น มีหน่วยเป็นองศา
 L_S คือ ตำแหน่งละติจูดปลายทาง มีหน่วยเป็นองศา
 λ_S คือ ตำแหน่งลองจิจูดปลายทาง มีหน่วยเป็นองศา
 $\varphi_{S/U}$ คือ มุม Azimuth จากจุดเริ่มต้น มีหน่วยเป็นองศา
 θ คือ มุมจีโอเซนทริก (Geocentric Angle) มีหน่วยเป็นองศา

เมื่อสามารถหาพิกัดปลายทาง ($Lat_S, Long_S$) โดยใช้ข้อมูลจากพิกัดเริ่มต้น ($Lat_U, Long_U$) มุม Azimuth ($\varphi_{S/U}$) และ ระยะทาง (d) ได้ จึงนำมาประยุกต์ใช้กับการหาพิกัดปลายทางในกรณีที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งจากระบบระบุตำแหน่งจีพีเอสได้ โดยใช้ข้อมูลพิกัดเริ่มต้นครั้งแรกจากระบบระบุตำแหน่งจีพีเอส ผสมกับข้อมูลจากการวัดระยะทางและมุม มาคำนวณตามสมการข้างต้น ซึ่งได้มีการใช้ประโยชน์จากวิธี The Direct Problem of Geodesy หลากหลายในปัจจุบัน

2.2.6 เครื่องวัดระยะเลเซอร์ (Laser Distance Meter)

เครื่องวัดระยะเลเซอร์ (Laser Distance Meter) คือ อุปกรณ์มือถือที่ใช้เลเซอร์ในการวัดระยะทางระหว่างวัตถุสองชิ้น มีความถูกต้องภายในระหว่าง 1 มิลลิเมตรและมีช่วงระยะการวัดไกลถึง 650 ฟุต เครื่องวัดระยะทางเลเซอร์ถูกนำมาใช้อย่างแม่นยำและถูกต้อง โดยวิธีส่งแสงเลเซอร์หลักการวัดพื้นฐานอยู่บนพื้นฐานของการวัดระยะเวลาการส่งของพัลส์เลเซอร์ระหว่างระยะเลเซอร์และวัตถุที่จะวัด พิจารณาความเร็วของแสงระยะสามารถกำหนดได้อย่างแม่นยำด้วยเครื่องวัดระยะทางเลเซอร์ (<http://www.derramepetroleo.com>)



รูปที่ 2.12 เครื่องวัดระยะเลเซอร์ รุ่น GLM150 C

2.3 สรุป

ตามเนื้อหาที่กล่าวในบทนี้ได้อธิบายถึงหลักการทำงานของระบบระบุตำแหน่งบนโลกหรือจีพีเอส ปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม ข้อจำกัดของการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมภายในอาคาร การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อระบุตำแหน่งภายในอาคารที่เหมาะสมกับการใช้งานภายในถ้ำ และงานสำรวจทางฮิโอดีซี (Geodesy) จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น พบว่าเทคนิคในงานสำรวจทางฮิโอดีซีสามารถใช้ข้อมูลระยะทาง ทิศทางและพิกัดอ้างอิง 1 จุด มาในการระบุตำแหน่งภายในถ้ำได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการเพิ่มความแม่นยำตรงของระบบระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมเพื่อใช้ในการระบุพิกัดตำแหน่งภายในถ้ำโดยใช้การวัดระยะด้วยเลเซอร์ เข็มทิศและระบบนำทางด้วยดาวเทียม

บทที่ 3

การออกแบบระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ

3.1 บทนำ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบ และหลักการการทำงานของระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ ในการออกแบบตัวระบบจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ (1) ส่วนการทำงานด้านฮาร์ดแวร์และเซนเซอร์ เช่น อุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส อุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์ และเข็มทิศดิจิทัล เป็นต้น (2) ส่วนการทำงานด้านซอฟต์แวร์หรือแอปพลิเคชันที่ได้สร้างขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวกโดยทั้งสองส่วนจะทำงานร่วมกัน หลังจากนั้นจะเป็นการอธิบายถึงหลักการการทำงานของระบบระบุพิกัดภายในถ้ำที่จะสามารถระบุตำแหน่งในจุดที่ไม่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสได้

3.2 การออกแบบระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ

ในอดีตการสำรวจเพื่อทำแผนที่ภายในถ้ำจะใช้อุปกรณ์ทั่ว ๆ ไปโดยการใช้เข็มทิศ อุปกรณ์วัดมุมเอียงและสายวัดระยะเพื่อวัดระยะทางและทิศทาง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นแผนที่ ซึ่งแผนที่ที่ได้จะต้องใช้ระยะเวลาในการสำรวจเป็นเวลานานและอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนได้ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเพื่อการออกแบบระบบระบุพิกัดภายในถ้ำโดยอ้างอิงจากเทคนิคในการสำรวจทางย็อดเดซีและการใช้งานให้มีความเหมาะสมเพื่อใช้ภายในถ้ำเป็นหลัก เช่น อุปกรณ์ที่ใช้จะต้องมีขนาดกะทัดรัด สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และต้องมีการใช้พลังงานต่ำ เป็นต้น



รูปที่ 3.1 การสำรวจถ้ำเบื้องต้น ณ ถ้ำเขียงดาว จ.เชียงใหม่

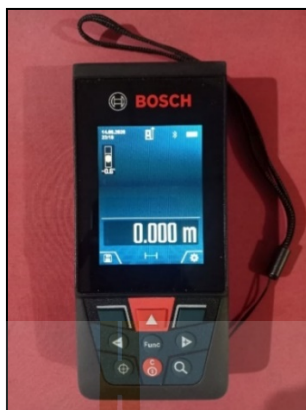
การออกแบบระบบจะสามารถแสดงองค์ประกอบของระบบฯ ได้ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนการทำงานด้านฮาร์ดแวร์และเซนเซอร์ ทั้งอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส อุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์ อุปกรณ์ใจโรสโคปและเข็มทิศดิจิทัล เป็นต้น ในอีกส่วนการทำงานจะเป็นด้านซอฟต์แวร์หรือแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ที่ได้สร้างขึ้นเพื่อใช้คำนวณตำแหน่งเป้าหมายจากข้อมูลที่ถูกส่งมาจากเซนเซอร์ต่าง ๆ

รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ระบุตำแหน่งภายในถ้ำ

1) อุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัดระยะทางนั้นมีหลายชนิด ทั้งกล้องวัดระยะที่ใช้ในงานโยธา เครื่องวัดระยะด้วยอัลตราโซนิก (Ultrasonic Range Finder) และเครื่องวัดระยะเลเซอร์ (Laser Distance Meter) แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของสภาพแวดล้อมภายในถ้ำส่งผลให้ทั้งกล้องวัดระยะที่ใช้ในงานโยชานั้นมีขนาดใหญ่เกินไปและเครื่องวัดระยะด้วยอัลตราโซนิกมีระยะเวลาใช้งานที่สั้นเกินไป งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ เครื่องวัดระยะเลเซอร์แบบมือถือ ในการวัดระยะทางภายในถ้ำ ซึ่งมีระยะเวลาการทำงานที่ไกลและมีความแม่นยำสูง ซึ่งแสดงตัวอย่างอุปกรณ์วัดระยะเลเซอร์ดังรูปที่ 3.3 และแสดงข้อมูลทางเทคนิคเบื้องต้นของเครื่องวัดระยะเลเซอร์ รุ่น GLM 150C ในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดระยะเลเซอร์ รุ่น GLM150 C

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทางเทคนิคเบื้องต้นของเครื่องวัดระยะเลเซอร์ รุ่น GLM150 C

ระยะการวัด	0.08 – 150.00 เมตร
น้ำหนักโดยประมาณ	230 กรัม
คลาสของเลเซอร์	2
ความแม่นยำในการวัดโดยทั่วไป	±1.5 มิลลิเมตร
แหล่งจ่ายไฟ	3 x แบตเตอรี่ 1.5 โวลต์ LR6 (AA)
การถ่ายโอนข้อมูล	บลูทูธ

2) เข็มทิศดิจิทัล ไจโรสโคปและอุปกรณ์บันทึกข้อมูลตำแหน่งจีพีเอส

เข็มทิศคือเครื่องมือทางภูมิศาสตร์สำหรับใช้เพื่อหาทิศทาง มีเข็มแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ตามแรงดึงดูดของแม่เหล็กโลกซึ่งวางตัวจากขั้วโลกเหนือ-ใต้ ในปัจจุบันมีการพัฒนาเข็มทิศที่สามารถส่งข้อมูลบนแท็บเล็ตและสมาร์ทโฟนเพื่อการใช้งานที่สะดวกขึ้น ไจโรสโคป (Gyroscope) เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยแรงเฉื่อยของล้อหมุน เพื่อรักษาระดับทิศทางของแกนหมุน โมเมนตัมเชิงมุมของล้อหมุนจะทำให้รักษาดำแหน่งไว้แม้ล้อจะเอียง จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ต่าง ๆ มากมาย เช่น เข็มทิศ และระบบนำบินอัตโนมัติของเครื่องบิน เป็นต้น และอุปกรณ์บันทึกข้อมูลตำแหน่งจีพีเอสที่รับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อระบุตำแหน่ง งานวิจัยนี้จึงเสนอเข็มทิศดิจิทัลและไจโรสโคป ที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์บันทึกข้อมูลตำแหน่งจีพีเอสโดยรับสัญญาณจากกลุ่มดาวเทียม กลุ่ม GPS และ QZSS เพื่อความสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และแสดงข้อมูลทางเทคนิคดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลตำแหน่งจีพีเอส Aaronia

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลทางเทคนิคเบื้องต้นของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลตำแหน่งจีพีเอส Aaronia

ข้อมูลทางเทคนิคของจีพีเอส	
ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งสูงสุด	1.8 เมตร
ความเร็วเคลื่อนที่สูงสุด	515 เมตร/วินาที \pm 0.1 เมตร/วินาที
ระดับความสูงสูงสุด	18 เมตร
ความไวต่อการรับสัญญาณ	-195 เดซิเบล
แบตเตอรี่ LiPo	650 มิลลิแอมป์ต่อชั่วโมง
ระยะเวลาใช้งานแบตเตอรี่สูงสุด	7 ชั่วโมง
การถ่ายโอนข้อมูล	USB และ การ์ดความจำ
ความคลาดเคลื่อนของเข็มทิศ	1 – 2 องศา
ขนาด ยาว x กว้าง x สูง	102 x 42 x 21 มิลลิเมตร

3.2.2 แอปพลิเคชันซอฟต์แวร์คำนวณตำแหน่งภายในถ้ำ

การออกแบบแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์เพื่อใช้คำนวณตำแหน่งภายในถ้ำ โดยรับข้อมูลจากส่วนฮาร์ดแวร์และเซนเซอร์ นั้นอ้างอิงจากวิธีคำนวณด้วยเทคนิคทางยี่ห้อเดซี่ การออกแบบแอปพลิเคชันโดยใช้ภาษาไพธอน (Python) ในการเขียนหน้าต่างการทำงานตัวเชื่อมประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphic User Interface) แสดงตัวอย่างแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ดังรูปที่ 3.5 หลักการทำงานของแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์คือตัวแอปพลิเคชันจะรับค่าจากเลเซอร์วัดระยะและอุปกรณ์เก็บข้อมูลพิกัดจีพีเอสมาใช้คำนวณ จากนั้นจะแสดงผลพิกัดที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งรองรับในระบบปฏิบัติการ Windows บนแท็บเล็ตหรือคอมพิวเตอร์

รูปที่ 3.5 หน้าต่างแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์คำนวณตำแหน่งภายในถ้ำ

1) องค์ประกอบของแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์

จากรูปที่ 3.5 สามารถแสดงส่วนประกอบของแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ได้ดังรูปที่ 3.6 ที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือส่วนการคำนวณ เช่น ช่องกรอกข้อมูลหรือแสดงค่าที่รับจากอุปกรณ์ และส่วนที่สองคือ ช่องแสดงผลที่แสดงผลจากการคำนวณในรูปแบบตัวเลข ซึ่งอธิบายตามตารางที่ 3.3

รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบของแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์

ตารางที่ 3.3 ส่วนประกอบของแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์คำนวณตำแหน่งภายในถ้ำจากรูปที่ 3.6

หมายเลข	รายการ	คำอธิบาย
1	LATITUDE	ตำแหน่งละติจูดเริ่มต้น
2	LONGITUDE	ตำแหน่งลองจิจูดเริ่มต้น
3	DATE & TIME	แสดงเวลา ณ UTC
4	COMPASS	มุมจากเข็มทิศดิจิทัล

หมายเลข	รายการ	คำอธิบาย
5	DISTANCE	ระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดปลาย
6	ELEVATION	มุมเงยหรือมุมกดที่ทำกับเซนเซอร์วัดระยะจากระดับน้ำ เพื่อคำนวณระยะทางที่เกิดขึ้นจริงโดยใช้พีทาโกรัส
7	ALTITUDE	ความสูงจากระดับน้ำทะเล ณ จุดที่วัด เพื่อหารัศมีโลก
8	ROLL	มุมเอียงหมุน
9	No. SATELLITE	จำนวนดาวเทียมที่รับสัญญาณ ณ ขณะนั้น
10	CALCULATE	ปุ่มคำนวณ
11	Mode AUTONOMOUS Mode MANUAL Mode DISABLED	การปรับโหมดการทำงานของแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์
12	CONTINUE	ปุ่มคำนวณจุดถัดไป
13	LATITUDE TARGET	ละติจูดปลายทางที่ได้จากการคำนวณ
14	LONGITUDE TARGET	ลองจิจูดปลายทางที่ได้จากการคำนวณ
15	List Box	กล่องแสดงละติจูดและลองจิจูดปลายทางที่ได้จากการคำนวณ

อุปกรณ์ระบุพิกัดภายในถ้าประกอบด้วย 2 ส่วนคือ อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์จีพีเอสหรือเครื่องวัดระยะเลเซอร์ และส่วนประมวลผลหรือแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ เมื่ออุปกรณ์เก็บค่าต่าง ๆ จะส่งข้อมูลมาที่แอปพลิเคชันซอฟต์แวร์เพื่อรอการประมวลผล โดยขึ้นอยู่กับโหมดที่เลือก ซึ่งมีทั้งโหมดอัตโนมัติ และโหมดทั่วไป

2) โหมดการทำงานอัตโนมัติ

โหมดการทำงานอัตโนมัติของแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ คือการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์ เซ็นเซอร์ดิจิทัล ใจโรสโคปและอุปกรณ์บันทึกข้อมูลตำแหน่งจีพีเอสตลอดเวลา โดยเหมาะสำหรับตำแหน่งการวัดที่สามารถรับสัญญาณจากจีพีเอสได้ ดังแสดงผังการทำงานในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ผังแสดงกระบวนการทำงานในโหมดการทำงานอัตโนมัติ

เมื่อแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ได้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ต่าง ๆ จะแสดงข้อมูลเหล่านั้น หากได้รับข้อมูลที่ครบถ้วน ก็สามารถกดปุ่ม CALCULATE เพื่อคำนวณ จากนั้นแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์จะคำนวณและแสดงผลการคำนวณ ซึ่งผลการคำนวณที่ได้จะแสดงทั้งในรูปแบบของแถบข้อความหรือในรูปกราฟด้านล่าง ดังรูปที่ 3.8

Target Coordinates Calculator

START COORDINATE

LATITUDE (degree) LONGITUDE (degree)

GYROSCOPE DATA

DATE & TIME

COMPASS (degree) DISTANCE (meter)

ELEVATION (degree) ALTITUDE (meter)

ROLL (degree) No. SATELLITE

RESULT DATA

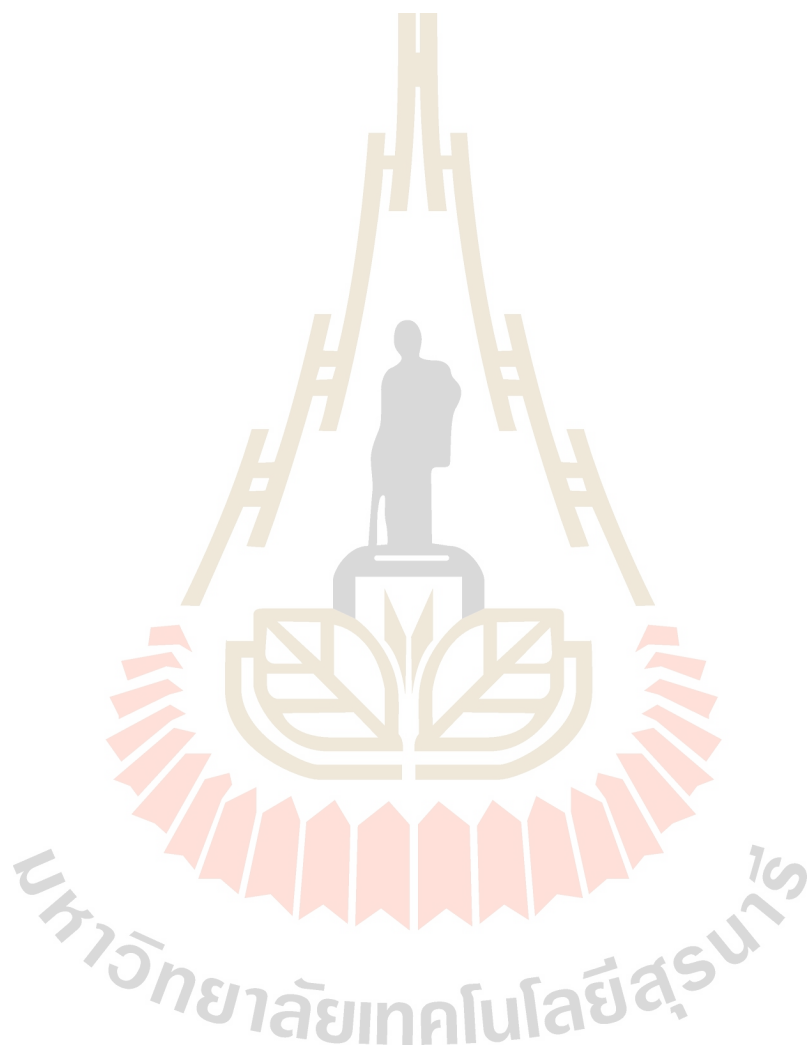
LATITUDE (degree) LONGITUDE (degree)

TARGET 1 : Latitude = 14.875375023212971 Longitude = 102.01887918183563
 TARGET 2 : Latitude = 14.875375023212971 Longitude = 102.01887918183563
 TARGET 3 : Latitude = 14.875375023212971 Longitude = 102.01887918183563
 TARGET 4 : Latitude = 14.875375023212971 Longitude = 102.01887918183563
 TARGET 5 : Latitude = 14.87542103179369 Longitude = 102.01895630120723
 TARGET 6 : Latitude = 14.87588984717276 Longitude = 102.01912245463501
 TARGET 7 : Latitude = 14.875994997780785 Longitude = 102.01917573070831

รูปที่ 3.8 การทำงานในโหมดการทำงานอัตโนมัติ

3) โหมดการทำงานทั่วไป

โหมดการทำงานทั่วไปของแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ คือการส่งข้อมูลจากเฉพาะอุปกรณ์วีดระยะด้วยเลเซอร์ เชื่อมทีศติจิตอล และใจโรสโคป โดยไม่มีการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์บันทึกข้อมูลตำแหน่งจีพีเอส เพื่อให้เหมาะสำหรับการคำนวณตำแหน่งที่ไม่สามารถรับสัญญาณจากจีพีเอสได้ เช่น ภายใต้น้ำ สามารถแสดงผังการทำงานได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ผังแสดงกระบวนการทำงานในโหมดการทำงานอัตโนมัติ

โหมคการทำงานทั่วไป แอปพลิเคชันซอฟต์แวร์จะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ยกเว้นข้อมูลพิกัดตำแหน่งจากจีพีเอส และจะแสดงข้อมูลเหล่านั้น เพื่อให้สามารถคำนวณจากพิกัดก่อนหน้าได้ จากนั้นเมื่อทราบพิกัดเป้าหมายแล้วจะสามารถกดปุ่ม CALCULATE เพื่อคำนวณ หากต้องการนำพิกัดเป้าหมายมาใช้เป็นพิกัดอ้างอิงถัดไป สามารถกดปุ่ม CONTINUE เพื่อคำนวณต่อไปได้ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.10

Target Coordinates Calculator

START COORDINATE

LATITUDE (degree) LONGITUDE (degree)

GYROSCOPE DATA

DATE & TIME

COMPASS (degree) DISTANCE (meter)

ELEVATION (degree) ALTITUDE (meter)

ROLL (degree) No. SATELLITE

RESULT DATA

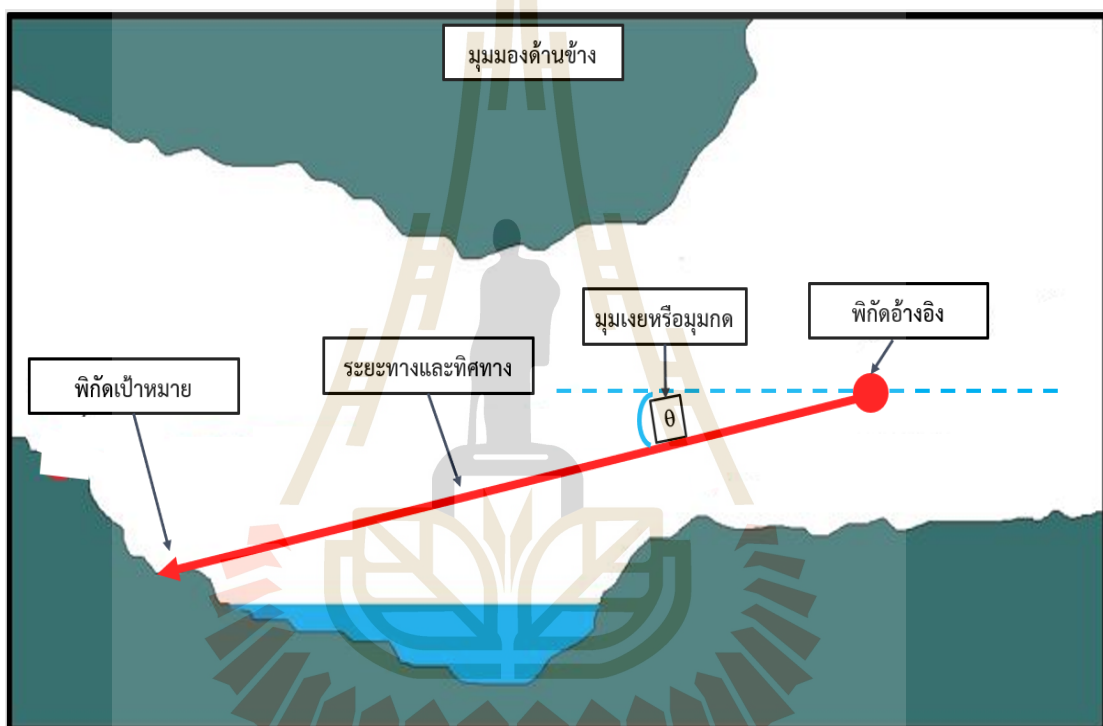
LATITUDE (degree) LONGITUDE (degree)

TARGET 1 : Latitude = 14.875375023212971 Longitude = 102.01887918183563
 TARGET 2 : Latitude = 14.875375023212971 Longitude = 102.01887918183563
 TARGET 3 : Latitude = 14.875375023212971 Longitude = 102.01887918183563
 TARGET 4 : Latitude = 14.875375023212971 Longitude = 102.01887918183563
 TARGET 5 : Latitude = 14.87542103179369 Longitude = 102.01895630120723
 TARGET 6 : Latitude = 14.87588984717276 Longitude = 102.01912245463501
 TARGET 7 : Latitude = 14.875994997780785 Longitude = 102.01917573070831

รูปที่ 3.10 การทำงานในโหมคการทำงานทั่วไป

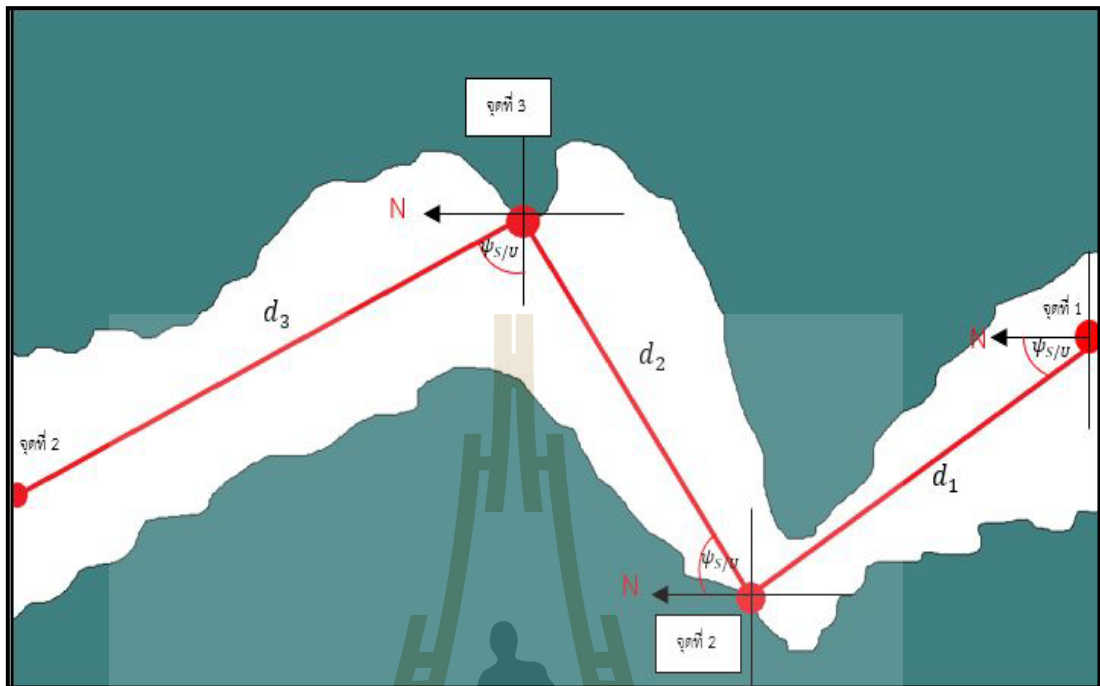
3.3 หลักการทำงานของระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ

หลักการทำงานของระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ จะเริ่มต้นจากการรับค่าพิกัดตำแหน่งในจุดที่สามารถรับสัญญาณจากจีพีเอสได้เพื่อใช้เป็นพิกัดอ้างอิง อาจจะเป็นตำแหน่งบริเวณด้านหน้าถ้ำ หรือบริเวณพื้นที่เปิดโล่งใกล้ด้านหน้าถ้ำ หลังจากนั้นกำหนดพิกัดเป้าหมายที่ต้องการทราบ ข้อมูลทั้งมุมเงยหรือมุมกด ระยะทาง ทิศทาง และความสูงจากระดับน้ำทะเล จะถูกส่งไปยังแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ที่ออกแบบไว้ แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ภาพแสดงหลักการทำงานของระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ

เมื่อได้พิกัดเป้าหมายจากการคำนวณครั้งแรกเทียบกับพิกัดอ้างอิงแล้ว พิกัดเป้าหมายนั้นจะถูกนำมาใช้เป็นพิกัดอ้างอิง ณ จุดถัดไป เพื่อหาพิกัดถัด ๆ ไปตามเส้นทางของถ้ำแต่ละที่ ที่มีความคดเคี้ยวและมีความสูงชัน แสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ภาพแสดงหลักการทำงานในมุมมองด้านบน

3.4 สรุป

สำหรับบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบและหลักการงานของระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ ซึ่งในขั้นแรกได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ที่จำเป็นในการหาพิกัดภายในถ้ำตามเทคนิคทางป๊อเดซี่ เช่น อุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส อุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์ อุปกรณ์ใจโรสโคปและเข็มทิศดิจิทัล เป็นต้น จากนั้นจะเป็นการสร้างแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ เพื่อการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ และเพื่อความสะดวกต่อผู้ใช้งาน สุดท้ายจะเป็นการอธิบายถึงหลักการงานของระบบในการใช้งานจริง

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

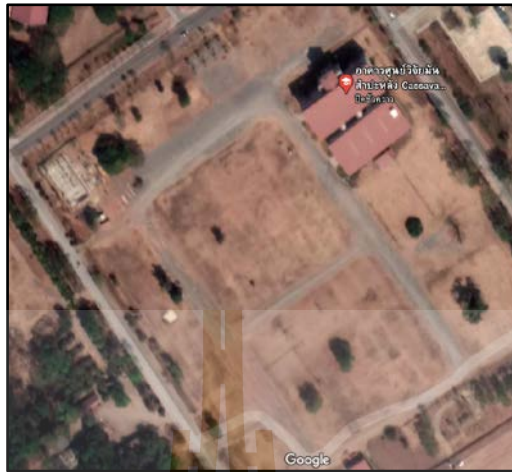
ในบทนี้จะเป็นการนำอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งอุปกรณ์วัดระยะเลเซอร์ ไซโรสโคป เข็มทิศดิจิทัล อุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส และเทคนิคทางยี่ห้อเดซีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา ซึ่งจะนำมาทดสอบระบบ ทั้งในเรื่องของความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้อ้างอิงและทดสอบในเรื่องของความแม่นยำของการบอกตำแหน่งด้วยจีพีเอสเพื่อใช้ในการกำหนดพิกัดอ้างอิงในครั้งแรก โดยทั้งความแม่นยำของเทคนิคที่ใช้อ้างอิงหรือความแม่นยำตรงของการบอกตำแหน่งเพื่อเป็นพิกัดอ้างอิงในครั้งแรกจะต้องมีความถูกต้องสูงสุด เมื่อใช้ในการบอกตำแหน่งภายในถ้ำ

4.2 การทดสอบความแม่นยำโดยใช้เทคนิคทางยี่ห้อเดซี

การทดสอบการใช้เทคนิคทางยี่ห้อเดซี ทำการทดสอบขึ้นเพื่อประเมินความถูกต้องของเทคนิคข้างต้น โดยการกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการคำนวณ เช่น พิกัดเริ่มต้น ระยะทาง ทิศทาง ความสูงจากระดับน้ำทะเลและมุมเงยหรือมุมกด เพื่อคำนวณพิกัดเป้าหมายในระยะทางต่างกัน และทิศทางที่ต่างกัน เทียบกับการใช้ระบบระบุพิกัดบนโลกในการบอกตำแหน่งปลายทางเพื่อตรวจสอบความแม่นยำตรงหากนำไปใช้ในการระบุตำแหน่งภายในถ้ำ โดยมีหัวข้อการทดสอบดังนี้

4.2.1 ขั้นตอนการทดสอบ

1) กำหนดพื้นที่ที่นำมาใช้ทดสอบ โดยพื้นที่ต้องมีความกว้าง เปิดโล่ง พื้นที่ราบ ไร้สิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้ เพื่อต้องการลดปัจจัยต่าง ๆ เช่น บังจายจากภูมิประเทศ บังจายจากกระสะท้อนของสัญญาณ และเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณจากดาวเทียมสูงสุด บริเวณเลือกใช้ทดสอบคือ บริเวณพื้นที่สนามข้างศูนย์วิจัยมันสำปะหลัง พื้นที่ดังกล่าวอยู่บริเวณพิกัด 14.873 องศาเหนือ 102.0187 องศาตะวันออก มีขนาดประมาณ กว้าง 150 เมตรและยาว 300 เมตร จึงมีความเหมาะสมตามเงื่อนไขที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แสดงดังรูปที่ 4.1

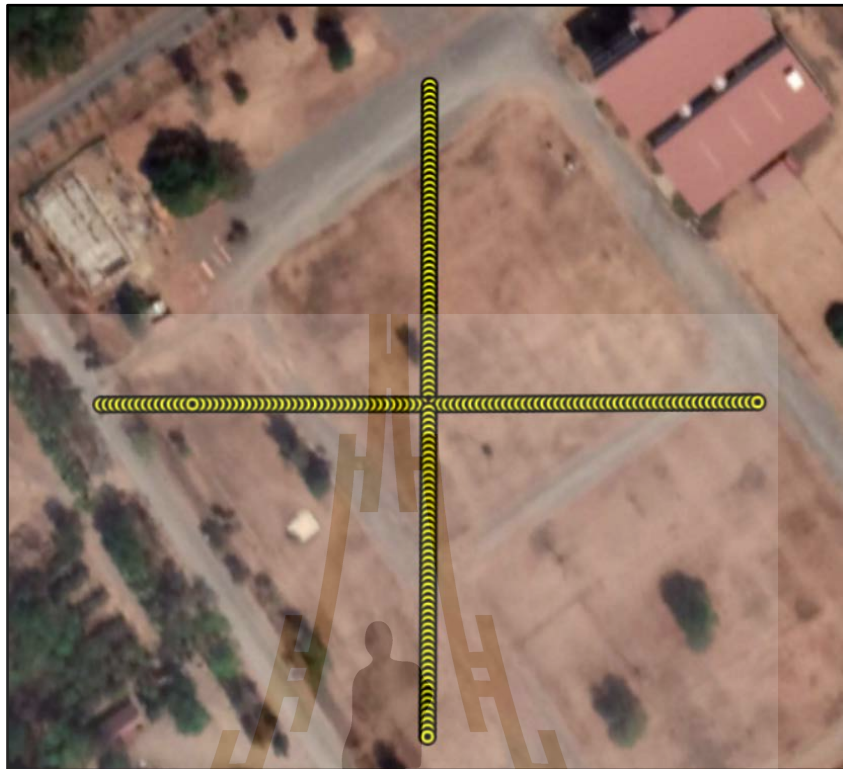


รูปที่ 4.1 ภาพจากดาวเทียมบริเวณศูนย์วิจัยมันสำปะหลัง

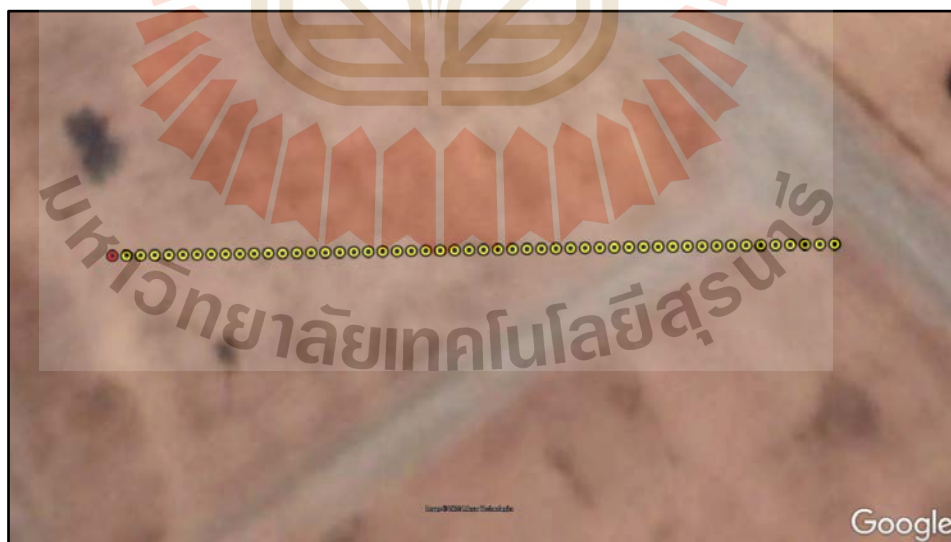
2) กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณด้วยเทคนิคทางยี่ห้อเดซี่ เช่น พิกัดเริ่มต้น ระยะทางและทิศทาง เป็นต้น โดยการทดสอบครั้งนี้ได้เลือกพิกัดเริ่มต้นดังรูปที่ 4.2 คือ พิกัดเริ่มต้น ตำแหน่ง 14.8735160 องศาเหนือ 102.01873280 องศาตะวันออก และทิศทางจากจุดเริ่มต้นที่กำหนดเพื่อทดสอบเทคนิคที่อ้างอิงโดยเทียบจากการเปลี่ยนตำแหน่งตามแนวละติจูดและแนวลองจิจูด เช่น มุม 0 องศา 90 องศา 180 องศา และ 270 องศา จากนั้นกำหนดระยะทางจากจุดเริ่มต้นในแต่ละทิศทางทุก 2 เมตร ทั้งหมด 50 จุด รวมแล้วทิศทางละ 100 เมตร ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.2 ภาพจากดาวเทียมแสดงพิกัดเริ่มต้น



รูปที่ 4.3 แผนที่จากดาวเทียมแสดงระยะทางรวมในแต่ละทิศทาง



รูปที่ 4.4 แผนที่จากดาวเทียมแสดงตัวอย่างระยะห่างจุดละ 2 เมตร ทั้งหมด 50 จุด



รูปที่ 4.5 ภาพแสดงขณะทำการทดสอบ

3) นำอุปกรณ์ระบุพิกัดจีพีเอสเก็บข้อมูลพิกัดตามจุดที่กำหนดไว้ ตามทิศทางและระยะทาง เพื่อเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้เทคนิคทางขี้อเคษฐ์ ดังตัวอย่างรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนที่จากดาวเทียมแสดงตัวอย่างผลที่ได้จากจีพีเอส ณ มุม 0 องศา

4.2.2 ผลที่ได้จากการทดสอบ

1) ผลการทดสอบระหว่างตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยเทคนิคทางขี้อเดซี่เปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ได้จากอุปกรณ์จีพีเอส ณ ทิศทางมุม 0 องศา ดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.10



รูปที่ 4.7 แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ มุม 0 องศา



รูปที่ 4.8 แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ได้จากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 0 องศา



รูปที่ 4.9 แผนที่แสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 0 องศา

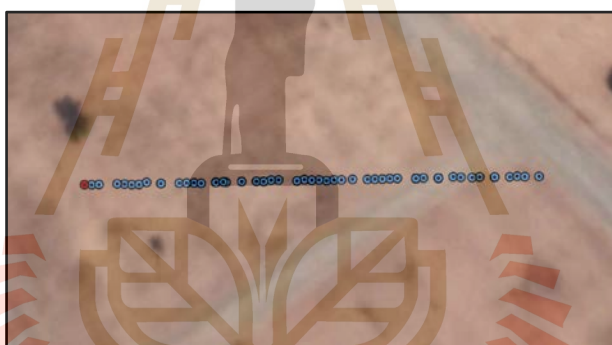
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 0 องศา

2) ผลการทดสอบระหว่างตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยเทคนิคทางยี่ห้อเดซี่
เปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ได้จากอุปกรณ์จีพีเอส ณ ทิศทางมุม 90 องศา ดังรูปที่ 4.11 ถึง 4.14



รูปที่ 4.11 แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ มุม 90 องศา



รูปที่ 4.12 แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 90 องศา



รูปที่ 4.13 แผนที่แสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 90 องศา

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 90 องศา

3) ผลการทดสอบระหว่างตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยเทคนิคทางขี้อเคซี่
เปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ได้จากอุปกรณ์จีพีเอส ณ ทิศทางมุม 180 องศา ดังรูปที่ 4.15 ถึง 4.18



รูปที่ 4.15 แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ มุม 180 องศา



รูปที่ 4.16 แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 180 องศา



รูปที่ 4.17 แผนที่แสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 180 องศา

รูปที่ 4.18 กราฟแสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 180 องศา

4) ผลการทดสอบระหว่างตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยเทคนิคทางขี้อเคซึ่เปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ได้จากอุปกรณ์จีพีเอส ณ ทิศทางมุม 270 องศา ดังรูปที่ 4.19 ถึง 4.22



รูปที่ 4.19 แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ มุม 270 องศา



รูปที่ 4.20 แผนที่จากดาวเทียมแสดงตำแหน่งจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 270 องศา



รูปที่ 4.21 แผนที่แสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 270 องศา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.22 กราฟแสดงตำแหน่งจากการคำนวณและจากอุปกรณ์จีพีเอส มุม 270 องศา

รูปที่ 4.23 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณเทียบกับทฤษฎีพิกัดทรงกลม

จากการทดสอบการใช้เทคนิคทางฮิโอดีซีในการหาดำแหน่งเป้าหมาย ที่ระยะทางไม่เกิน 100 เมตร และทิศทาง 0 องศา 90 องศา 180 องศา และ 270 องศา จากพิกัดอ้างอิง เปรียบเทียบกับการระบุตำแหน่งด้วยอุปกรณ์จีพีเอส พบว่าการคำนวณพิกัดเป้าหมายด้วยเทคนิคทางฮิโอดีซีมีความแม่นยำสูงมาก ในขณะที่การระบุตำแหน่งด้วยอุปกรณ์จีพีเอสนั้นเกิดความคลาดเคลื่อน

และจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยเทคนิคทางฮิโอดีซีเทียบกับทฤษฎีพิกัดทรงกลม ในระยะทาง 100 เมตร จากจุดพิกัดอ้างอิง ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแนวลองจิจูดตามทฤษฎีพิกัดทรงกลม แต่กลับมีผลความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในแนวละติจูด โดยที่ระยะ 100 เมตร ผลจากการคำนวณด้วยเทคนิคทางฮิโอดีซี เบี่ยงเบนออกจากค่าตามทฤษฎีพิกัดทรงกลม ประมาณ 0.02 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4.23

4.3 การทดสอบความแม่นยำตรงของอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส

เนื่องจากการทดสอบการใช้เทคนิคทางฮาร์ดแวร์ในการหาดำแหน่งเป้าหมาย จะสังเกตเห็นถึงความแม่นยำตรงของอุปกรณ์ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส ที่มีความคลาดเคลื่อนทั้งในแนวละติจูดและลองจิจูด ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งเพื่อใช้เป็นตำแหน่งพิกัดอ้างอิง จึงต้องทำการวิเคราะห์และแก้ไข เพื่อสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์บอกตำแหน่งภายในถ้ำได้ โดยสมมติฐาน คือ ปัจจัยต่าง ๆ ทั้งความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากสภาพแวดล้อม สภาพอากาศ และการวางตัวของดาวเทียมจีพีเอสในแต่ละช่วงเวลา

4.3.1 ขั้นตอนการทดสอบ

1) กำหนดพื้นที่ที่นำมาใช้ทดสอบ โดยพื้นที่ต้องมีความกว้าง เปิดโล่ง พื้นที่ราบ ไร้สิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้ เพื่อต้องการลดปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปัจจัยจากภูมิประเทศ ปัจจัยจากการสะท้อนของสัญญาณ และเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณจากจำนวนดาวเทียมสูงสุด ดังนั้นบริเวณที่เลือกใช้ทดสอบคือ ลานศิลปวัฒนธรรม ภายในมหาวิทยาลัย พื้นที่ดังกล่าวอยู่บริเวณพิกัด 14.894335 องศาเหนือ 102.014419 องศาตะวันออก มีความเหมาะสมตามเงื่อนไขที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แสดงดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ภาพจากดาวเทียมบริเวณลานศิลปวัฒนธรรม (ลานหมอลำ)

2) จากสมมติฐานขั้นต้น ปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของตัวอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส คือ ช่วงเวลาที่ใช้งานอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส โดยการทดสอบนี้จึงกำหนดตัวแปรคือเวลาที่ใช้งาน การทดสอบใช้งานทั้งหมด 4 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 วันที่ 19 มกราคม 2563 ครั้งที่ 2 วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 ครั้งที่ 3 วันที่ 19 เมษายน 2563 และครั้งที่ 4 คือ 28 สิงหาคม 2563

3) การทดสอบแต่ละครั้งจะกำหนดตัวแปรเวลา เวลาที่ทำการทดสอบคือช่วงเวลา 06.00 น. ถึง 18.00 น.



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.25 ภาพขณะทำการทดสอบบริเวณลานศิลปวัฒนธรรม (ลานหมอลำ)

4.3.2 ผลการทดสอบครั้งที่ 1

การทดสอบครั้งที่ 1 วันที่ 19 มกราคม 2563 เป็นการทดสอบครั้งแรก โดยกำหนด ช่วงเวลาคือ 06.00 น. 09.00 น. 12.00 น. 15.00 น. และ 18.00 น. ในแต่ละช่วงเวลา จะทำการวัด ทั้งหมด 12 ครั้ง แต่ละครั้งต่างกัน 5 นาที รวมทั้งหมด 60 ครั้ง

1) ผลการทดสอบครั้งที่ 1 วันที่ 19 มกราคม 2563 เวลา 06.00 น.

รูปที่ 4.26 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 1 เวลา 06.00 น.

2) ผลการทดสอบครั้งที่ 1 วันที่ 19 มกราคม 2563 เวลา 09.00 น.

รูปที่ 4.27 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 1 เวลา 09.00 น.

3) ผลการทดสอบครั้งที่ 1 วันที่ 19 มกราคม 2563 เวลา 12.00 น.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.28 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 1 เวลา 12.00 น.

4) ผลการทดสอบครั้งที่ 1 วันที่ 19 มกราคม 2563 เวลา 15.00 น.

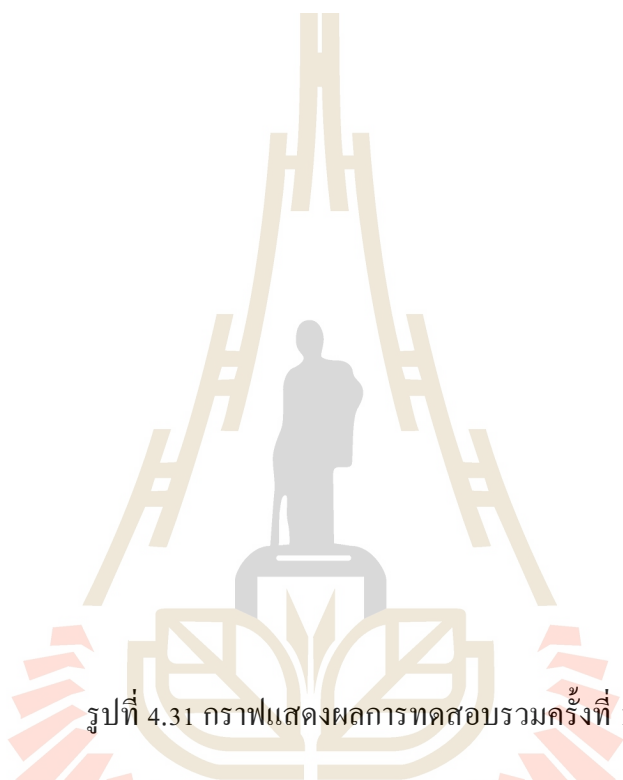
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 1 เวลา 15.00 น.

5) ผลการทดสอบครั้งที่ 1 วันที่ 19 มกราคม 2563 เวลา 18.00 น.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.30 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 1 เวลา 18.00 น.

6) ผลการทดสอบรวมทั้งหมด วันที่ 19 มกราคม 2563



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงผลการทดสอบรวมทั้งหมด ครั้งที่ 1

การทดสอบครั้งที่ 1 เป็นการทดสอบครั้งแรกโดยมีสมมติฐานหลักคือการรับสัญญาณจากดาวเทียมในช่วงเวลาที่ต่างกัน จะเกิดกลุ่มของตำแหน่งที่แตกต่างกันไปด้วย ในการทดสอบพบว่า การรับสัญญาณในช่วงเวลา 06.00 น. 15.00 น. และ 18.00 น. มีการรวมกลุ่มของตำแหน่งในแนวละติจูดใกล้เคียงกันและมีการเปลี่ยนแปลงในแนวลองจิจูดเล็กน้อย ต่างจากช่วงเวลา 09.00 น. ที่มีการรวมกลุ่มของตำแหน่งในแนวละติจูดน้อยกว่าและมีการเปลี่ยนแปลงลองจิจูดเบี่ยงทางซ้ายและทางขวาที่ลองจิจูด 102.01440431 และ 102.01443481 องศาตะวันออกตามลำดับ และในช่วงเวลา 12.00 น. จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงในแนวลองจิจูดอย่างเห็นได้ชัด โดยมีการรวมกลุ่มส่วนใหญ่ในแนวลองจิจูดเบี่ยงทางซ้าย ที่ลองจิจูด 102.01443481 องศาตะวันออก จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบครั้งที่ 1 พบว่าอุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณจากดาวเทียมมีการเปลี่ยนแปลงในแนวลองจิจูดที่สม่ำเสมอ อยู่ที่ 0.00001525 องศา หรือประมาณ 1.6 เมตรที่ตำแหน่งละติจูดที่ 14.8943 องศาเหนือ เพื่อวิเคราะห์สมมติฐานที่ตั้งไว้จึงได้ทดสอบครั้งที่ 2 ต่อไป

4.3.3 ผลการทดสอบครั้งที่ 2

การทดสอบครั้งที่ 2 วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 เป็นการทดสอบโดยกำหนดช่วงเวลาคือ 06.00 น. 09.00 น. 12.00 น. 15.00 น. และ 18.00 น. ในแต่ละช่วงเวลา จะทำการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง แต่ละครั้งต่างกัน 5 นาที รวมทั้งหมด 25 ครั้ง

- 1) ผลการทดสอบครั้งที่ 2 วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 เวลา 06.00 น.



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 2 เวลา 06.00 น.

2) ผลการทดสอบครั้งที่ 2 วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 เวลา 09.00 น.

รูปที่ 4.33 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 2 เวลา 09.00 น.

3) ผลการทดสอบครั้งที่ 2 วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 เวลา 12.00 น.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.34 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 2 เวลา 12.00 น.

4) ผลการทดสอบครั้งที่ 2 วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 เวลา 15.00 น.

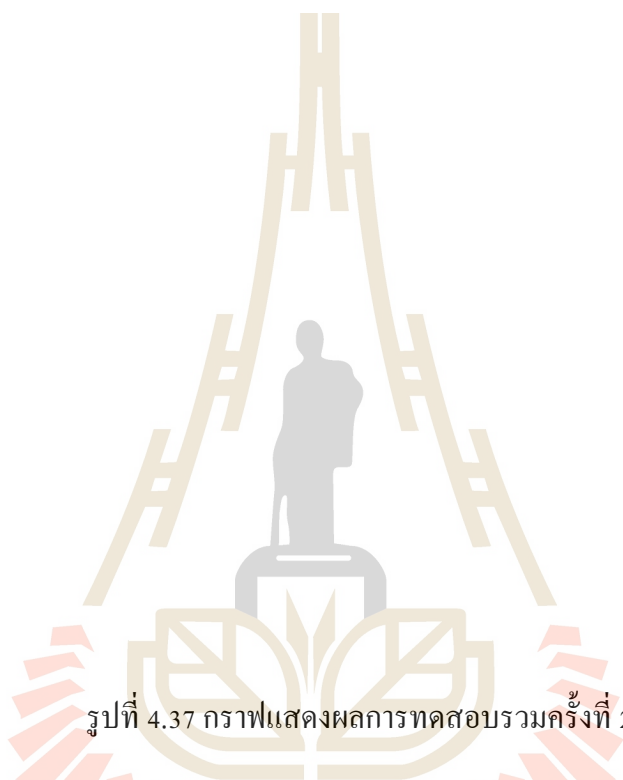
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 2 เวลา 15.00 น.

5) ผลการทดสอบครั้งที่ 2 วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 เวลา 18.00 น.



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 2 เวลา 18.00 น.

6) ผลการทดสอบรวมทั้งหมด วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563



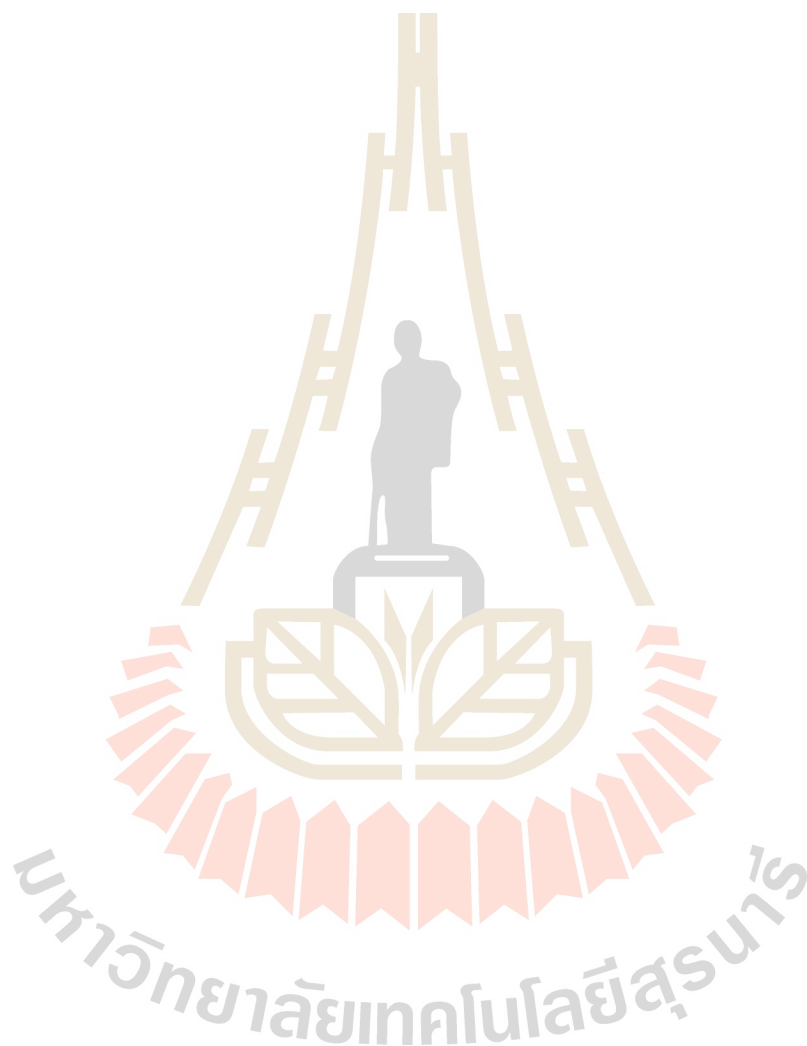
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงผลการทดสอบรวมทั้งครั้งที่ 2

การทดสอบครั้งที่ 2 เป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์สมมติฐานในการทดสอบครั้งแรก จากการทดสอบพบว่า รูปแบบการระบุตำแหน่งในช่วงเวลาต่าง ๆ มีความใกล้เคียงกับการทดสอบครั้งแรก เนื่องจากวันที่ทดสอบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มีระยะเวลาใกล้เคียงกัน ทำให้การโคจรของดาวเทียมมีความคล้ายกันด้วย และจากการทดสอบจะเห็นความแตกต่างในกลุ่มของตำแหน่งแต่ละช่วงเวลา ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากการทดสอบครั้งที่ 1 ในรูปที่ 4.31 และการทดสอบในครั้งที่ 2 ดังรูปที่ 4.37 ที่เวลา 06.00 น. 15.00 น. และ 18.00 น. มีการขยับใกล้เคียงกันมากขึ้น แต่ในช่วงเวลา 09.00 น. มีความแตกต่างกัน คือตำแหน่งลองจิจูดมีการเบี่ยงเบนส่วนใหญ่ไปทางขวา ที่ตำแหน่งลองจิจูด 102.01443481 องศาตะวันออก จึงเกิดสมมติฐานถัดมาในเรื่องลักษณะการวางตัวของดาวเทียมในแต่ละช่วงเวลานั้น ๆ ที่กระทำต่อตำแหน่งอุปกรณ์รับสัญญาณ มีลักษณะอย่างไร และมีความสัมพันธ์กับความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งหรือไม่ ทำให้เกิดการทดสอบในครั้งที่ 3 ถัดไป

4.3.4 ผลการทดสอบครั้งที่ 3

การทดสอบครั้งที่ 3 วันที่ 19 เมษายน 2563 เป็นการทดสอบโดยกำหนดช่วงเวลาคือ 06.00 น. 09.00 น. 12.00 น. 15.00 น. และ 18.00 น. ในแต่ละช่วงเวลาจะทำการวัดทั้งหมด 12 ครั้ง แต่ละครั้งต่างกัน 1 นาที รวมทั้งหมด 60 ครั้ง

- 1) ผลการทดสอบครั้งที่ 3 วันที่ 19 เมษายน 2563 เวลา 06.00 น.



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 3 เวลา 06.00 น.

2) ผลการทดสอบครั้งที่ 3 วันที่ 19 เมษายน 2563 เวลา 09.00 น.

รูปที่ 4.39 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 3 เวลา 09.00 น.

3) ผลการทดสอบครั้งที่ 3 วันที่ 19 เมษายน 2563 เวลา 12.00 น.

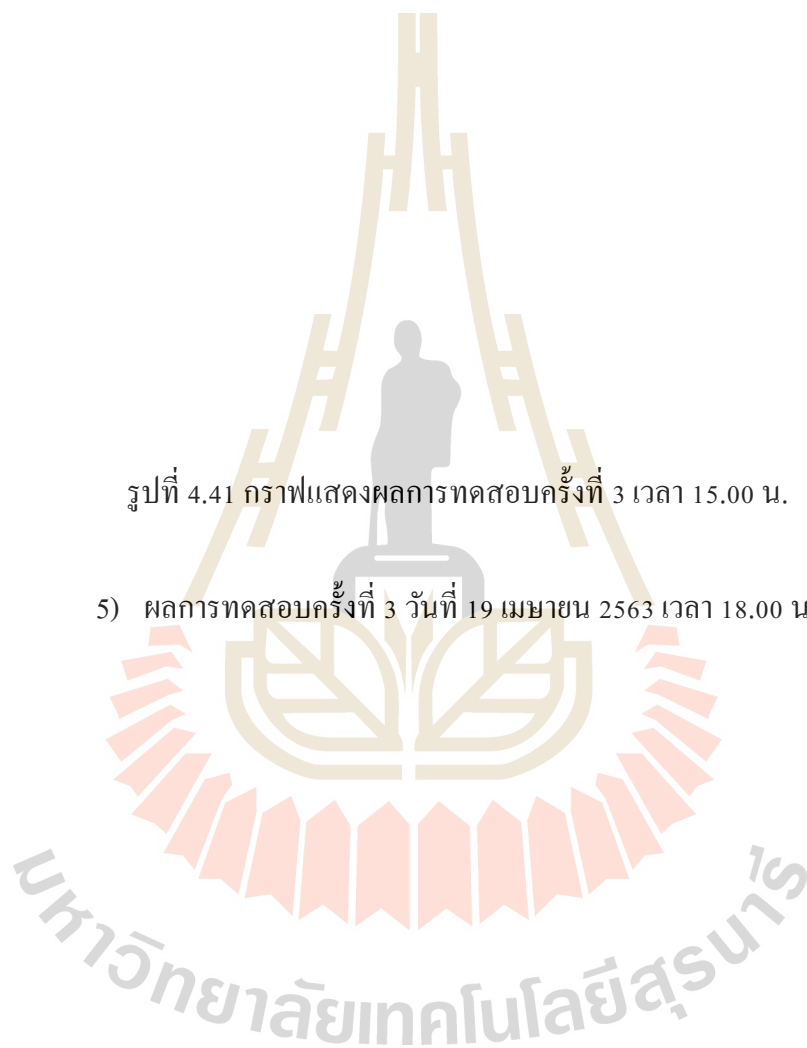
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.40 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 3 เวลา 12.00 น.

4) ผลการทดสอบครั้งที่ 3 วันที่ 19 เมษายน 2563 เวลา 15.00 น.

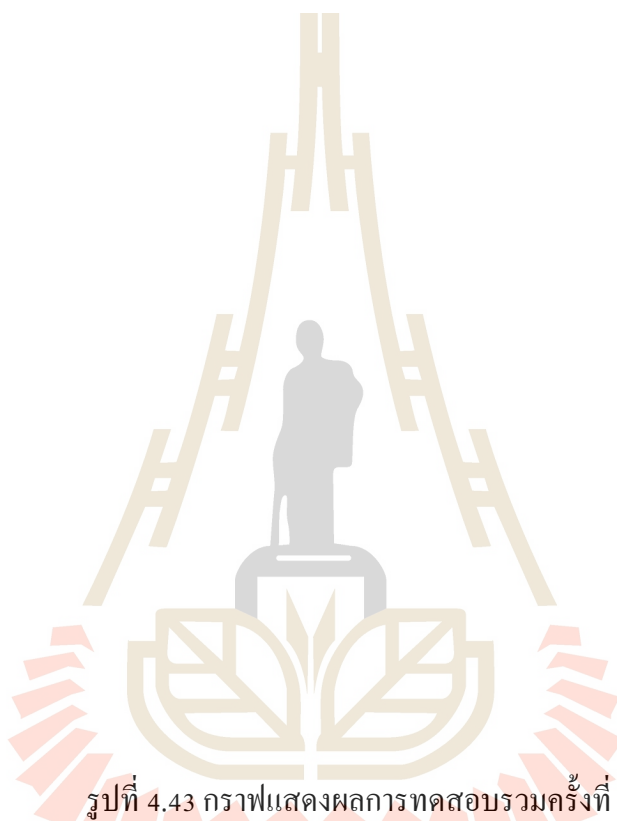
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 3 เวลา 15.00 น.

5) ผลการทดสอบครั้งที่ 3 วันที่ 19 เมษายน 2563 เวลา 18.00 น.



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 3 เวลา 18.00 น.

6) ผลการทดสอบรวมทั้งหมด วันที่ 19 เมษายน 2563



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงผลการทดสอบรวมทั้งที่ 3

ในการทดสอบครั้งที่ 3 เป็นการทดสอบโดยวิเคราะห์ถึงการวางตัวของดาวเทียมที่ทำให้มีผลต่อการระบุตำแหน่ง ได้ทำการลดระยะเวลาเก็บข้อมูลพิกัดตำแหน่งในแต่ละช่วงเวลาลง เพื่อสังเกตถึงการเปลี่ยนแปลง พบว่าเมื่อลดเวลาในการเก็บข้อมูลลง ทำให้การเปลี่ยนแปลงในแนวลองจิจูดลดลงด้วย ซึ่งอาจเกิดจากห้วงเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสั้นลง ทำให้ปัจจัยในเรื่องของการเคลื่อนที่ของดาวเทียมที่โคจรเปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลานั้นมีผลกระทบน้อยลงตามไปด้วย และจากการทดสอบครั้งที่ 3 จะเห็นว่า รูปแบบของตำแหน่งพิกัดมีความคล้ายคลึงกับการทดสอบครั้งที่ 1 แต่มีการรวมกลุ่มของตำแหน่งในแนวลองจิจูดมากขึ้น และในแต่ละช่วงเวลามีการเปลี่ยนแปลงในแนวละติจูด ที่มีการขยับลงทางด้านล่างมากขึ้น เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ช่วง 06.00 น. ถึง 18.00 น. จึงได้ทำการทดสอบครั้งที่ 4 ถัดไป

4.3.5 ผลการทดสอบครั้งที่ 4

การทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เป็นการทดสอบโดยกำหนดช่วงเวลา ตั้งแต่ 06.00 น. ถึง 18.00 น. โดยการทดสอบครั้งนี้จะทำการวัดทั้งหมด 79 ครั้ง แต่แต่ละครั้งต่างกัน 10 นาที

- 1) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 06.00 น.



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 06.00 น.

2) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 07.00 น.

รูปที่ 4.45 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 07.00 น.

3) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 08.00 น.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.46 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 08.00 น.

4) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 09.00 น.

รูปที่ 4.47 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 09.00 น.

5) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 10.00 น.



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 10.00 น.

6) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 11.00 น.



รูปที่ 4.49 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 11.00 น.

7) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 12.00 น.

รูปที่ 4.50 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 12.00 น.

8) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 13.00 น.

รูปที่ 4.51 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 13.00 น.

9) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 14.00 น.



รูปที่ 4.52 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 14.00 น.

10) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 15.00 น.

รูปที่ 4.53 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 15.00 น.

11) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 16.00 น.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.54 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 16.00 น.

12) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 17.00 น.

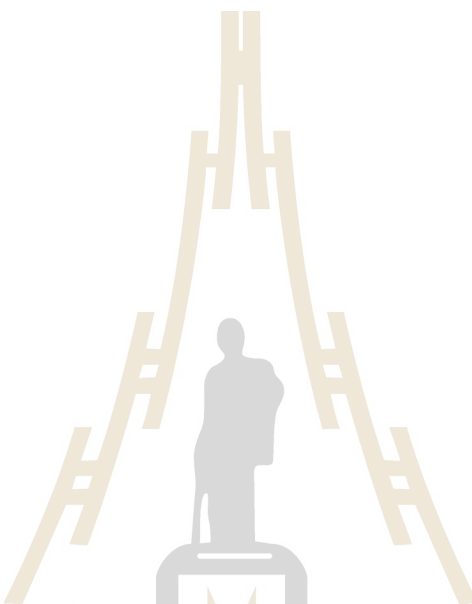
รูปที่ 4.55 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 17.00 น.

13) ผลการทดสอบครั้งที่ 4 วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 18.00 น.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.56 กราฟแสดงผลการทดสอบครั้งที่ 4 เวลา 18.00 น.

14) ผลการทดสอบรวมทั้งหมด วันที่ 28 สิงหาคม 2563



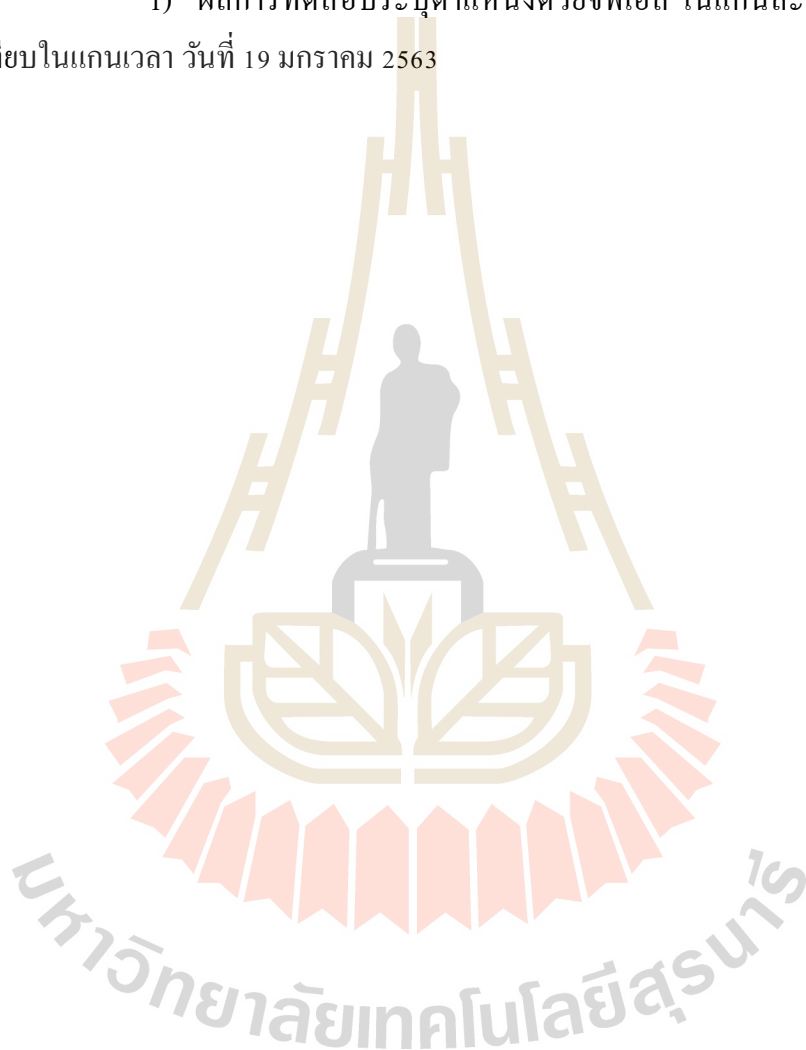
รูปที่ 4.57 กราฟแสดงผลการทดสอบรวมครั้งที่ 4

ในการทดสอบครั้งที่ 4 มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 12 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึงเวลา 19.00 น. เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการระบุตำแหน่งอย่างต่อเนื่องทางเวลา จากการทดสอบพบความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นคือ มีการเบี่ยงเบนในแนวตองจุดทางซ้าย ตำแหน่งตองจุดที่ 102.01440430 องศาวันออก มากขึ้นจากการทดสอบที่ผ่านมา และมีการรวมกลุ่มในแนวตองจุดคล้ายคลึงกับการทดสอบที่ 1 และ 2 และยังพบว่าที่เวลาช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน จะมีการระบุตำแหน่งใกล้เคียงกันด้วย

4.3.6 ผลการทดสอบเปรียบเทียบด้วยเวลา

จากการทดสอบทั้ง 4 ครั้งที่ผ่านมา จะพบว่าในช่วงเวลาที่ต่างกันในวัน และวันที่ทำการทดสอบที่ต่างกัน ทำให้การระบุพิกัดของจีพีเอสนั้นมีความคลาดเคลื่อนที่ต่างกัน นอกจากนี้หัวข้อที่ผ่านมาจะแสดงผลการทดสอบเชิงพิกัดตำแหน่งแล้ว ในหัวข้อนี้จะแสดงผลที่ได้เปรียบเทียบในเชิงเวลา ดังรูปที่ 4.58 ถึง 4.61

1) ผลการทดสอบระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส ในแกนละติจูดและลองจิจูด เปรียบเทียบในแกนเวลา วันที่ 19 มกราคม 2563



รูปที่ 4.58 กราฟแสดงผลการทดสอบเทียบเวลาครั้งที่ 1

ในการทดสอบครั้งที่ 1 เมื่อวิเคราะห์จากรูปที่ 4.58 จะเห็นว่า ช่วงเวลาที่มีความเปลี่ยนแปลงตำแหน่งทั้งในแนวละติจูดและแนวลองจิจูดน้อยที่สุด หรือมีกลุ่มของตำแหน่งใกล้เคียงกันที่สุด คือช่วงเวลา 15.00 น. และช่วงเวลา 18.00 น.

2) ผลการทดสอบระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส ในแกนละติจูดและลองจิจูด
เปรียบเทียบในแกนเวลา วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563



รูปที่ 4.59 กราฟแสดงผลการทดสอบเทียบเวลารั้งที่ 2

ในการทดสอบครั้งที่ 2 เมื่อวิเคราะห์จากรูปที่ 4.59 จะเห็นว่า ช่วงเวลาที่มีความเปลี่ยนแปลงตำแหน่งทั้งในแนวละติจูดและแนวลองจิจูดน้อยที่สุด หรือมีกลุ่มของตำแหน่งใกล้เคียงกันที่สุด คือช่วงเวลา 18.00 น.

3) ผลการทดสอบระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส ในแกนละติจูดและลองจิจูด
เปรียบเทียบในแกนเวลา วันที่ 19 เมษายน 2563



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงผลการทดสอบเทียบเวลาครั้งที่ 3

ในการทดสอบครั้งที่ 3 เมื่อวิเคราะห์จากรูปที่ 4.60 จะเห็นว่า ช่วงเวลาที่มีความเปลี่ยนแปลงตำแหน่งทั้งในแนวละติจูดและแนวลองจิจูดน้อยที่สุด หรือมีกลุ่มของตำแหน่งใกล้เคียงกันที่สุด คือช่วงเวลา 09.00 น.

4) ผลการทดสอบระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส ในแกนละติจูดและลองจิจูด
เปรียบเทียบในแกนเวลา วันที่ 28 สิงหาคม 2563



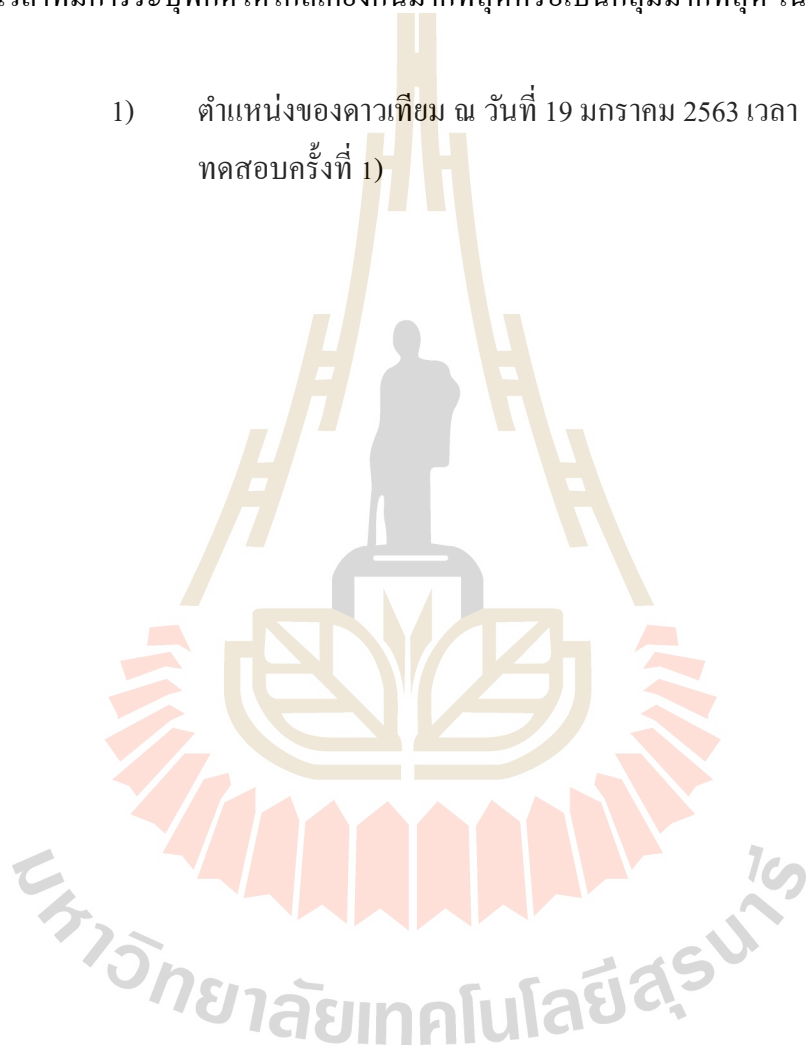
รูปที่ 4.61 กราฟแสดงผลการทดสอบเทียบเวลาครั้งที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบพิกัดตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดในเส้นแกนเวลา จะพบว่า ในการทดสอบครั้งที่ 1 2 และ 3 นั้นเป็นการทดสอบที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา ทำให้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่สามารถคาดการณ์ได้ เมื่อทำการทดสอบครั้งที่ 4 ซึ่งมีความต่อเนื่องกัน จะเห็นถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะต่อเนื่องกันในแนวละติจูด และจากการเก็บข้อมูลพิกัดที่มีการระบุตำแหน่งเดิมต่อเนื่องหลายครั้งที่ผ่านมา จะพบว่าช่วงเวลาที่เกิดความต่อเนื่องในการระบุพิกัดเดิมบ่อยครั้งที่สุดหรือเกิดจุดพิกัดซ้ำกันมากที่สุดคือช่วงเวลา 06.00 น. และ 18.00 น.

4.3.7 การวิเคราะห์ผลที่ได้

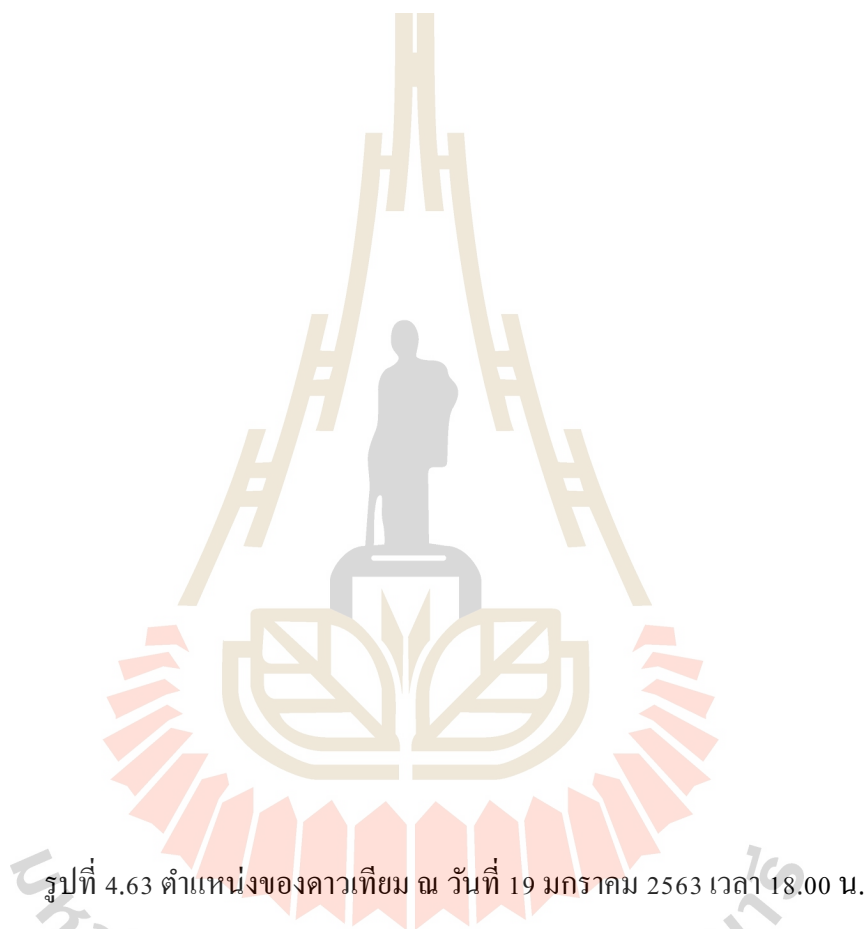
ในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลที่ได้ เปรียบเทียบกับปัจจัยต่าง ๆ ตามสมมติฐานข้างต้น โดยนำข้อมูลการประมาณการตำแหน่งของดาวเทียมจีพีเอสที่ได้จาก Two-Line Element Set หรือ TLEs โดยอ้างอิงจากข้อมูลกองบัญชาการป้องกันอากาศยานอเมริกาเหนือ (North American Aerospace Defense Command : NORAD) จากนั้นจะนำข้อมูลมาวิเคราะห์กับผลของช่วงเวลาที่มีการระบุพิกัดได้ใกล้เคียงกันมากที่สุดหรือเป็นกลุ่มมากที่สุด ในการทดสอบแต่ละครั้ง

- 1) ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 19 มกราคม 2563 เวลา 15.00 น. (การทดสอบครั้งที่ 1)



รูปที่ 4.62 ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 19 มกราคม 2563 เวลา 15.00 น.

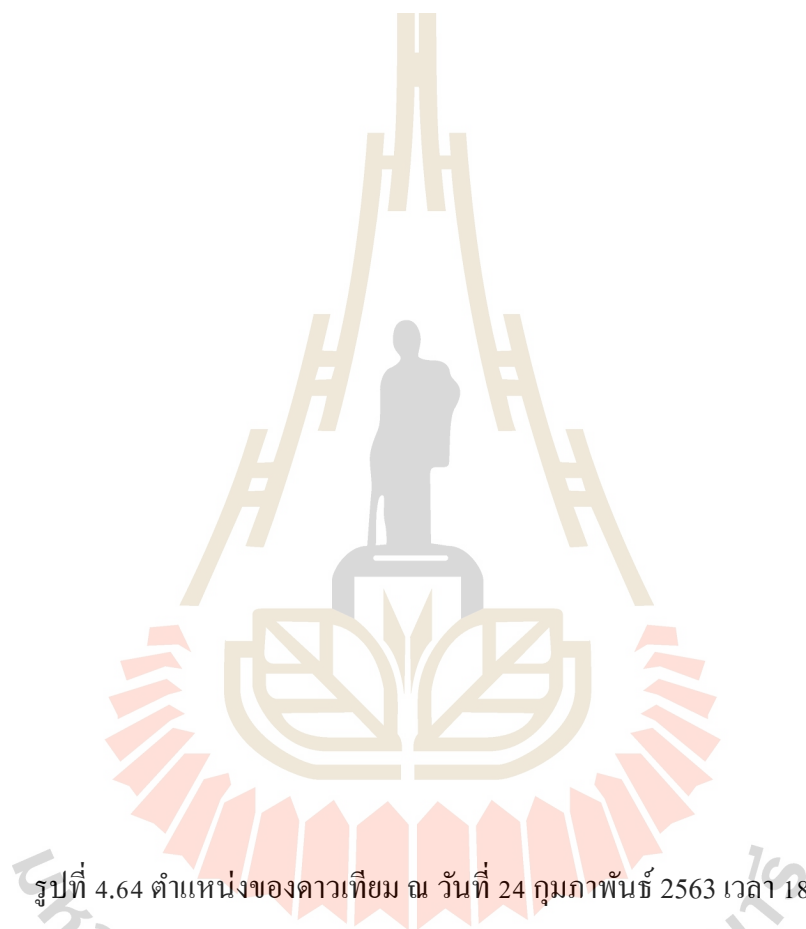
- 2) ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 19 มกราคม 2563 เวลา 18.00 น. (การทดสอบครั้งที่ 1)



รูปที่ 4.63 ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 19 มกราคม 2563 เวลา 18.00 น.

จากการทดสอบครั้งที่ 1 เมื่อเทียบผลที่ได้เข้ากับตำแหน่งของดาวเทียมในแต่ละช่วงเวลานั้น พบว่า ที่เวลา 15.00 น. และเวลา 18.00 น. สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้จำนวนมากที่สุด คือ 10 ดวง ที่เวลา 15.00 น. และ 9 ดวง ที่เวลา 18.00 น. ซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ของการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส ที่มีการรวมกลุ่มมากขึ้นกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ ในการทดสอบครั้งเดียวกัน

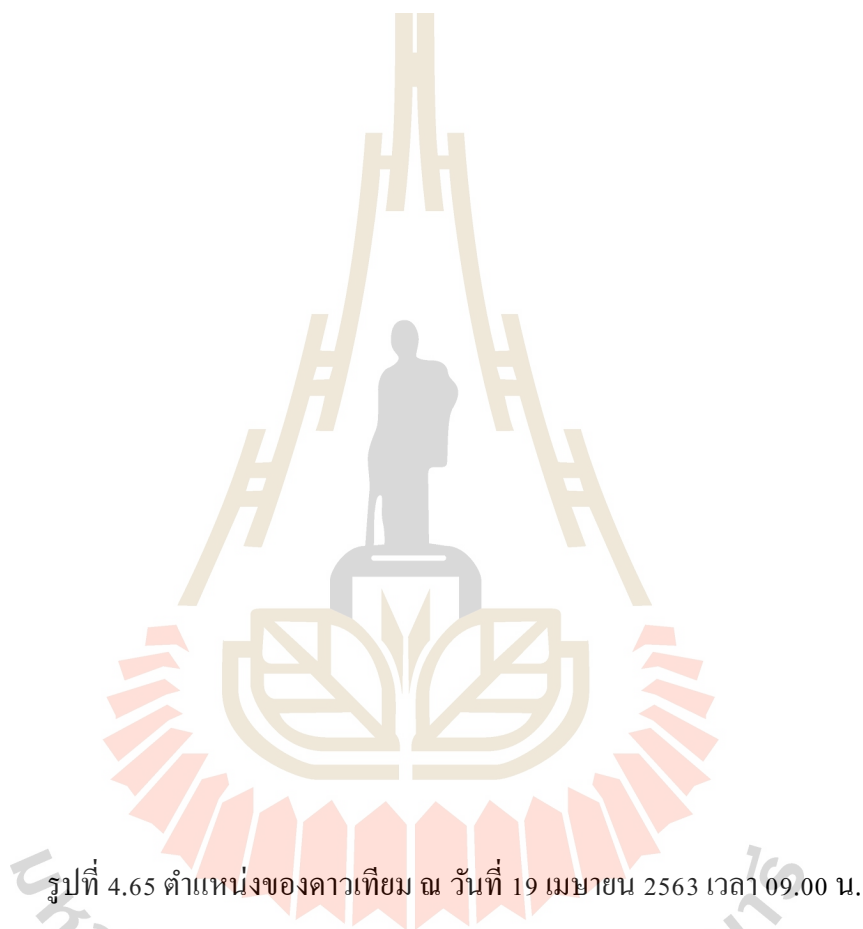
- 3) ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 เวลา 18.00 น. (การทดสอบครั้งที่ 2)



รูปที่ 4.64 ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563 เวลา 18.00 น.

จากการทดสอบครั้งที่ 2 เมื่อเทียบผลที่ได้เข้ากับตำแหน่งของดาวเทียมในแต่ละช่วงเวลานั้น พบว่า ที่เวลา 18.00 น. สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้จำนวนมากที่สุด คือ 11 ดวง และยังมีการกระจายตัวของดาวเทียมที่ล้อมรอบจุดรับสัญญาณอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ของการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส ที่มีการรวมกลุ่มมากขึ้นกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ ในการทดสอบครั้งเดียวกัน

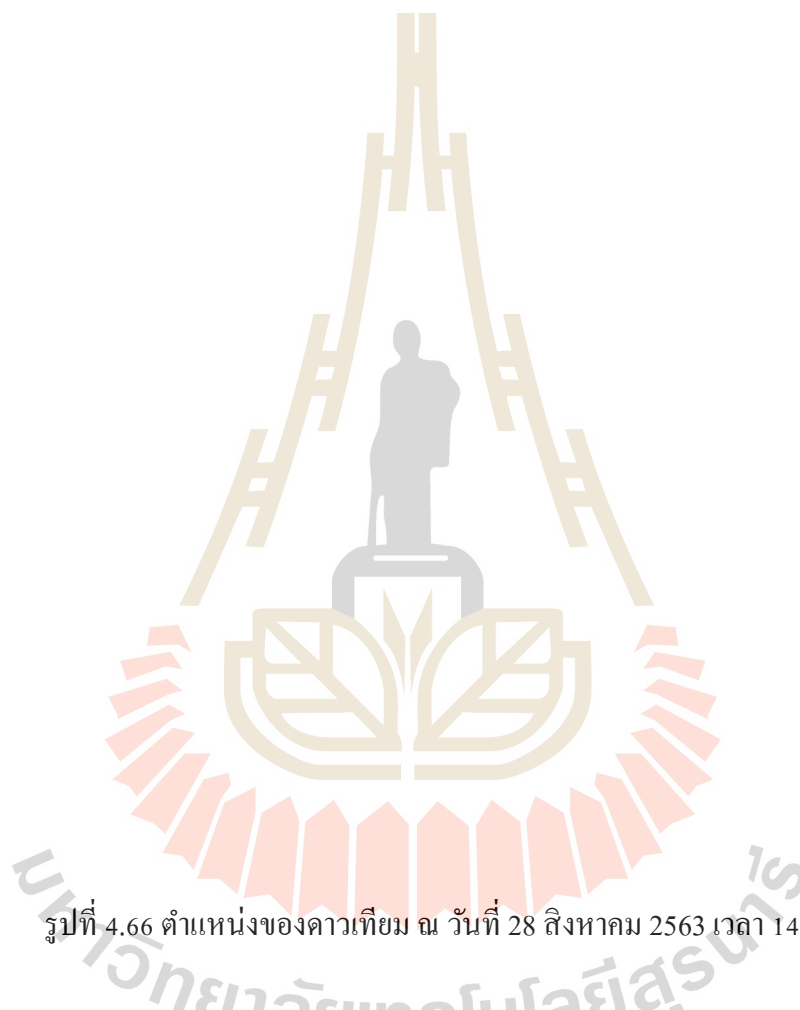
- 4) ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 19 เมษายน 2563 เวลา 09.00 น. (การทดสอบครั้งที่ 3)



รูปที่ 4.65 ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 19 เมษายน 2563 เวลา 09.00 น.

จากการทดสอบครั้งที่ 3 เมื่อเทียบผลที่ได้เข้ากับตำแหน่งของดาวเทียมในแต่ละช่วงเวลานั้น พบว่า ที่เวลา 09.00 น. มีผลลัพธ์ของการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอสที่มีการรวมกลุ่มมากขึ้นกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ แม้ว่าจะรับสัญญาณจากดาวเทียมได้จำนวนน้อยกว่า ทั้งนี้ เมื่อสังเกตการณ์วงตัวของดาวเทียม จะเห็นว่า ดาวเทียมมีการวางตัวล้อมรอบจุดรับสัญญาณเป็นอย่างดี และมีดาวเทียมหลายดวง ที่มีระยะห่างจากดาวเทียมไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณใกล้เคียงกันอีกด้วย

- 5) ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 14.00 น. (การทดสอบครั้งที่ 4)



รูปที่ 4.66 ตำแหน่งของดาวเทียม ณ วันที่ 28 สิงหาคม 2563 เวลา 14.00 น.

จากการทดสอบครั้งที่ 4 เมื่อเทียบผลที่ได้เข้ากับตำแหน่งของดาวเทียมในแต่ละช่วงเวลานั้น พบว่า ที่เวลา 14.00 น. สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้จำนวนมากที่สุด คือ 11 ดวง และยังมีการกระจายตัวของดาวเทียมที่ล้อมรอบจุดรับสัญญาณ ซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ของการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส ที่มีการรวมกลุ่มมากขึ้นกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ ในการทดสอบครั้งเดียวกัน

4.4 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอถึงการทดสอบระบบระบุตำแหน่งภายในถ้ำ ทั้งการทดสอบวัดความถูกต้องของเทคนิคที่ใช้ และการทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS ในการทดสอบวัดความถูกต้องของเทคนิคที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าเทคนิคที่ใช้มีความแม่นยำสูง และในการทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอสที่จะสามารถเลือกรับสัญญาณพิกัดตำแหน่งจากดาวเทียมในสถานการณ์ที่ดีที่สุด เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องที่สุด พบว่ามีปัจจัยที่เกิดจากการวางตัวของดาวเทียมที่มีส่วนสำคัญที่สุด ตำแหน่งของดาวเทียม ที่มีระยะทางจากดาวเทียมแต่ละดวงไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณใกล้เคียงกัน และมีการกระจายตัวล้อมรอบอุปกรณ์รับสัญญาณ จะสามารถระบุกลุ่มของตำแหน่งได้ใกล้เคียงกัน และอีกปัจจัยคือจำนวนของดาวเทียมที่สามารถมองเห็นได้ในขณะนั้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบ สร้างแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์คำนวณและทดสอบระบบระบุพิกัดภายในถ้ำด้วยเทคนิคซีออเดซี่ โดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นของระบบระบุตำแหน่งบนโลก เช่น หลักการ ข้อมูลทางเทคนิค ปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและข้อจำกัดของการระบุตำแหน่งภายในอาคาร เป็นต้น จากนั้นศึกษาเทคโนโลยีระบุตำแหน่งภายในอาคาร ศึกษาทฤษฎีการสำรวจทางซีออเดซี่ และศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส อุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์ อุปกรณ์ไจโรสโคปและเข็มทิศดิจิทัล ให้มีการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชิ้นร่วมกัน เพื่อใช้ในการคำนวณด้วยแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ ที่ใช้ทำงานบนอุปกรณ์คอมพิวเตอร์พกพา หลังจากนั้นทำการทดสอบระบบระบุพิกัดภายในถ้ำ โดยทดสอบการคำนวณตำแหน่งเป้าหมายที่ระยะทางและทิศทางที่ต่างกัน พบว่าเทคนิคที่ใช้มีความแม่นยำสูง โดยที่ระยะจากจุดอ้างอิงถึงจุดเป้าหมาย 100 เมตร นั้นมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากทฤษฎีพิกัดทรงกลมประมาณ 0.02 มิลลิเมตร และในการทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอสที่จะให้สามารถเลือกรับสัญญาณพิกัดตำแหน่งจากดาวเทียมในสถานการณ์ที่ดีที่สุด เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องที่สุด พบว่าจากการทดสอบทั้ง 4 ครั้ง ช่วงเวลาที่มีความแม่นยำตรงของอุปกรณ์จีพีเอส คือช่วงเวลา 06.00 น. และ 18.00 น. อีกทั้งจากปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่กล่าวมา ทั้งความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาบนดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาบนตัวอุปกรณ์เอง ความคลาดเคลื่อนจากวงโคจรของดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนจากการเดินทางของสัญญาณ และความคลาดเคลื่อนจากการวางตัวของดาวเทียม นั้นพบว่ามีปัจจัยที่เกิดจากการวางตัวของดาวเทียม นั้นมีส่วนสำคัญที่สุด จากการทดสอบพบว่า ตำแหน่งของดาวเทียม ที่มีระยะทางจากตัวดาวเทียมแต่ละดวงไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณใกล้เคียงกัน และมีการกระจายตัวล้อมรอบอุปกรณ์รับสัญญาณ จะสามารถระบุกลุ่มของตำแหน่งได้ใกล้เคียงกัน อีกส่วนหนึ่งที่สำคัญคือ จำนวนของดาวเทียมที่สามารถมองเห็นได้ในขณะนั้น หากมีจำนวนดาวเทียมที่สามารถมองเห็นได้สอดคล้องกับการวางตัวของดาวเทียม จะมีโอกาสระบุตำแหน่งได้ถูกต้องแตกต่างกัน โดยไม่จำเป็นต้องมีจำนวนดาวเทียมที่สามารถมองเห็นมากที่สุดเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะได้พิกัดอ้างอิงที่ใช้ในการบอกพิกัดภายในถ้ำได้ดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

จากการนำเสนอระบบระบุพิกัดตำแหน่งภายในถ้ำด้วยเทคนิคซีออเดซี่ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะคือ จากผลการทดสอบความแม่นยำโดยใช้เทคนิคทางซีออเดซี่และผลการทดสอบความแม่นยำตรงของอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส นั้นเป็นเพียงผลที่ได้จากการทดสอบบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเท่านั้น ถึงแม้ว่าการใช้งานระบบระบุพิกัดตำแหน่งภายในถ้ำด้วยเทคนิคซีออเดซี่ที่ได้ออกแบบไว้นั้น ไม่ได้นำไปทดสอบภายในสถานที่จริงหรือภายในถ้ำ แต่จากการทดสอบทั้งหมดนั้นสามารถวิเคราะห์และปรับปรุงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกิดจากการใช้เทคนิคนี้ ในการสำรวจถ้ำในอดีตได้ ผู้วิจัยหวังว่าแนวคิด วิธีการศึกษา การออกแบบ รวมไปถึงการวัดทดสอบและวิเคราะห์ผลจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์และแนวทางที่ดีแก่ผู้สนใจศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเทคนิคการสำรวจและบอกพิกัดตำแหน่งภายในถ้ำต่อไป

รายการอ้างอิง

- Andrei Drumea , Nicolae Irimie , Radu Bunea , and Alexandru Vasile. (2009). Communication module for laser rangefinder with integrated positioning system. **2009 15th International Symposium for Design and Technology of Electronics Packages (SIITME)**. Bucharest.
- Anum Hameed, and Hafiza Anisa Ahmed. (2018). Survey on indoor positioning applications based on different technologies. **2018 12th International Conference on Mathematics, Actuarial Science, Computer Science and Statistics (MACS)**. Pakistan.
- Elliott D. Kaplan, and Christopher J. Hegarty. (2006). **Understanding GPS: principles and applications**. United States of America: ARTECH HOUSE, INC.
- Li Lingmei, Lu Ruijun,, Li Yuanyao, and Liu Hongguang. (2019). Principle and verification of hand-held laser distance meter. **2019 14th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments**. Tianjin.
- Michael Geyer. (2 0 1 6). EARTH- REFERENCED AIRCRAFT NAVIGATION AND SURVEILLANCEANALYSIS. **Cambridge: Federal Aviation Administration**,Wake Turbulence Research Office.
- Puricer , P., and Kovar, P. (2007). Technical Limitations of GNSS Receivers in Indoor Positioning. **17th International Conference Radioelektronika**. Prague.
- William Walsh, and Jay Gao. (2018). Communications in a Cave Environment. **2018 IEEE Aerospace Conference**. California.
- Zhen-peng, A. , Hu-lin, S., and Jun, W. (2015). Classify and prospect of indoor positioning and indoor navigation. **2015 Fifth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control**. China.
- สุภสันต์ ชัยยะวงศ์. (2557). Accuracy Assessment of GPS/GLONASS/COMPASS in Single Point Positioning and Static Modes: Case Study in Bangkok Area. **วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**



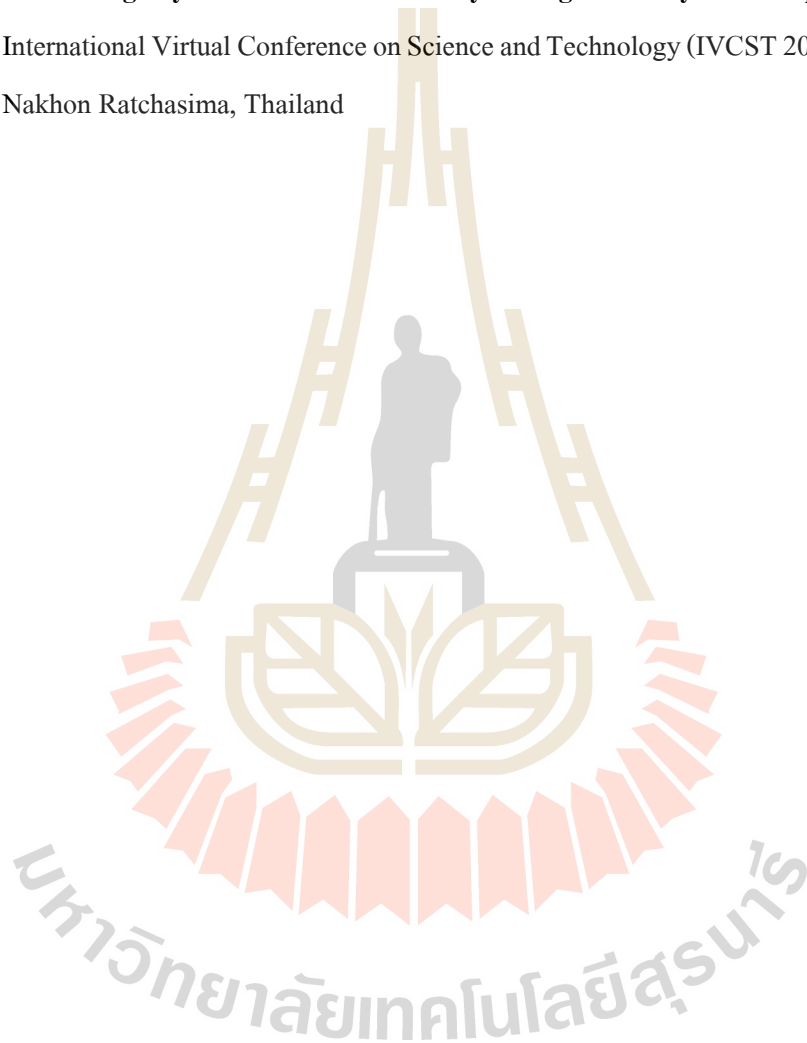
ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Atawit Juntaupalee, Rangsana Wongsan, Prayoth Kumsawat, and Arthit Srikaew “**A Design of The Positioning System in The Cave by Using Geodesy Technique**”, 2020 SUT International Virtual Conference on Science and Technology (IVCST 2020), August 2020, Nakhon Ratchasima, Thailand



EAT0045

A Design of The Positioning System in The Cave by Using Geodesy Technique

Atawit Juntaupalee^{1*}, Rangsan Wongsan¹, Prayoth Kumsawat¹, and Arthit Srikaew²

¹School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

²School of Electrical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

* Corresponding Author: m6113100@g.sut.ac.th

Abstract. The Global Positioning System (GPS) is a positioning technology that is currently used and continuously developed. The Global Positioning System commonly used in the open area, which has the most efficient than used inside the cave. Because of the high signal attenuation, which cannot specify the position inside the cave. The efficiency improvement of the GPS that used inside the cave can be achieved by applying the GPS with the other techniques. Geodesy technique is one of the methods that can calculate the latitude and longitude of the destination point by using the latitude and longitude of the reference position. Therefore, this research proposes a design of the positioning system in the cave by using the Geodesy Technique. Includes laser distance meter, GPS, compass digital and adds gyroscope used in calculations suitable for the landscape in the cave.

Keywords: Positioning System; Indoor Positioning; Cave Exploration

1. Introduction

Global Navigation System (GPS) is a technology commonly used, such as Air navigation aids, Autonomous vehicles, transportation, and military systems. GPS is a technology that provides information on the location of the receiver. The method of receiving coordinates and time, calculated from the frequency of clock signal sent from the position of satellites orbiting the earth [1]. When operating inside a cave obstructed by the line of sight between the satellite and the receiver. Will result in unable to tell the coordinates Therefore having to apply other technologies to apply.

Many technologies have been used to locate indoors, such as Radio frequency, WLAN, Infrared, Bluetooth, and High Sensitivity GNSS. However, the limitation of the environment inside the cave has a length from entrance several kilometers. Will not be able to receive signals from GPS, resulting in these technologies unable to determine the reference coordinates. Also, the cave's internal environment unsuitable for install devices such as installing Access points, Bluetooth devices, and installing wide-band transmitters [2-3].

This paper proposes a design of the positioning system in the cave by using the Geodesy Technique. By using a handheld laser distance meter, GPS and compass digital to determine distance

and direction. However, if using only the Geodesy technique is not enough [4][5]. Because this technique does not regard the topography of the cave, such as the slope, cliff, and hills, this research has and adds gyroscope used in calculations suitable for the landscape in the cave.

2. Geodesy Technique

Geodesy is a science that discusses the study of the shape and size of the earth. The earth's surface consists of 3 types of surfaces shown in figure 1. First, the topographic surface is a real physical surface on the earth's surface, such as the ground part and the water surface. The surveyor will conduct on this surface, but this surface has no exact pattern. Therefore, it cannot be used in general mathematical calculations. Next, the geoid is a surface with equal gravitational potential everywhere. It can say that the size and surface are the closest to the surface of the average sea level. Because the density of the material under the surface of the earth is not equal, geoid has an uneven surface shape. Last, spheroid or ellipsoid is caused by rotation around the polar axis according to the rotation characteristics of the world. The ellipsoid is similar to the morphology of the world with collapse at the polar regions.

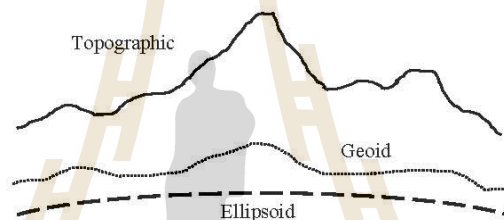


Figure 1. Schematic relationship between ellipsoid, geoid, and topographic surfaces.

This technique can calculate coordinates on the surface of the earth. Consider two points (figure 2): Point A (latitude φ_1 and longitude λ_1) and point B (latitude φ_2 and longitude λ_2), which has the distance (d) and direction (azimuths α_1) will be able to calculate the coordinates at point B. This method is the direct geodesic problem. Nevertheless, this method is suitable for use at the same altitude. However, when operating on topographic conditions, altitude and tilt angles must be calculated.

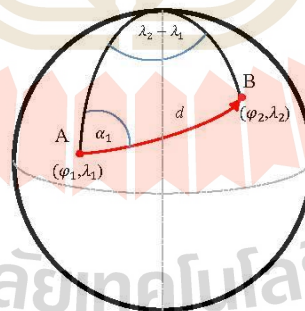


Figure 2. The direct geodesic problem on an ellipsoid.

From [5-6] can be expressed equation for calculated the earth's radius each latitude as in equation (1)

$$R_e(\varphi) = \sqrt{\frac{(a^2 \cos \varphi)^2 + (b^2 \sin \varphi)^2}{(a \cos \varphi)^2 + (b \sin \varphi)^2}} \quad (1)$$

Where φ is latitude, R_e is earth's radius, a is semi-major axis of the earth (km) and b is semi-minor axis of the earth (km)

Also, [6] can be expressed equation for calculated latitude (φ_2) and longitude (λ_2) at point B (figure 2) from a distance (d) and azimuths (α_1) as in equation (2) and (3).

$$\varphi_2 = \sin^{-1} \left(\sin(\varphi_1) \cos \left(\frac{d(\cos \theta)}{R_e} \right) + \cos(\varphi_1) \sin \left(\frac{d(\cos \theta)}{R_e} \right) \cos(\alpha_1) \right) \quad (2)$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \tan^{-1} \left(\frac{\sin \alpha_1 \sin \left(\frac{d(\cos \theta)}{R_e} \right) \cos \varphi_1}{\cos \left(\frac{d(\cos \theta)}{R_e} \right) - \sin \varphi_1 \sin \varphi_2} \right) \quad (3)$$

Where φ_1 is latitude at point A (radian), λ_1 is longitude at point A (radian), d is distance from A to B (meter), θ is tilt angle between A and B (degree) and α_1 is azimuth between A and B (radian)

3. Methodology

3.1. Equipment Design

In a design of the positioning system in the cave. Consists of a compact device for ease of movement inside the cave, such as handheld laser distance meter, digital compass, digital gyroscope, and GPS receiver. These coordinates can be received at the cave entrance and will be calculated first. After that, all devices will send the data to calculate in the program, as shown in figure 3.

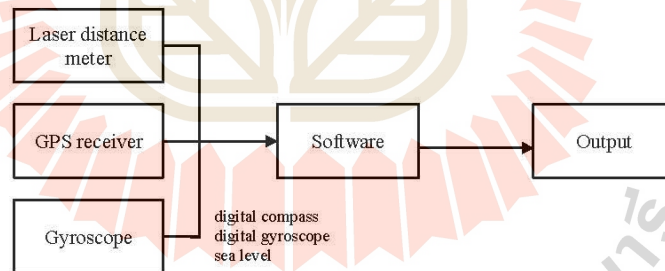


Figure 3. Structure of the positioning system in the cave.

The program that is designed will use the obtained data to calculate with the direct geodesic problem technique. The example of the program is shown in figure 4. It consists of 3 part-First, data of reference point (Point A). Next, data from handheld laser distance meter, digital compass, and digital gyroscope. Last, the result is the latitude and longitude coordinates of the target (point B), in the form of coordinates.



Figure 4. Main window software of the positioning system in the cave.

3.2. Method of Work

The working principle of the positioning system in the cave starts from receiving the position coordinates in the point where GPS signals can be received. This point will be the reference point for the first calculation and must be the most accurate value for accuracy in the next calculation. Then set the desired target. The data from all devices will send both distance, tilt angles, altitude, and direction to be used in calculations with the program. The program will calculate the target coordinates. It can be shown in figure 5.

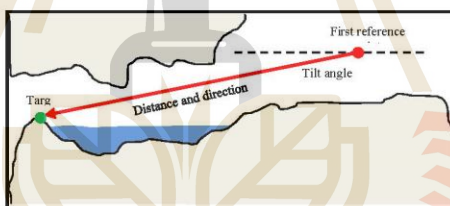


Figure 5. The working principle in side view.

After that, the Target coordinates calculated from the program Will be used as reference coordinates in calculating the next point. As shown in figure 6.

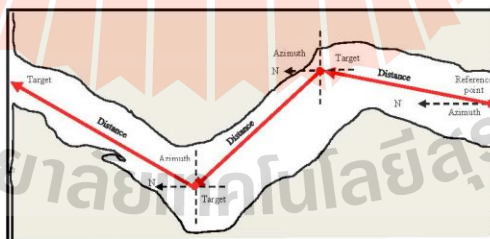


Figure 6. The working principle in top view.

4. Positioning Results

This test is a preliminary test of accuracy by testing in the Suranaree University of Technology sample area. The coordinates reference at 14.8735323 °N and 102.019043 °E—test by specifying the target point with distance and direction from the reference point. The direction is 0°, 90°, 180°, and 270°. Specify the distance in each direction, 100 meters divided into 50 points, 2 meters apart. By comparison to positioning with a GPS receiver and Geodesy Technique.

In Fig. 7 to 8, the graph shows the comparison between the calculated results and the measurement results in direction 0° and 180°. To verify the accuracy of the calculations in the longitude, longitude results should be the same coordinates in the same longitude line.

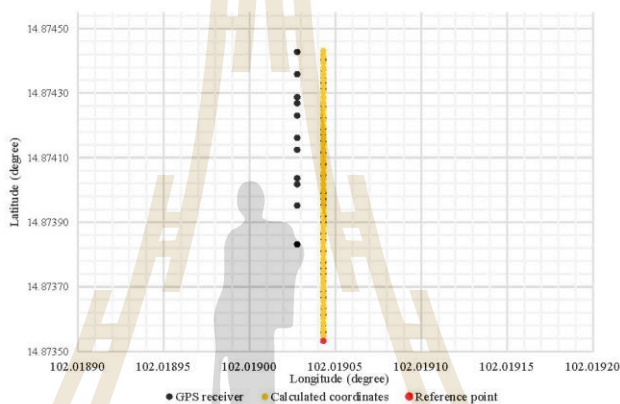


Figure 7. Positioning results in direction 0°.

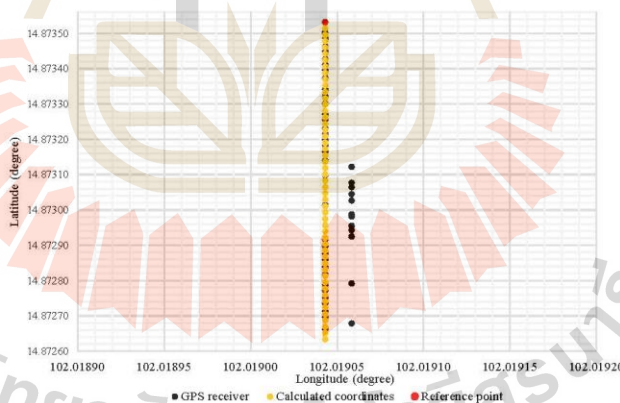


Figure 8. Positioning results in direction 180°.

As well in Fig. 9 to 10, the graph shows the comparison between the calculated results and the measurement results in direction 90° and 270°. To verify the accuracy of the calculations in the latitude, latitude results should be the same coordinates in the same latitude line.

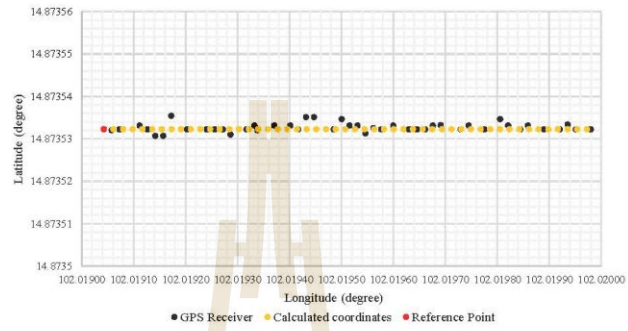


Figure 9. Positioning results in direction 90°.

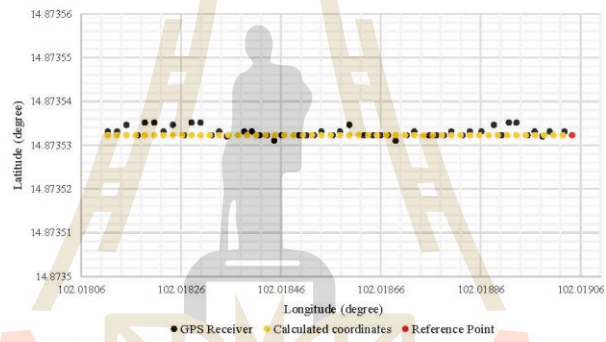


Figure 10. Positioning results in direction 270°.

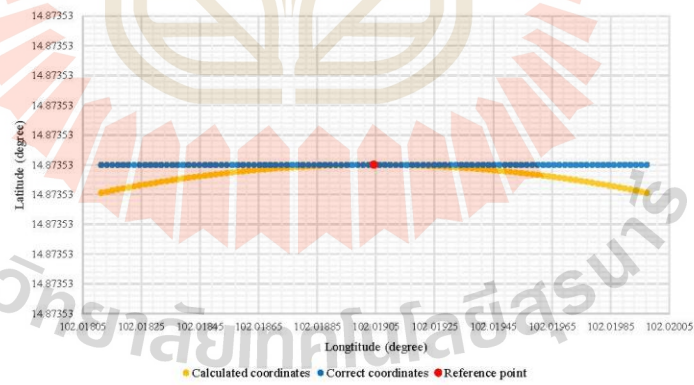


Figure 11. Positioning results comparing the correct coordinates in direction 90° and 270°.

5. Conclusion

In this paper, a design of the positioning system in the cave by using the Geodesy Technique is proposed. Consists of handheld laser distance meter, digital compass, digital gyroscope, and GPS receiver. By calculating the position with a program designed. After that, the test accuracy is compared to positioning with a GPS receiver and calculated by the Geodesy Technique in the sample area. The result is that first, the results of The GPS receiver and the calculations were similar but there may be an error from the GPS. Then from the calculated results is no error in the longitude calculation, but the error is found in the latitudes as shown in figure 11. At 100 meters, the error is approximately 0.2 millimeters.

6. Future Work

Future work on the positioning system in the cave by using the Geodesy Technique. The first challenge is the accuracy of the reference coordinate. The first time to get a location from GPS is important. If there is a discrepancy in the first position, then the next position will cause a discrepancy. Therefore, the position at the reference point must be adjusted to the highest accuracy. Once accuracy has been increased will lead to the real test inside the cave.

Acknowledgment

This research was supported by the Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.

References

- [1] Kaplan, Elliott, and Christopher Hegarty 2005 *Understanding GPS: principles and applications* (Boston: Artech house)
- [2] Hameed, Anum, and Hafiza Anisa Ahmed. *Survey on indoor positioning applications based on different technologies*. In: 2018 12th International Conference on Mathematics, Actuarial Science, Computer Science and Statistics (MACS). IEEE, 2018. p. 1-5.
- [3] Zhen-Peng, An, Sui Hu-Lin, and Wang Jun. *Classify and prospect of indoor positioning and indoor navigation*. In: 2015 Fifth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC). IEEE, 2015. p. 1893-1897.
- [4] Drumea, Andrei, et al. *Communication module for laser rangefinder with integrated positioning system*. In: 2009 15th International Symposium for Design and Technology of Electronics Packages (SIITME). IEEE, 2009. p. 301-304.
- [5] Sineglazov, Victor, and Vitaliy Ischenko. *Intelligent system for visual navigation*. In: 2016 4th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). IEEE, 2016. p. 7-11.
- [6] Geyer, M 2016 *Earth-Referenced Aircraft Navigation and Surveillance Analysis* (No. DOT-VNTSC-FAA-16-12). John A. Volpe National Transportation Systems Center (US).

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายอรรถวิท จันทอุปสี เกิดเมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540 ที่จังหวัดนนทบุรี และได้เริ่มศึกษาชั้นประถมที่โรงเรียนอนุราชประสิทธิ์ จังหวัดนนทบุรี ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4-6 ที่โรงเรียนบ้านปากช่อง (ครูสามัคคี 1) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนปากช่อง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2557 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ด้วยเกรดเฉลี่ย 3.69 (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) ในปีการศึกษา 2561 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ด้วยทุนเรียนดีระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี