



ระบบระบุตำแหน่งความแม่นยำสูง

Real-time kinematic Global Navigation Satellite System

นายณรงค์เดช นิ่มสุวรรณ รหัส 59361317

นายปฏิภาณ ตาอินทร์ รหัส 59362970

นายวายุภักซ์ ธีวพงษ์ รหัส 59365117

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2562



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ	ระบบระบุตำแหน่งความแม่นยำสูง
ผู้ดำเนินโครงการ	นายณรงค์เดช นิ่มสุวรรณ รหัส 59361317
	นายปฏิภาณ ตาอินทร์ รหัส 59362970
	นายวายุภักษ์ ธวัชวงษ์ รหัส 59365117
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2562



.....ที่ปรึกษาโครงการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ )



.....กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว )



.....กรรมการ

( ดร. ปองพันธ์ โอทกานนท์ )

ชื่อหัวข้อโครงการ	ระบบระบุตำแหน่งความแม่นยำสูง		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายณรงค์เดช	นันทสุวรรณ	รหัส 59361317
	นายปฏิภาณ	ตาอินทร์	รหัส 59362970
	นายวายุภักษ์	ธวัชวงษ์	รหัส 59365117
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2562		

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบระบุตำแหน่งเพื่อให้ความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยจะทำการเก็บค่าพิกัดจาก GPS ในรูปแบบ Latitude และ Longitude ซึ่งจะรับและแสดงค่าพิกัดผ่านตัวอุปกรณ์ M5Stack Esp32 จำนวน 2 ตัว

โครงการนี้ทำโดยดำเนินการทดลอง 4 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 เป็นการทดลองรับค่าแบบอุปกรณ์อยู่นิ่งกับที่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 2 เป็นการทดลองรับค่าแบบอุปกรณ์อยู่นิ่งผ่านการเชื่อมต่อกับ Cloud MQTT เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 3 เป็นการทดลองรับค่าแบบอุปกรณ์อยู่นิ่งและห่างกัน 5 เมตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และครั้งที่ 4 เป็นการทดลองรับค่าแบบอุปกรณ์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรง ในขณะที่สภาพอากาศปลอดโปร่งตลอดทั้งวัน แล้วนำค่าพิกัดที่เก็บได้ในแต่ละครั้งไปวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบความแม่นยำ

ผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความแม่นยำของการอ่านค่าพิกัด GPS แบบ Real time kinematic Global Navigation Satellite System หรือ RTK-GNSS ในขณะที่อยู่นิ่งและเคลื่อนที่ที่สามารถช่วยเพิ่มความแม่นยำในการอ่านค่าพิกัด GPS ได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากยิ่งขึ้นทั้งในแบบขณะอยู่นิ่งและเคลื่อนที่

<b>Project title</b>	Real-time kinematic Global Navigation Satellite System	
<b>Name</b>	Mr. Narongdech Nimsuwan	ID. 59361317
	Mr. Patiphan Ta-In	ID. 59362970
	Mr. Wayupak Thawatwong	ID. 59365117
<b>Project advisor</b>	Assistant Professor Choopong chuaypen	
<b>Major</b>	Mechanical Engineering	
<b>Department</b>	Mechanical Engineering	
<b>Academic year</b>	2019	

---

### Abstract

The purpose of this project was to examine and develop a positioning system for greater accuracy. The GPS coordinates will be collected in the form of Latitude and Longitude by using 2 items of M5Stack Esp32 device. These devices will receive and display GPS coordinates.

This researcher was experiment for 4 times for the purpose of receive GPS coordinates. For the first time of experiment is devices were placed nearby stationary for 24 hours. Second time of experiment is devices were placed nearby stationary and connected via Cloud MQTT for 2 hours. Third time of experiment is device were placed stationary for 5 meters apart for 12 hours and the last time of experiment is devices were moved in straight-lined and not straight-lined form while the weather is clearing up. Thereupon, analyze the GPS coordinates that receive at each time of experiment in order to verify the accuracy.

The research findings indicated that increasing the accuracy of Real-time kinematic Global Navigation Satellite System (RTK-GNSS) causes the GPS coordinates reading are more effective which the GPS coordinates received that are close to the actual GPS coordinates both in case of the devices were placed stationary and moved.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ของผู้เขียนได้นั้น ผู้เขียนขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด และชี้แนะความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว และ ดร.ปองพันธ์ โททกานนท์

ขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเพื่อสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ได้อบรมเลี้ยงดู และคอยสนับสนุนให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือ ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้อย่างสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายณรงค์เดช นิ่มสุวรรณ

นายปฏิภาณ ตาอินทร์

นายวายุภักษ์ ธีวียงษ์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
สัญลักษณ์และอักษรย่อ	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 แผนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน	4
1.6 งบประมาณที่ใช้	4
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ระบบระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม	5
2.2 แผนที่และการอ่านค่าในแผนที่	9
2.3 การแปลงค่าพิกัด GPS	14
2.4 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)	15
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ Arduino platform	16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน</b>	
3.1 การพัฒนาระบบของเครื่องรับค่าพิกัด GPS และวิเคราะห์การทำงาน	24
3.2 หลักการในการรับค่าพิกัด GPS	26
3.3 การทำการทดสอบรับค่าพิกัด GPS	27
3.4 การทดสอบความเที่ยงตรงในการรับค่าพิกัด GPS	34

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผล</b>	
4.1 การทดสอบความแม่นยำในการรับค่าพิกัด GPS	35
4.2 การทดสอบความแม่นยำโดยการวางตัวรับสัญญาณไว้ห่างกัน	39
4.3 การทดสอบการเพิ่มความแม่นยำให้กับตัวรับสัญญาณที่วางไว้ห่างกัน	41
4.4 การทดสอบการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง	44
4.5 การทดสอบการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่	47
4.6 การทดสอบการเพิ่มความแม่นยำของค่าพิกัดผ่าน Cloud MQTT	49
<b>บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน</b>	52
<b>แหล่งอ้างอิง</b>	54



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
1.1	แผนการดำเนินงาน	3
3.1	ตรวจสอบหาค่า error ของค่าที่อ่านได้	34
3.2	หาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่า SD ของค่า error ในตาราง 3.1	34





## สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 ดาวเทียม GPS (Navstar)	5
2.2 ละติจูด และลองจิจูด	11
2.3 เส้นละติจูด (Latitude)	12
2.4 เส้นละติจูด	13
2.5 Broker, Publisher และ Subscriber	15
2.6 บอร์ด Arduino UNO R3	17
2.7 M5stack basic	18
2.8 Module GPS	19
2.9 NEO M8N	20
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินโครงการ	25
3.2 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเก็บข้อมูล	26
3.3 แผนผังการดำเนินโครงการ	27
3.4 เก็บค่าพิกัด GPS 24 ชั่วโมง	28
3.5 ติดตั้งตัว M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัวไว้ที่หมุดบอกรับค่าพิกัดของคณะเกษตรศาสตร์	29
3.6 รูปแบบการทำงานของ M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัว	29
3.7 แผนการทำงานของเครื่องรับค่าพิกัด GPS ผ่าน Cloud MQTT	30
3.8 การติดตั้งตัว M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัว ให้มีระยะห่างกัน 5 เมตร	31
3.9 การเก็บค่าพิกัดจากการเคลื่อนที่โดยการเดิน	32
3.10 การเก็บค่าพิกัดจากการเคลื่อนที่โดยรถจักรยานยนต์	33
4.1 การรับค่าสัญญาณละติจูดของตัวรับสัญญาณ GPS1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	35
4.2 การรับค่าสัญญาณละติจูดของตัวรับสัญญาณ GPS2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	36
4.3 การรับค่าสัญญาณลองจิจูดของตัวรับสัญญาณ GPS1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	36
4.4 การรับค่าสัญญาณลองจิจูดของตัวรับสัญญาณ GPS2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	37
4.5 ผลการทดสอบของค่าละติจูดหลังนำมารวมกับค่าความคลาดเคลื่อน GPS1	38
4.6 ผลการทดสอบของค่าลองจิจูดหลังนำมารวมกับค่าความคลาดเคลื่อน GPS2	38
4.7 การทดสอบหาระยะห่างที่ห่างออกทางทิศตะวันออก 5 เมตร	39
4.8 การทดสอบหาระยะห่างที่ห่างออกทางทิศใต้ 5 เมตร	40
4.9 การทดสอบหาระยะห่างที่ห่างออกทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 5 เมตร	40

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.10	ผลการทดลองการเพิ่มความแม่นยำของค่าที่ห่างออกทางทิศตะวันออก 5 เมตร	41
4.11	ผลการทดลองการเพิ่มความแม่นยำของค่าที่ห่างออกทางทิศใต้ 5 เมตร	42
4.12	ผลการทดลองการเพิ่มความแม่นยำของค่าที่ห่างออกทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 5 เมตร	43
4.13	ผลการทดลองการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงรอบที่ 1	44
4.14	ผลการเพิ่มความแม่นยำของค่าพิกัดการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงรอบที่ 1	44
4.15	ผลการทดลองการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงรอบที่ 2	45
4.16	ผลการเพิ่มความแม่นยำของค่าพิกัดการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงรอบที่ 2	45
4.17	ผลการทดลองการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงรอบที่ 3	46
4.18	ผลการเพิ่มความแม่นยำของค่าพิกัดการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงรอบที่ 3	46
4.19	ผลการทดลองการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่รอบที่ 1	47
4.20	ผลการทดลองการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่รอบที่ 2	47
4.21	ผลการทดลองการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่รอบที่ 3	48
4.22	การอ่านค่าสัญญาณละติจูดแบบปกติ	49
4.23	การอ่านค่าสัญญาณละติจูดแบบผ่าน Cloud MQTT	49
4.24	การอ่านค่าสัญญาณลองจิจูดแบบปกติ	50
4.25	การอ่านค่าสัญญาณลองจิจูดแบบผ่าน Cloud MQTT	50

## สัญลักษณ์และอักษรย่อ

GPS	Global Positioning System
RTK	Real Time Kinematic
GNSS	Global Navigation Satellite System
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
GPIO	General Purpose Input/Output



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันการเดินทางด้วยยานพาหนะมีการพัฒนาควบคู่ไปกับเทคโนโลยีสมัยใหม่หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นการขับเคลื่อนอัตโนมัติ การขับเคลื่อนระยะไกลแบบระบบเรียลไทม์ และระบบนำทางหรือระบบติดตามเพื่อให้ไปถึงเป้าหมาย โดยการเดินทางเหล่านี้ถูกเพิ่มประสิทธิภาพด้วยระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก Global Positioning System (GPS) ซึ่งมีบทบาทอย่างมากในการดำเนินชีวิตในยุคที่มีดิจิทัลและอินเทอร์เน็ตไร้สาย ผู้คนสามารถเข้าถึงสถานที่ต่างๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็วมาก ด้วยเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งในปัจจุบันทำให้การเดินทางสะดวกสบายและปลอดภัย ดังนั้น GPS จึงมีประโยชน์อย่างมากหากเดินทางไปยังที่ที่ไม่คุ้นเคยหรือต้องการกำหนดจุดหมายปลายทาง

ระบบนำทางด้วยดาวเทียมที่ทั่วโลกเรียกกันว่า Global Navigation Satellite System (GNSS) และ GNSS ประกอบไปด้วยระบบดาวเทียม GPS เป็นระบบดาวเทียมเป็นของประเทศสหรัฐอเมริกา Glonass เป็นระบบดาวเทียมของประเทศรัสเซีย และ Galileo เป็นระบบดาวเทียมของประเทศยุโรปและนอกจากนี้ก็มีของจีนและญี่ปุ่นอีกด้วยซึ่งหน้าที่ของ GNSS คือ การให้ข้อมูลพิกัดบนโลกโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณเพื่อคำนวณและแสดงพิกัดตำแหน่ง ณ จุดที่ตัวรับสัญญาณตั้งอยู่ ประโยชน์ของ GNSS คือใช้ในการนำทาง การระบุตำแหน่ง หรืองานที่ต้องการความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งสูง เช่น งานสำรวจ งานทำแผนที่ หรืองานออกแบบทางด้านวิศวกรรม แต่นอกจากนั้นคือการประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ และด้วยความหลากหลายของ GNSS จึงถูกนำไปใช้งานร่วมกับระบบ RTK (Real Time Kinematic) ซึ่งเป็นสถานีภาคพื้นดินหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์ได้ค่าพิกัดการวัดทันที ณ เวลาทำการรังวัดซึ่งมีตำแหน่งคงที่ โดยมีเครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องหนึ่งจะถูกวางไว้ในตำแหน่งที่รู้ค่าแน่นอนตลอดเวลาเป็นสถานีหลัก (Base station) ส่วนเครื่องรับที่สองคือสถานีเคลื่อนที่ (Rover station) จะนำไปวางไว้บนตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าพิกัดซึ่งระดับความแม่นยำของการระบุตำแหน่งด้วยสัญญาณดาวเทียมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สภาพอากาศ คุณภาพของเครื่องรับสัญญาณถ้าใช้งานในสภาพอากาศเปิดไม่มีสิ่งกีดขวาง แต่หากใช้ในบริเวณอาคารอาจทำให้ระดับความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น

ระบบ Real-time kinematic Global Navigation Satellite System (RTK-GNSS) คือเทคโนโลยีการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ที่สามารถให้ผลลัพธ์ค่าพิกัดได้ทันทีและค่าพิกัดที่ได้จะมีค่าความแม่นยำสูง และค่าพิกัดมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันทั้งระบบโดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบจลน์รับสัญญาณดาวเทียมนำทางในระบบ GNSS นอกจากนี้ RTK-GNSS ถูกนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ เช่น ระบบการคมนาคมการขนส่ง การสำรวจเพื่อการก่อสร้าง การทำเกษตรอัจฉริยะ การติดตามการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก และการติดตามสภาพอากาศ

ทั้งนี้เนื่องจากระบบ RTK-GNSS เมื่อนำเข้าจากต่างประเทศ ระบบและซอฟต์แวร์และข้อมูลโดยรวมจะมีมูลค่าสูง และด้วยเทคโนโลยีทางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีเพิ่มมากขึ้นและราคาที่ถูกลงทางคณะผู้ดำเนินโครงการจึงมีความสนใจที่พัฒนาระบบ RTK-GNSS โดยใช้อุปกรณ์ในประเทศที่มีราคาไม่สูงมาก เพื่อที่จะทำและสร้างเทคนิค การพัฒนาระบบให้มีความแม่นยำสูงที่สุดที่ทำได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบ RTK-GNSS และการประยุกต์ใช้งาน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบ RTK-GNSS โดยใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาขีดจำกัดของระบบที่ได้ออกแบบตาม 1.2.2
- 1.2.4 พัฒนาระบบการหรือเทคนิคเพื่อใช้เพิ่มความแม่นยำของระบบที่ออกแบบ 1.2.2

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาการทำงานของระบบ RTK-GNSS
- 1.3.2 ออกแบบระบบและโครงสร้างของ RTK GNSS ขั้นพื้นฐาน เพื่อใช้กับระบบสื่อสารผ่าน WIFI
- 1.3.3 ออกแบบซอฟต์แวร์การทำงานและการใช้งานตัวระบบ RTK-GNSS เพื่อใช้ในระบุตำแหน่งความแม่นยำสูง
- 1.3.4 สร้างตัวอย่างระบบประยุกต์การใช้งานระบบ RTK-GNSS เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งความแม่นยำสูง

## 1.4 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ลำดับ	กิจกรรม	2562					2563			ตัวชี้วัด
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
1	ศึกษาทฤษฎีรวมถึงรายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง									-รวบรวมข้อมูล -จัดทำรูปเล่ม รายงาน
2	ออกแบบและพัฒนา ระบบระบุตำแหน่ง ความแม่นยำสูง									-จัดทำชิ้นงาน
3	ทดสอบ และ ประเมินผล ประสิทธิภาพของ ระบบ									-ทดสอบตัวชิ้นงาน -เพิ่มประสิทธิภาพ ของชิ้นงาน
4	วิเคราะห์และสรุปผล การดำเนินงาน									-วิเคราะห์การทำงาน ของชิ้นงาน
5	สร้างตัวอย่างระบบ ประยุกต์การใช้งาน									-สร้างตัวอย่างและ วิธีการนำระบบไปใช้ งานจริง
6	จัดทำรูปเล่มและ นำเสนอโครงการ									-จัดทำรูปเล่ม รายงาน -นำเสนอโครงการ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1.5.1 สามารถกำหนดพิกัดของสถานที่ต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ
- 1.5.2 ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้ง่ายและมีประโยชน์สูง
- 1.5.3 ผลการดำเนินโครงการนี้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งความแม่นยำสูง

## 1.6 งบประมาณที่ใช้

- |       |                         |       |                |
|-------|-------------------------|-------|----------------|
| 1.6.1 | ตัว M5Stack esp32       | 2 ตัว | ราคา 3,500 บาท |
| 1.6.2 | แบตเตอรี่ M5Stack esp32 | 2 ตัว | ราคา 900 บาท   |
| 1.6.3 | สาย USB Type C          | 1 สาย | ราคา 60 บาท    |
| 1.6.4 | บอร์ด M5Stack 2 บอร์ด   | 2 ตัว | ราคา 1,800 บาท |
| 1.6.5 | เสาสัญญาณ 2             | 2 เสา | ราคา 1,800 บาท |



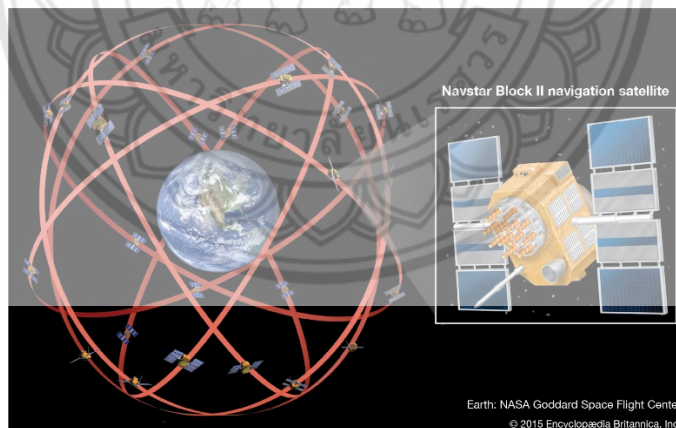
## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม

Real Time Kinematic (RTK) เป็นระบบการระบุตำแหน่งของดาวเทียมใช้เพื่อความแม่นยำของตำแหน่งที่ได้ระบุจากระบบระบุตำแหน่งผ่านดาวเทียม (Global Navigation Satellite System: GNSS) เช่น GPS, GLONASS, Galileo, Beidou และ QZSS เป็นต้น

GPS คือ ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกย่อมาจากคำว่า Global Positioning System ซึ่งระบบ GPS ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนอวกาศ ประกอบด้วยเครือข่ายดาวเทียมหลัก 3 ค่าย คือ อเมริกา รัสเซีย ยุโรป, ส่วนควบคุม ประกอบด้วยสถานีภาคพื้นดิน สถานีใหญ่อยู่ที่ Falcon Air Force Base ประเทศอเมริกา และศูนย์ควบคุมย่อยอีก 5 จุด กระจายไปยังภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก และส่วนผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานต้องมีเครื่องรับสัญญาณที่สามารถรับคลื่นและแปรรหัสจากดาวเทียมเพื่อนำมาประมวลผลให้เหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 2.1 ดาวเทียม GPS (Navstar) [1]

การทำงานของดาวเทียม GPS ประกอบด้วยดาวเทียม 28 ดวง โดยแบ่งเป็น 6 รอบวงโคจร การโคจรจะเอียงทำมุมเอียง 55 องศา กับเส้นศูนย์สูตร (Equator) ในลักษณะสานกันคล้ายลูกตะกร้อ แต่ละวงโคจรมีดาวเทียม 4 ดวง รัศมีโคจรจากพื้นโลก 20,162.81 กิโลเมตร ดาวเทียมแต่ละดวงใช้เวลาในการโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมง



GPS ทำงานโดยการรับสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวง โดยสัญญาณดาวเทียมนี้ประกอบไปด้วยข้อมูลที่ระบุตำแหน่งและเวลาขณะส่งสัญญาณ ตัวเครื่องรับสัญญาณ GPS จะต้องประมวลผลความแตกต่างของเวลาในการรับสัญญาณเทียบกับเวลาจริง ณ ปัจจุบันเพื่อแปรเป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียมแต่ละดวง [2]

GLONASS เป็นระบบดาวเทียมของประเทศไทยเริ่มพัฒนาครั้งแรกในปี 1976 มีดาวเทียมทั่วโลกทั้งหมด 24 ดวง ดาวเทียมอยู่ในวงโคจรวงกลมที่ระดับความสูง 19,100 กิโลเมตร โดยมีความเอียงทำมุม 64.8 องศาต่อพื้นโลก ดาวเทียมแต่ละดวงใช้เวลาในการโคจรรอบโลก 11 ชั่วโมง 15 นาที วงโคจรของ GLONASS จะเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานในละติจูดสูง (เหนือหรือใต้) เพราะดาวเทียม GLONASS จะโคจรอยู่แถวๆ น่านฟ้าประเทศไทย ซึ่งการรับสัญญาณ GPS อาจเป็นปัญหาได้กลุ่มดาวเทียมเหล่านี้ทำงานในระนาบการโคจรสามดวงโดยดาวเทียมแต่ละดวงวันระยะห่างที่เท่ากัน ส่วนใหญ่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในประเทศไทย[3]

Galileo ถือกำเนิดขึ้นในปี 1999 และใช้จริงในปี 2016 ด้วยความร่วมมือของประเทศในสหภาพยุโรปและประเทศอื่นๆ เช่น อิสราเอล ซาอุดีอาระเบีย อินเดีย และเกาหลีใต้ มีจุดประสงค์หลักเพื่อหลีกเลี่ยงการแทรกแซงจากการใช้ GPS ของสหรัฐที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา และระบุพิกัดได้แม่นยำกว่า GPS (เนื่องจากไม่ต้องโคจรไปทั่วโลก) ปัจจุบันมีอุปกรณ์หรือสมาร์ทโฟนที่ใช้ดาวเทียม Galileo แต่ไม่มากเท่าดาวเทียมของ GLONASS[4]

Beidou เป็นระบบดาวเทียมของประเทศไทย ประกอบด้วยดาวเทียมสามกลุ่ม กลุ่มแรกเรียกว่า Beidou Satellite Navigation Experimental System หรือ BeiDou-1 ประกอบด้วยดาวเทียม 3 ดวง ใช้ตั้งแต่ปี 2000 และถูกยกเลิกการใช้งานเมื่อปี 2555 และกลุ่มที่สองเรียกว่า Beidou Navigation Satellite System หรือ BeiDou-2 ได้เปิดใช้งานในประเทศไทย และแถบเอเชีย ในเดือนธันวาคม 2554 มีดาวเทียม 10 ดวง อยู่ในวงโคจร และในปี 2558 จีนเริ่มสร้างระบบ BeiDou-3 เพื่อที่จะทำให้ครอบคลุมทั่วโลก ในเดือนตุลาคม 2561 มีการเปิดตัวดาวเทียม BDS-3 จำนวน 15 ดวง ซึ่งดาวเทียม Beidou-3 จะมีทั้งหมด 35 ดวง และคาดว่าจะให้บริการทั่วโลกเมื่อสร้างเสร็จในปี 2020 ปัจจุบันมีสมาร์ทโฟนหลายรุ่นที่เริ่มหันมาใช้ดาวเทียม Beidou ในการระบุตำแหน่ง แต่ส่วนมากจะเป็นยี่ห้อที่มาจากจีน เช่น Huawei, ZTE เป็นต้น[5]

ความแม่นยำของการระบุตำแหน่งนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง ถ้าระยะห่างระหว่างดาวเทียมที่ใช้งานอยู่ห่างกันยอมให้ค่าที่แม่นยำกว่าที่อยู่ใกล้กัน และยังมีจำนวนดาวเทียมที่รับสัญญาณได้มากก็ยิ่งให้ความแม่นยำมากขึ้น ความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศ ชั้นบรรยากาศประกอบด้วยประจุไฟฟ้า ความชื้น อุณหภูมิ และความหนาแน่นที่แปรปรวนตลอดเวลา คลื่นเมื่อตกกระทบ กับวัตถุต่างๆ จะเกิดการหักเหทำให้สัญญาณที่ได้อ่อนลง และสิ่งแวดล้อมในบริเวณรับสัญญาณ เช่น มีการบดบังจากกระจก ละอองน้ำ ใบไม้ จะมีผลต่อค่าความถูกต้องของความแม่นยำ เนื่องจากถ้าสัญญาณจากดาวเทียมมีการหักเหก็จะทำให้ค่าที่คำนวณได้จากเครื่องรับสัญญาณเพี้ยนไป ประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณจะขึ้นอยู่กับความไวในการรับสัญญาณและความเร็วในการประมวลผล [6]

ตัวอย่างของการนำระบบ GNSS มาใช้ได้แก่ เมื่อผู้ใช้มีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมหรือมีอุปกรณ์นำทาง เมื่อนำเครื่องไปใช้งานในการรับสัญญาณ แล้วตัวโปรแกรมจะแสดงตำแหน่งปัจจุบันบนแผนที่ แผนที่สำหรับนำทางจะเป็นแผนที่พิเศษที่มีการกำหนดทิศทางจราจร เช่น การจราจรแบบชิดซ้ายหรือชิดขวา ข้อมูลการเดินทางเดี่ยว จุดสำคัญต่างๆ ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ต่างๆ ผังไว้ในข้อมูลแผนที่ที่ได้ ทำการสำรวจและตั้งค่าไว้แล้ว ในแต่ละทางแยกก็จะมีการกำหนดค่าเอาไว้ด้วยเช่นกันเพื่อให้ตัวโปรแกรมทำการเลือกการเชื่อมต่อของเส้นทางจนถึงจุดหมายที่ได้เลือกไว้ เสียงเตือนนำทางจะทำงานสอดคล้องกับการเลือกเส้นทาง เช่น ถ้าโปรแกรมเลือกเส้นทางที่จะต้องไปทางขวาก็จะกำหนดให้มีการแสดงเสียง เตือนให้เลี้ยวขวา โดยแต่ละโปรแกรมก็มีการกำหนดเตือนไว้ล่วงหน้าว่าจะเตือนก่อนจุดเลี้ยวเท่าใด ส่วนการแสดงทิศทางก็มีการบอกไว้ล่วงหน้าเช่นกันแล้วแต่ว่าจะกำหนดไว้ล่วงหน้ากี่จุด บางโปรแกรมก็กำหนดไว้จุดเดียว บางโปรแกรมกำหนดไว้สองจุด หรือบางโปรแกรม ก็สามารถเลือกการแสดงได้ตามความต้องการของผู้ใช้ การคำนวณเส้นทางนี้จะถูกคำนวณให้เสร็จตั้งแต่แรก และตัวโปรแกรมจะแสดงผลทั้งภาพและเสียงตามตำแหน่งจริงที่อยู่ ณ จุดนั้นๆ หากมีการเดินทางออกนอกเส้นทางที่ได้กำหนดไว้ เครื่องจะทำการเตือนให้ผู้ใช้ทราบและจะคำนวณให้พยายามกลับสู่เส้นทางที่ได้วางแผนไว้ก่อน หากการออกนอกเส้นทางนั้นอยู่เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ก็จะมีการคำนวณเส้นทางให้ใหม่เองอัตโนมัติ เมื่อเครื่องคำนวณเส้นทางให้ผู้ใช้สามารถดูเส้นทางสรุปได้ล่วงหน้า หรือแสดงการจำลองเส้นทางก็ได้ โปรแกรมนำทางบางโปรแกรมมีความสามารถกำหนดจุดแวะได้หลายจุดทำให้ผู้ใช้สามารถกำหนดให้การนำทางสอดคล้องกับการเดินทางมากที่สุด หรืออาจใช้ในการลอกเครื่องเพื่อให้นำทางไปยังเส้นทางที่ต้องการ

แทนที่เส้นทางที่เครื่องคำนวณได้ บางโปรแกรมก็มีทางเลือกให้หลีกเลี่ยงแบบต่างๆ เช่น เลี่ยงทางผ่านเมือง เลี่ยงทางด่วน เลี่ยงทางกลับรถ เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับการนำทางด้วย GNSS ประกอบด้วย

- ตัวรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS Receiver Module)
- หน่วยประมวลผล (CPU)
- โปรแกรมการนำทาง (Application Software)
- ข้อมูลแผนที่นำทาง (Map Data)

ปัจจุบันนี้มีเครื่อง GNSS ที่มีครบทุกอย่างในตัวเอง ซึ่งจะมีความสะดวกในการใช้งานและมีความเสถียรสูงได้แก่ PND (Personal / Portable Navigation Device) หรือแบบที่ใช้ GNSS receiver ร่วมกับ PDA (Personal Digital Assistant) / Pocket PC / Notebook / Smart phone เป็นต้น หรือใน Smart Phone รุ่นใหม่ๆก็จะมี GNSS มาให้พร้อมเลือกใช้หลายรุ่น ทำให้สะดวกในการใช้งานยามหลงทางหรือใช้งานหาสถานที่ใกล้เคียง นอกจากอุปกรณ์หลักแล้วยังมีอุปกรณ์เสริม เช่น เสาร์ับสัญญาณภายนอกแบบติดตั้งเฉพาะเครื่องต่อเครื่อง หรือ ตัวกระจายคลื่น (GNSS radiator) เพื่อให้สามารถใช้ GNSS ได้ในที่อับสัญญาณ

ปัจจุบันนี้ได้มีการใช้งานในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

- การกำหนดพิกัดของสถานที่ต่างๆ การทำแผนที่ โดยส่วนใหญ่นิยมใช้อุปกรณ์ที่สามารถพกพาไปได้ง่าย มีความทนทาน กันน้ำได้ สามารถใช้กับถ่านไฟฉายขนาดมาตรฐานได้
- การนำทาง ได้รับความนิยมน้อย่างกว้างขวางมีหลากหลายแบบและขนาด สามารถนำทางได้ทั้งภาพและเสียง ใช้ได้หลายภาษา บางแบบมีภาพเสมือนจริง ภาพสามมิติ และประสิทธิภาพอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น multimedia Bluetooth hand free เป็นต้น
- การวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน: โครงข่ายหมุดดาวเทียม GNSS ของกรมที่ดิน (DOLVRS)
- การกำหนดจุดเพื่อบรรเทาสาธารณภัย เช่น เสื้อกั๊กชูชีพที่มีเครื่องส่งสัญญาณจีพีเอส
- วางผังสำหรับการจัดส่งสินค้า
- การนำไปใช้ประโยชน์ในขบวนการยุติธรรม เช่น การติดตามบุคคล
- การติดตามการค้ายาเสพติด ฯลฯ

- การนำไปใช้ประโยชน์ทางทหาร ดูรายละเอียดเกี่ยวกับอนาคต GNSS ทางทหารจากกระทรวงกลาโหมสหรัฐ
- การกีฬา เช่น ใช้ในการฝึกฝนเพื่อวัดความเร็ว ระยะทาง แคลอรีที่เผาผลาญ ดูรายละเอียด หรือใช้ในสนามกอล์ฟเพื่อคำนวณระยะจากจุดที่อยู่ถึงหลุม
- การสันหนนาการ เช่น กำหนดจุดตกปลา หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกปลา การวัดความเร็ว ระยะทาง บันทึกเส้นทาง เครื่องบิน / รถบังคับวิทยุ ระบบการควบคุมหรือติดตามยานพาหนะ
- การติดตามบุคคล เพื่อให้ทราบว่ายานพาหนะอยู่ที่ใด มีการเคลื่อนที่หรือไม่ มีการแจ้งเตือนให้กับผู้ติดตามเมื่อมีการเคลื่อนที่เร็วกว่าที่กำหนดหรือเคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่หรือเข้าสู่พื้นที่ที่กำหนด นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการป้องกันการโจรกรรมและติดตามทรัพย์สิน
- การนำข้อมูล GNSS มาประกอบกับภาพถ่ายเพื่อการท่องเที่ยว การทำรายงานกิจกรรม เป็นต้น โดยจะต้องมีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมติดตั้งอยู่กับกล้องบางรุ่น หรือการใช้ GPS Data Logger ร่วมกับ Software[2]

## 2.2 แผนที่และการอ่านค่าในแผนที่

แผนที่ คือ รูปภาพอย่างง่ายซึ่งจำลองบริเวณบริเวณหนึ่ง และมีการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ เช่น วัตถุ หรือบริเวณย่อยที่อยู่ในบริเวณนั้น แผนที่มักเป็นรูปสองมิติซึ่งแสดงระยะห่างระหว่างจุดสองจุดในบริเวณใดบริเวณหนึ่งได้อย่างถูกต้องตามหลักเรขาคณิต เช่น แผนที่ทางภูมิศาสตร์ นอกจากนี้เรายังสามารถวาดแผนที่แสดงคุณสมบัติของบริเวณต่างๆ บนพื้นโลก เช่น ความหนาแน่นของประชากร ความสูงของพื้นที่ ดัชนีการพัฒนามนุษย์ในแต่ละประเทศ เป็นต้น[7]

### 2.2.1 องค์ประกอบของแผนที่

องค์ประกอบของแผนที่ โดยส่วนมากแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ สิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ภูมิประเทศในรูปแบบต่างๆ อย่างภูเขา ป่าไม้ ทะเล แม่น้ำลำธาร และสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้น เช่น เมืองต่างๆ เส้นทางคมนาคม พื้นที่ทำการเกษตร โดยจะแบ่งออกเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. ชื่อประเภทของแผนที่ เป็นสิ่งสำคัญในการทำให้ผู้ใช้ได้ทราบว่าแผนที่ใช้กับเรื่องอะไร แสดงรายละเอียดอะไรบ้าง เพื่อให้ผู้ใช้นำไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง และตรงความต้องการ โดยปกติชื่อแผนที่จะมีคำอธิบายกำกับไว้ด้วย เช่น แผนที่ประเทศไทยแสดงส่วนระดับความสูงของพื้นที่ภูมิประเทศ แผนที่โลกแสดงเส้นทางการเดินเรือโดยสารและพาณิชย์ เป็นต้น

2. ทิศทาง มีความสำคัญต่อการค้นหาตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ใดๆ โดยจะกำกับด้วยทิศทั้งสี่ทิศ ประกอบไปด้วย ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และ ทิศตะวันตก และจากการอ้างอิงจากเข็มทิศ ซึ่งจะชี้ไปยังทิศเหนือตลอดเวลาให้แผนที่จะแสดงทิศเหนือไว้ด้านบนของแผนที่เสมอ จะช่วยให้ง่ายต่อการค้นหาทิศทางและตำแหน่งที่ถูกต้องในแผนที่ได้

3. ขอบระวาง แผนที่ทุกชนิดจำเป็นต้องมีขอบระวาง ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงขอบเขตของพื้นที่ในภูมิประเทศที่แสดงบนแผนที่นั้นๆ ซึ่งจะบอกด้วยเส้นขนานเพื่อแสดงตำแหน่งละติจูดกับเส้นเมริเดียนเพื่อแสดงลองจิจูด และจะแสดงตัวเลขเพื่อบอกค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของตำแหน่งต่างๆ บนแผนที่ผิวโลก

4. สัญลักษณ์ เป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนสิ่งต่างๆ ในภูมิประเทศจริง เพื่อช่วยให้ผู้ใช้สามารถอ่าน แปล และเข้าใจความหมายจากแผนที่ได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้แผนที่จะต้องมีคำอธิบายสัญลักษณ์ประกอบไว้ด้วยเสมอ

5. มาตรฐาน เนื่องจากแผนที่จะแสดงทุกอย่างตามขนาดจริงไม่ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องย่อส่วนลงมาจากระยะทางจริงในภูมิประเทศ ตามมาตรฐาน ซึ่งจะแสดงมาตรฐานว่าย่อลงมาเท่าใด มาตรฐานแผนที่โดยมากจะมี 3 ลักษณะ ได้แก่ มาตรฐานแบบเศษส่วน มาตรฐานคำพูด และมาตรฐานแบบกราฟิก มาตรฐานของแผนที่ คือ อัตราส่วนของระยะทางราบบนแผนที่กับระยะทางราบบนภูมิประเทศจริง ซึ่งส่วนใหญ่จะสามารถเขียนได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่น  $1:70,000$  หรือ  $1/70,000$  หรือ  $1:70,000$  การคำนวณนั้นก็ทำได้ง่ายดังนี้ : มาตรฐาน = ระยะบนแผนที่  $\times$  ระยะภูมิประเทศ

6. เส้นโครงบนแผนที่ นั้นประกอบด้วย เส้นขนานและเส้นเมริเดียน ที่จะกำหนดตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์อย่างเป็นสากลและมาตรฐาน ไว้ใช้เพื่ออ้างอิง ซึ่งประกอบด้วย

- เส้นขนาน (ละติจูด) เป็นเส้นสมมติที่ลากจากทิศตะวันออก โดยจะวัดจากมุมที่เริ่มจากเส้นศูนย์สูตร ซึ่งจะมีค่ามุม 0 องศาไปยังขั้วโลกทั้งสองด้านละไม่เกิน 90 องศา ซึ่งเส้นขนานที่สำคัญ 5 เส้นหลักๆ มีดังนี้

-เส้นศูนย์สูตร หรือ เส้น อีควอเตอร์ ค่ามุม 0 องศา

-เส้นทรอปิกออฟแคนเซอร์ ค่ามุม 23 องศา 30 ลิปดาเหนือ

-เส้นทรอปิกออฟแคปริคอร์น ค่ามุม 23 องศา 30 ลิปดาใต้

-เส้นอาร์กติกเซอร์เคิลเหนือ ค่ามุม 66 องศา 30 ลิปดาเหนือ

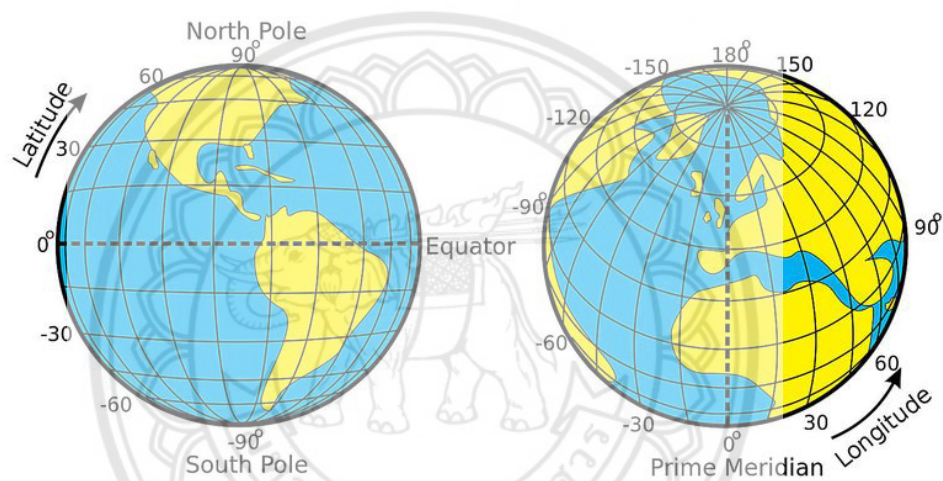
-เส้นอาร์กติกเซอร์เคิลใต้ ค่ามุม 66 องศา 30 ลิปดาใต้

- เส้นเมริเดียน (ลองจิจูด) เป็นเส้นสมมติ ที่ลากจากขั้วโลกเหนือไปยังขั้วโลกใต้ ลักษณะเป็นเส้นตรง โดยจะลากผ่านทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก ด้านละ 180 องศา ซึ่งหน้าที่สำคัญของเส้นเมริเดียนนั้น

จะใช้เป็นตัวแบ่งเวลาของแต่ละประเทศทั่วทั้งโลก และใช้บอกพิกัดตำแหน่งที่ตั้งต่างๆ บนพื้นผิวโลก โดยจะทำงานร่วมกันกับเส้นขนาน (ละติจูด) ที่ตัดกัน

7. พิกัดภูมิศาสตร์ เป็นระบบที่จะบอกตำแหน่งของที่ตั้งหรือสิ่งต่างๆ บนพื้นผิวโลก โดยอาศัยเส้นโครงบนแผนที่ 2 เส้น ดังที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ตัดกันเป็นจุดต่างๆ โดยจะอ่านค่าจาก เส้นละติจูด (เส้นขนาน) และเส้นลองจิจูด (เส้นเมริเดียน) ซึ่งละติจูดคือพิกัดจุดหนึ่งบนเส้นขนาน และลองจิจูดคือพิกัดจุดหนึ่งบนเส้นเมริเดียน[7]

## 2.2.2 ละติจูด ลองจิจูด และการบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์



รูปที่ 2.2 ละติจูด และลองจิจูด[9]

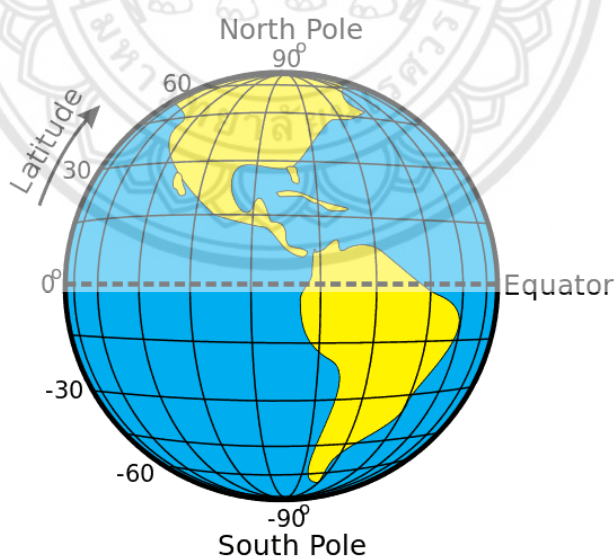
ละติจูดและลองจิจูด คือ ค่าที่ใช้บอกพิกัดทางภูมิศาสตร์ ในทุกพื้นที่บนโลกมีพิกัดทางภูมิศาสตร์กำหนดไว้ พิกัดทางภูมิศาสตร์จะระบุเป็นในรูปแบบของตัวเลข ที่ทุกคนสามารถที่จะเข้าใจถึงตำแหน่ง ได้จากค่าตัวเลขของพิกัดทางภูมิศาสตร์ ซึ่งการระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์จะมีตัวเลข 2 ชุด เรียกว่า เลขละติจูด (Latitude) และเลขลองจิจูด (Longitude) (Lat/Long)

การใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์แบบละติจูดและลองจิจูด (Lat/Long) นั้นแตกต่างจากการใช้การระบุตำแหน่งที่อยู่ตามถนนหรือตามเขตพื้นที่ต่างๆ ซึ่งละติจูดและลองจิจูดนั้นสามารถระบุได้ด้วยตัวเลขในระบบตารางเหมือนที่เรามักเห็นกันเมื่อเราดูในกราฟต่างๆ แผนที่ในรูปแบบตารางนี้จะมีเส้นที่วางในแนวนอนและตัดกันกับเส้นที่วางในแนวตั้ง ซึ่งการระบุตำแหน่งที่จะทำได้ในแบบตารางนี้ วิธีอย่างง่ายคือกำหนดเลข 2 ชุดขึ้นมา ซึ่งตัวเลขชุดแรกเป็นตัวที่ใช้ระบุตำแหน่งในแนวนอน และตัวเลขอีกชุดเป็นเป็นตัว

เลขที่ระบบตำแหน่งในแนวตั้งซึ่งจะเป็นเส้นที่มีจุดตัดกัน หรือพูดอีกนัยหนึ่งก็คือจุดที่เกิดการตัดกันจะเป็นจุดที่เราใช้ในการระบุพิกัดตำแหน่ง

ละติจูดและลองจิจูดนั้นก็เป็นเส้นสมมติที่กำหนดขึ้นมาเพื่อระบุพิกัดบนโลกเช่นเดียวกับเส้นในแนวนอนและตั้งที่ใช้ระบุพิกัดในกราฟที่เป็นรูปแบบตาราง แต่แทนที่จะเป็นเส้นที่ตรงบนแผ่นราบ ละติจูดและลองจิจูดนั้นจะกำหนดให้เป็นเส้นที่วงรอบโลก ทั้งเส้นที่วงรอบโลกในแนวนอนและเส้นที่วงเป็นครึ่งวงกลมในแนวตั้ง

ละติจูด (Latitude) เป็นเส้นสมมติที่วางตามแนวนอนของโลก และยังมีเส้นที่วางตัวตามแนวนอนของโลกตามระดับความสูงกว่าหรือต่ำกว่า ซึ่งเรียกว่า เส้นขนานเส้นละติจูด (Parallels of Latitude) ซึ่งเส้นขนานของเส้นละติจูดเหล่านี้จะเป็นเส้นที่วางขนานกับเส้นละติจูดที่อยู่บริเวณตรงกลางหรือเรียกว่าเส้นเอควเตอร์ (Equator) ทางที่ง่ายที่สุดที่จะมองภาพของเส้นละติจูดเหล่านี้คือให้คิดว่ามีเส้นสมมติที่วางตามแนวนอนของโลกเหมือนกับว่ามีวงสูล่าฮูปวางอยู่รอบโลก และมีสูล่าฮูปวงที่ใหญ่ที่สุดวางอยู่ตรงกลางของโลกพอดี ซึ่งนั่นก็คือเส้นเอควเตอร์ จากนั้นให้คิดว่ามีเส้นที่ขนาดเล็กลงตามลำดับเรียงตัว ทั้งขึ้นไปทั้งบนและล่างไปเรื่อยๆ จนเข้าถึงขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้

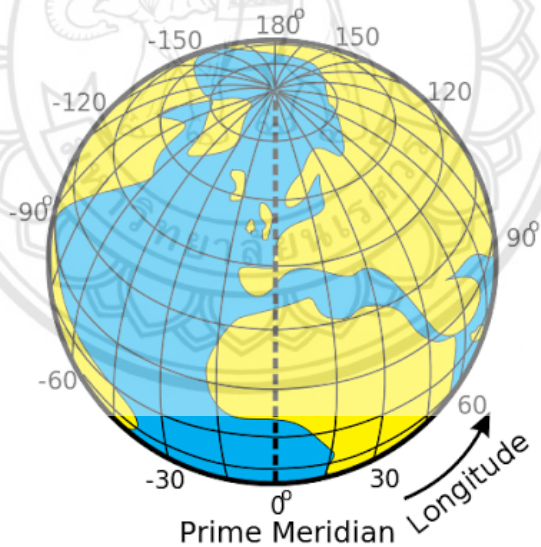


รูปที่ 2.3 เส้นละติจูด (Latitude)[9]

เส้นละติจูดนั้นเป็นเส้นที่ใช้วัดพิกัดในเชิงตัวเลขว่าทิศเหนือและทิศใต้นั้นห่างจากเส้นเอควเตอร์ซึ่งเป็นเส้นที่แบ่ง ณ จุดกึ่งกลางโลก โดยส่วนที่อยู่เหนือกว่าเส้นเอควเตอร์นั้นคือซีกโลกเหนือ และส่วนที่อยู่ใต้เส้นเอควเตอร์คือซีกโลกใต้ ที่เส้นเอควเตอร์นี้จะเป็นจุดเริ่มต้นที่วัดละติจูดใน

ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งพิกัดที่วางตัวอยู่บนเส้นอิกเวเตอร์นี้จะมีตัวเลขที่บอกค่าทางละติจูดเป็น 0 องศาละติจูด ตัวเลขของค่าละติจูดนี้จะมีค่ามากขึ้นตามระยะห่างจากเส้นอิกเวเตอร์ โดยจะมีค่าสูงสุดที่ 90 องศาละติจูด ที่บริเวณขั้วโลก สำหรับการอ่านค่าละติจูดนั้นจะอ่านค่าเป็น xx องศาเหนือ หรือ xx องศาใต้ ขึ้นอยู่กับว่าพิกัดของเส้นละติจูดนั้นเป็นพิกัดของละติจูดที่อยู่เหนือหรือใต้เส้นอิกเวเตอร์

ลองจิจูด (Longitude) เป็นเส้นสมมติที่วางตามแนวตั้งของโลกหรือที่เรียกว่าเส้นเมริเดียน (Meridian) วิธีที่ง่ายที่สุดในการจินตนาการภาพสำหรับเส้นลองจิจูด ให้ลองนึกถึงวงสูล่าฮูปที่ตัดแบ่งครึ่งวางตัวตามแนวตั้งของโลก โดยปลายด้านหนึ่งของสูล่าฮูปนั้นวางที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือ และปลายอีกด้านหนึ่งวางที่ขั้วโลกใต้ เส้นลองจิจูดนั้นเป็นเส้นที่ใช้วัดพิกัดทางตัวเลขว่าเส้นลองจิจูดนั้นห่างจากเส้นเมริเดียนสำคัญ (Prime Meridian) เท่าไหร่ ซึ่งเส้นเมริเดียนสำคัญนี้เองจะเป็นเส้นที่แบ่งซีกโลกตะวันตกและตะวันออก เส้นเมริเดียนสำคัญนั้นจะเป็นเส้นที่ลากในแนวตั้งของโลกผ่านเมืองกรีนวิช (Greenwich) ประเทศอังกฤษ จากขั้วโลกเหนือสู่ขั้วโลกใต้ โดยเส้นเมริเดียนสำคัญเป็นเส้นเริ่มต้นที่จะบอกพิกัดลองจิจูดในตำแหน่งต่างๆ พิกัดที่วางตัวอยู่บนเส้นเมริเดียนสำคัญนี้จะบอกค่าลองจิจูดเป็น 0 องศาลองจิจูด



รูปที่ 2.4 เส้นละติจูด[9]

สำหรับการวัดลองจิจูดตะวันตกและตะวันออกนั้นจะอ้างอิงจากเส้นเมริเดียนสำคัญ ซึ่งจะมีเส้นลองจิจูดที่อยู่ฝั่งตะวันตกและตะวันออกของเส้นเมริเดียนสำคัญด้านละ 180 เส้น การอ่านพิกัดตำแหน่งของละติจูดจะอ่านเป็น xx องศาตะวันตก หรือ xx องศาตะวันออก และจะมีเส้นลองจิจูดพิเศษอีกเส้นหนึ่ง เป็นเส้นลองจิจูดที่อยู่ตำแหน่ง 180 องศาลองจิจูดพอดี เป็นเส้นลองจิจูดที่มีชื่อเรียก



พิเศษอีกชื่อหนึ่งว่าเส้นแบ่งเขตวันสากล (International Date line) ซึ่งเส้นนี้จะเป็นลองจิจูดที่อยู่อีกฝั่งของโลก ตรงกันข้ามกับเส้นเมริเดียนสำคัญพอดิ[10]

## 2.3 การแปลงค่าพิกัด GPS

รูปแบบค่าที่รับได้ คือ ค่าลองจิจูด ( Longitude ) และค่าละติจูด ( Latitude ) จากนั้นนำมาแปลงค่าลองจิจูดและค่าละติจูดที่เป็นองศา ลิปดา ฟลิปดา ให้เป็นจุดทศนิยมโดยใช้โปรแกรม Excel โดยคำนวณได้จาก

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าองศา เท่ากับจำนวนเต็มของค่าที่รับมา เช่น

$$\text{Latitude} = 16.74663925$$

$$\text{องศา} = 16^{\circ}$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าลิปดา นำค่าทศนิยม 2 ตำแหน่งแรกคูณด้วย 60 แล้วตัดทศนิยมออก จะได้

$$\text{Latitude} = 16.74663925$$

$$\text{ลิปดา} = 0.74 * 60 = 44.4$$

$$\text{ลิปดา} = 44'$$

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าฟลิปดา นำค่าทศนิยมที่ตัดออกของค่าลิปดาหารด้วย 60 แล้วมาบวกกับทศนิยมตำแหน่งที่ 3 ถึง 8 แล้วคูณด้วย 3600 จะได้

$$\text{Latitude} = 16.74663925$$

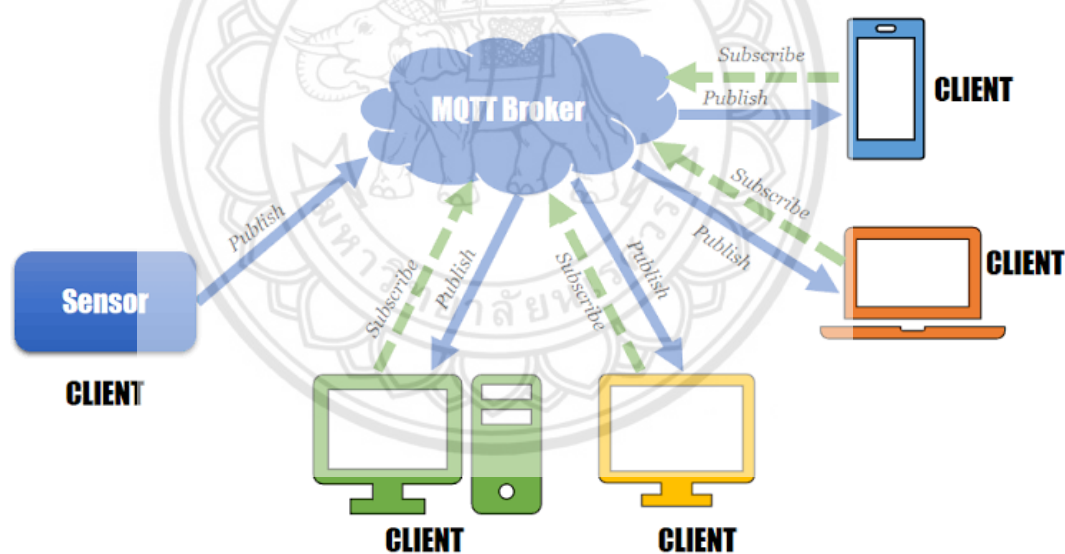
$$\text{ลิปดา} = ((0.4/60) + 0.00663925) * 3600 = 47.9013$$

$$\text{ลิปดา} = 47.9013''$$

จะสรุปได้ว่า Latitude = 16.74663925 แปลงค่าแล้วจะได้เป็น 16 องศา 44 ลิปดา 47.9013 ฟลิปดา

## 2.4 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) เป็น Protocol ที่ออกแบบมาเพื่อการเชื่อมต่อแบบ M2M (machine-to-machine) คืออุปกรณ์กับอุปกรณ์ สนับสนุนเทคโนโลยี iot (Internet of Things) คือเทคโนโลยีที่อินเทอร์เน็ตเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ รถยนต์ โทรทัศน์ ตู้เย็น เข้ากับอินเทอร์เน็ตทำให้สามารถเชื่อมโยงสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆ ได้ โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะทำให้มนุษย์สามารถ ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ จากที่อื่นได้ เช่น การสั่งปิดเปิดไฟในบ้านจากที่อื่นๆ โปรโตคอลตัวนี้มีน้ำหนักเบา ออกแบบมาเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก การรับส่งข้อมูลในเครือข่ายที่มีขนาดเล็ก แบนด์วิธต่ำ ใช้หลักการแบบ publisher/subscriber คล้ายกับหลักการที่ใช้ใน Web Service ที่ต้องใช้ Web Server เป็นตัวกลางระหว่างคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ แต่ MQTT จะใช้ตัวกลางที่เรียกว่า Broker เพื่อทำหน้าที่ จัดการคิว รับ - ส่ง ข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ และทั้งในส่วนที่เป็น Publisher และ Subscriber



รูปที่ 2.5 Broker, Publisher และ Subscriber[15]

จากภาพจะเห็นได้ว่า topic จะเป็นตัวอ้างอิงหลัก ข้อมูลที่จะ Publisher ออกไปยัง Broker จะต้อง มี topic กำกับไว้เสมอ ทางฝ่าย subscriber ก็จะต้องถึง topic เพื่อเรียกข้อมูลที่ต้องการ เหมือนกับการสมัครเป็นสมาชิกของหนังสือพิมพ์ฉบับหนึ่ง ชื่อของหนังสือก็เปรียบเหมือน topic และผู้ผลิตก็คือ publisher เมื่อถึงเวลาที่หนังสือเสร็จ ผู้ส่ง Broker จะนำหนังสือพิมพ์มาส่งให้ผู้รับ เช่น แอปพลิเคชันที่ใช้ งานคือ Facebook Messenger

MQTT Protocol ประกอบไปด้วย Broker, Publisher และ Subscriber แต่ละอย่างก็จะทำหน้าที่แตกต่างกันออกไปโดย Broker ทำหน้าที่เป็นตัวกลางคอยจัดการกับข้อความโดยอ้างอิงจาก topic Publisher จะทำหน้าที่คอยส่งข้อมูลไปยังหัวข้อนั้นๆ Subscriber จะทำหน้าที่คอยดูการเปลี่ยนแปลงของ message ที่อ้างอิงด้วย topic เช่น ถ้ามีหัวข้อน่าสนใจและมีการเปลี่ยนแปลงก็จะทำการดึงข้อมูลนั้นๆ มาใช้งาน[11]

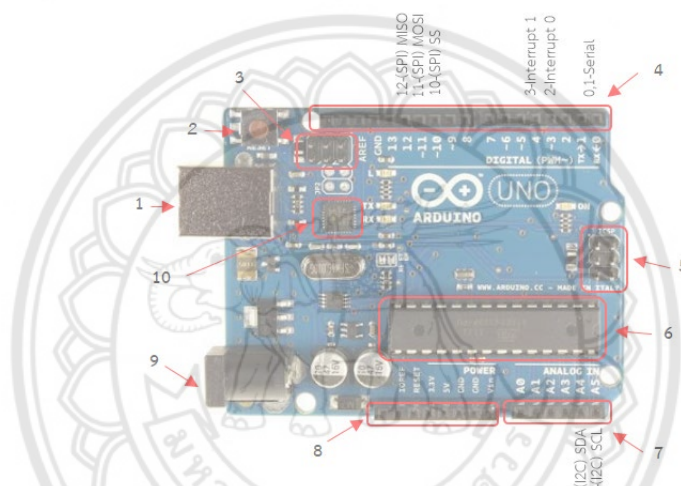
## 2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ Arduino platform

Arduino คือ โครงการที่นำชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันในภาษา C ซึ่งภาษา C นี้เป็นลักษณะเฉพาะ คือมีการเขียนไลบรารีของ Arduino ขึ้นมาเพื่อให้การสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกัน สามารถใช้งานโค้ดตัวเดียวกันได้ โดยตัวโครงการได้ออกบอร์ดทดลองมาหลายๆ รูปแบบ เพื่อใช้งานกับ IDE ของตนเอง สาเหตุหลักที่ทำให้ Arduino เป็นนิยมมาก เป็นเพราะซอฟต์แวร์ที่ใช้งานร่วมกันสามารถโหลดได้ฟรี และตัวบอร์ดทดลองยังถูกแจกแปลน ทำให้ผู้ผลิตเงินนำไปผลิตและขายออกตลาดมาในราคาที่ถูกมากๆ โดยบอร์ดที่ถูกที่สุดในตอนนี้คือบอร์ด Arduino ที่มีราคาเพียง 120-150 บาทเท่านั้น Arduino นั้นได้ใช้ชิป AVR เป็นหลักใน Arduino แทบทุกรุ่น สาเหตุมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ของตระกูล AVR นั้นมีความทันสมัย ในชิปในบางตัวสามารถเชื่อมต่อผ่าน USB ได้โดยตรง สามารถใช้กับคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ได้เป็นอย่างดี และในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ยังมีส่วนของโปรแกรมพิเศษที่เรียกว่า Bootloader อยู่ในระดับล่างกว่าส่วนโปรแกรมปกติ ซึ่งจะเป็นส่วนโปรแกรมที่จะถูกเรียกขึ้นมาก่อนการเรียกโปรแกรมปกติ ทำให้สามารถเขียนสั่งให้ทำงานใดๆ ก็ได้ ก่อนการเรียกโปรแกรมปกติ ทำให้ Arduino นั้นอาศัยส่วนโปรแกรมพิเศษนี้ในการทำให้ชิปสามารถโปรแกรมผ่านพอร์ตอนุกรมชนิด UART ได้ จึงทำให้การเขียนโปรแกรมลงไปบนชิปใช้เพียง USB to UART ก็เพียงพอแล้ว แต่การเขียนโปรแกรมด้วยการใช้โปรโตคอล UART มีข้อเสียตรงที่ต้องใช้เวลาในการบูทเข้าโปรแกรมปกติประมาณ 1-2 วินาที

### 2.5.1 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

- ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
- มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแรง
- Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
- ราคาไม่แพง
- Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้[12]

### 2.5.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของบอร์ด Arduino UNO R3



รูปที่ 2.6 บอร์ด Arduino UNO R3

1. USB Port: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/O Port: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx, Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port: Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin

9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2[13]

### 2.5.3 M5Stack

M5Stack ย่อมาจาก Module 5 cm Stack คือชุดพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ที่มี WIFI และบลูทูธในตัวมาพร้อมกับจอแสดงผล TFT LCD ขนาด 2 นิ้ว ความละเอียด 320 x 240 pixels บรรจุลงในกล่องขนาด 5 x 5 เซนติเมตร ที่มีฐานกล่องเป็นแม่เหล็ก มีลำโพง ปุ่มกด และแบตเตอรี่แบบประจุได้รวมถึงวงจรประจุแบตเตอรี่มาพร้อมใช้งาน



รูปที่ 2.7 M5stack basic

#### คุณสมบัติทางเทคนิค

- ติดตั้งโมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งใช้ซีพียูแกนคู่ Tensilica LX6 ความถี่ 240 MHz มีหน่วยความจำ SRAM 512 กิโลไบต์ หน่วยความจำแฟลช 4 เมกะไบต์ มีวงจร WIFI 802.11 b/g/n HT40 และบลูทูธพร้อมติดตั้งสายอากาศ 3D ในตัว
- มีจอแสดงผล TFT LCD สี ขนาด 2 นิ้ว ความละเอียด 320 x 240 พิกเซล
- มีปุ่มกด 3 ปุ่ม
- เชื่อมต่อพอร์ต USB เพื่อประจุแบตเตอรี่และอัปโหลดโค้ดผ่านไอซีแปลงสัญญาณ USB เป็น UART ของ Silicon LAB เบอร์ CP2104
- มีพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 20 ขา ต่อผ่าน M BUS

- พอร์ตอินพุต analog 2 ขา รับแรงดันได้ 0 ถึง +3.3V ความละเอียดในการแปลงสัญญาณเป็นข้อมูลดิจิทัล 12 บิต
- มีพอร์ตเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านระบบบัส I2C, I2S, SPI และ UART 2 ช่อง
- มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็น analog 12 บิต เอาต์พุตต่อกับวงจรขยายเสียง NS4148 กำลังขับ 1 วัตต์ และมีลำโพงในตัว
- มีวงจรจัดการพลังงานที่ใช้ชิป EA3036 ได้ไฟเลี้ยงของระบบเป็น +3.3V และ +5V
- มีแบตเตอรี่ 3.7V 150mAh แบบลิเทียมไอออนในตัว พร้อมวงจรประจุแบตเตอรี่ที่ใช้ไอซีเบอร์ IP5036 ผ่านพอร์ต USB TYPE C
- มีคอนเนกเตอร์ของพอร์ตอินพุตเอาต์พุตเพื่อต่อกับอุปกรณ์ภายนอกและขยายระบบได้
- มีซ็อกเก็ต microSD การ์ด รองรับได้สูงสุด 16GB
- บรรจุลงในกล่องขนาด 5x5 เซนติเมตร ที่ฐานกล่องติดตั้งแถบแม่เหล็ก เมื่อวางบนพื้นโลหะบอร์ดจะเกาะติดได้มั่นคง ไม่ลื่น
- พัฒนาโปรแกรมด้วย Arduino และ ESP-IDF พร้อมตัวอย่างโปรแกรมและไลบรารีสนับสนุนการทำงานจำนวนมาก[14]

#### 2.5.4 Module GPS

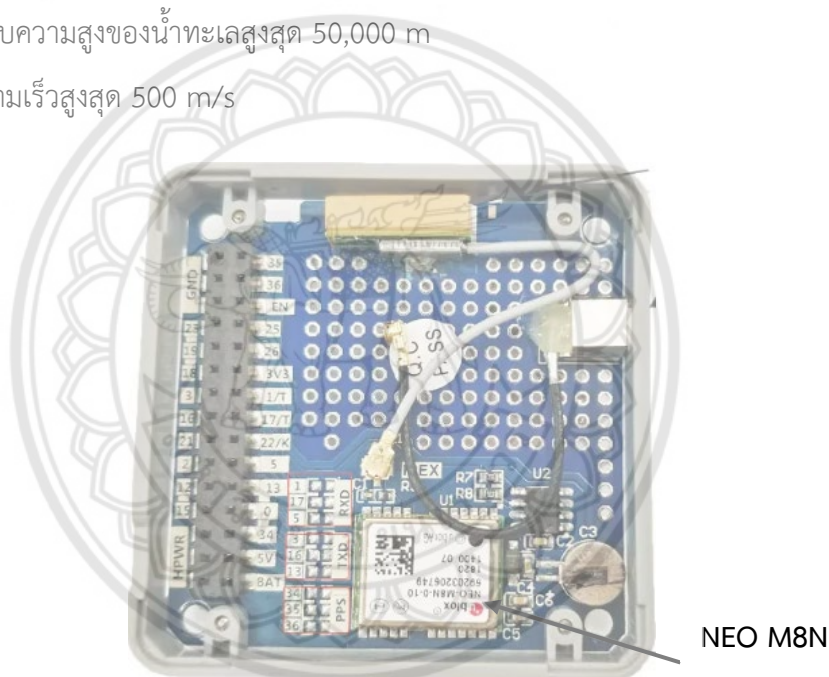
Module GPS สร้างด้วย NEO-M8N, โมดูล u-blox M8 พร้อมกัน GNSS และมาพร้อมกับเสาอากาศที่ใช้งานอยู่



รูปที่ 2.8 Module GPS

- NEO-M8N คือ Ublox NEO-M8N เป็น GPS Module ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของ Ublox ณ ปัจจุบันนี้ โดยสามารถทำการ Track ระบบนำทาง 2 ระบบได้ในเวลาเดียวกัน (by default จะเป็น GPS และ GNSS) NEO-M8 ให้ความไวสูงและเวลาการเข้าซ็อน้อยที่สุดในขณะที่ยังคงใช้พลังงานของระบบต่ำ NEO-M8N รวมเอา u-blox M8 GNSS engine 72 ช่องที่รองรับระบบ GNSS หลายระบบ (Beidou, Galileo, GLONASS, GPS / QZSS) และสามารถรับ 3 ระบบ GNSS พร้อมกัน โดยที่ NEO-M8N มีคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

- ประเภทตัวรับสัญญาณ 72-channel u-blox M8 engine
- สามารถรับความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุด 10 HZ หรือ 0.1 วินาที
- สามารถบอกระดับความสูงของน้ำทะเลสูงสุด 50,000 m
- สามารถใช้กับความเร็วสูงสุด 500 m/s



รูปที่ 2.9 NEO M8N

- UART ย่อมาจาก Universal Asynchronous Receiver Transmitter หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการสื่อสารอนุกรม
- GPIO ย่อมาจาก General Purpose Input/Output หรือพอร์ตเอนกประสงค์ ที่เป็นที่ตั้งอินพุต และเอาต์พุต[16]

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mark Edward and Sunnyvale (2002) ได้มีการเปิดเผยตัวรับสัญญาณของระบบเลเซอร์และดาวเทียมในตัว ตัวรับสัญญาณเลเซอร์และระบบระบุตำแหน่งในตัวสามารถให้หน่วยเคลื่อนที่จำนวนมากพร้อมข้อมูลระนาบเลเซอร์ที่กำหนดด้วยความแม่นยำสัมพัทธ์ในหน่วยมิลลิเมตร ตัวรับสัญญาณเลเซอร์แบบรวมและระบบกำหนดตำแหน่งผ่านดาวเทียมแบบแยกส่วนยังสามารถสร้างและส่งข้อมูลการแก้ไขความแตกต่างไปยังส่วนใหญ่ของข้อมูลในหน่วยการเคลื่อนที่ แต่ละหน่วยเคลื่อนที่พร้อมกับตัวรับสัญญาณระบบระบุตำแหน่งผ่านดาวเทียมมีถือสามารถใช้ข้อมูลการแก้ไขที่แตกต่างกันและข้อมูลระนาบเลเซอร์ความแม่นยำสูงเพื่อปรับปรุงความสามารถในการกำหนดตำแหน่ง[17]

Zhuo Li et al. (2019) เนื่องจากสัญญาณของระบบดาวเทียมนำทางทั่วโลก (GNSS) ถูกปิดกั้นบ่อยครั้งในสภาพแวดล้อมที่ท้าทายขั้นตอนการขนส่งที่ไม่ต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อการใช้การวางตำแหน่งที่แม่นยำของ GNSS อย่างจริงจัง เพื่อปรับปรุงความต่อเนื่องของเฟสของผู้ให้บริการบทความนี้เสนอวิธีการทำนายเฟสของผู้ให้บริการตามการติดตามวงเปิดของผู้ให้บริการ ในโหมด open-loop tracking ผู้ควบคุม oscillator (NCO) ที่ควบคุมด้วยตัวเลขนั้นถูกควบคุมโดย Doppler ที่คาดการณ์ไว้แต่ไม่ใช่โดยเอาต์พุตของตัวกรองลูป เพื่อปรับปรุงเวลาในการทำนายเฟสอย่างมีประสิทธิภาพจึงทำการศึกษาค่าตรีพท์ของตัวรับสัญญาณนาฬิกาที่แม่นยำในวิธีการทำนาย ประสิทธิภาพการทำนายระยะถูกทดสอบบนตัวรับซอฟต์แวร์ GNSS ในการคาดการณ์ระยะเวลาที่มีประสิทธิภาพการทดสอบกระบวนการวงเปิดถูกตั้งค่าสำหรับช่องทางทดสอบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เมื่อสัญญาณดาวเทียมบางตัวถูกล็อกใน 15 วินาที ความน่าจะเป็นที่จะเกิดข้อผิดพลาดของเฟสพหุน้อยกว่าหนึ่งในสี่ของรอบคือมากกว่า 94% ในการทดสอบการจัดตำแหน่งจลศาสตร์แบบเรียลไทม์ (RTK) สัญญาณดาวเทียมบางส่วนจะถูกล็อกในเวลา 10-15 วินาทีซ้ำๆ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความต่อเนื่องของเฟสพหุนั้นไม่ได้รับผลกระทบจากสัญญาณขัดจังหวะและ RTK สามารถรักษาความแม่นยำของตำแหน่งระดับเซนติเมตรต่อเนื่องได้โดยไม่ต้องแก้ไขความคลุมเครือของจำนวนเต็มอีกครั้ง[18]

Qian (Chayn) Sun et al. (2017) ข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงนั้นมีประโยชน์ในการศึกษาการขนส่งและภูมิศาสตร์หลายครั้งเมื่อต้องการการเปลี่ยนยานพาหนะหรือการกำหนดเวลาที่แม่นยำในการใช้งาน การติดตามจลน์ของยานพาหนะด้วย GPS (Global Positioning System) จะแตกต่างกันไปตามความถูกต้องของข้อมูลขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับและสภาพแวดล้อมการติดตาม เทคนิคการระบุตำแหน่งขั้นสูงนำเสนอความเป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณภาพ



ข้อมูลการติดตาม ในบทความนี้ประสิทธิภาพสูงของ multi-GNSS (ระบบนำทางด้วยดาวเทียมทั่วโลกหลายระบบ) ด้วยโซลูชัน Kinematic (RTK) แบบเรียลไทม์ (RTK) ถูกตรวจสอบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่แม่นยำในเขตที่อยู่อาศัยในเมืองของออสเตรเลีย การศึกษานี้เปรียบเทียบการบันทึกจลศาสตร์ยานพาหนะอย่างเป็นระบบระหว่างวิธีแก้ปัญหการวางตำแหน่งที่แตกต่างกันโดยใช้วิธีการ multi-GNSS และ GPS เท่านั้น มุมตัดระดับความสูงที่แตกต่างกันตั้งแต่ 5 - 35° ถูกนำมาใช้เพื่อจำลองความพร้อมใช้งานของดาวเทียมภายใต้เงื่อนไขมุมมองท้องฟ้าที่แตกต่างกัน ผลการวิจัยพบว่าวิธีการหลาย GNSS มีประสิทธิภาพเหนือกว่าตำแหน่ง GPS ทั่วไปในความพร้อมใช้งานของดาวเทียมและความแม่นยำของตำแหน่ง โซลูชัน 10 Hz RTK พิสูจน์แล้วว่าสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ดีที่สุดสำหรับการประเมินพฤติกรรมการขับขี่[19]

María S. Garrido-Carretero et al. (2019) ทุกวันนี้การวางตำแหน่ง GNSS ถูกนำไปใช้สำหรับการสำรวจและแอปพลิเคชันทางภูมิศาสตร์อื่นๆ แม้ว่าตัวรับสัญญาณความถี่คู่ GNSS จะใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ตัวรับสัญญาณความถี่เดียวราคาประหยัดได้ถูกลดชั้นลงสู่แอปพลิเคชันการนำทาง อย่างไรก็ตามข้อดีของพวกเขาทำให้ผู้สมัครที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานการวางตำแหน่งในพื้นที่ทางวิทยาศาสตร์จำนวนมาก หากต้องการทราบข้อจำกัดที่แม่นยำของระบบการวัดเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประเมินความไม่แน่นอนของผลการวัดที่ได้รับจากพวกเขา แนะนำให้ใช้ขั้นตอนการปฏิบัติงานมาตรฐาน (SOP) องค์การระหว่างประเทศเพื่อการมาตรฐาน (ISO) เผยแพร่มาตรฐาน ISO 17123-8 มุ่งเป้าไปที่การระบุขั้นตอนภาคสนามที่จะนำมาใช้เมื่อพิจารณาและประเมินความแม่นยำของระบบการวัดภาคสนาม GNSS ในจลศาสตร์แบบเรียลไทม์ (RTK) ใช้มาตรฐานนี้ เราประเมินประสิทธิภาพการวางตำแหน่งของเครื่องรับ GNSS สองเครื่อง, Leica GS10 แบบคู่อัล - ความถี่ Geodetic พร้อมเสาอากาศ AS10 โดยใช้โซลูชัน RTK ของเครือข่ายและต้นทุนต่ำความถี่เดียว u-blox NEO-M8P โดยใช้โซลูชัน RTK แบบฐานเดียว เมื่อพิจารณาถึงแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่แตกต่างกันและปริมาณอิทธิพลของพวกเขา ระบบความไม่แน่นอนรวมสำหรับตัวรับความถี่คู่ให้ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมในตำแหน่งแนวนอนที่ลำดับ  $\pm 2.5$  มิลลิเมตร และใกล้เคียงกับ  $\pm 4.5$  มิลลิเมตร สำหรับพิกัดแนวตั้ง ในกรณีของเครื่องรับที่มีต้นทุนต่ำความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมอยู่ใกล้เคียงกับ  $\pm 5.5$  มิลลิเมตร สำหรับตำแหน่งแนวนอนและ  $\pm 11$  มิลลิเมตร สำหรับความสูง ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าในขณะที่เครื่องรับสัญญาณจีโอเดติกมีคุณสมบัติตรงตามข้อ จำกัดความแม่นยำกึ่งกลางแนวนอนและแนวตั้งที่กำหนดขึ้นสำหรับการใช้งานที่มีความแม่นยำสูง[20]

Paolo Dabove (2019) ทุกวันนี้เทคนิคและวิธีการจัดตำแหน่งจำนวนมากถูกนำไปใช้กับการสำรวจเกี่ยวกับที่ดิน ตั้งแต่ทศวรรษที่ผ่านมาการวางตำแหน่ง GPS/GNSS ได้กลายเป็นหนึ่งในวิธีการที่ใช้มากที่สุดด้วยการพัฒนาอย่างรวดเร็วของการวางตำแหน่งตามดาวเทียมและการปรากฏตัวของเครื่องรับสัญญาณมวลชนและเสาอากาศ GNSS วิธีการที่ใช้เครื่องมือเหล่านี้มีราคาไม่แพงกว่าวิธีทั่วไปแม้ว่าการใช้ตำแหน่งที่แม่นยำจะไม่ง่ายนักก็ตาม การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการใช้เครื่องรับสัญญาณ GPS / GNSS แบบมวลความถี่เดียวสำหรับการสำรวจเกี่ยวกับที่ดินโดยพิจารณาจากวิธีการแบบฐานเดียวแบบ Real-Time Kinematic (RTK) และ Network Real-Time Kinematic (NRTK) นอกจากนี้ยังมีการพิจารณาเครื่องมือพิเศษสำหรับการคาดการณ์และประเมินการเกิดของการแก้ไขที่ผิดพลาดของเฟสที่คลุ่มเครือ เพื่อปรับปรุงความแม่นยำและความแม่นยำของโซลูชัน เมื่อพิจารณาจากการวางตำแหน่งฐานเดียวผลการวิจัยแสดงความแตกต่างไม่กี่เซนติเมตรระหว่างพิกัดอ้างอิงและค่าที่ประมาณไว้ถ้าระยะห่างระหว่างต้นแบบและโรเวอร์น้อยกว่า 3 กิโลเมตร ในขณะที่พิจารณาตำแหน่งเครือข่ายและการแก้ไขสถานีอ้างอิงเสมือน ความแตกต่างคือประมาณสองเซนติเมตรสำหรับส่วนประกอบตะวันออกและทิศเหนือและประมาณ 5 เซนติเมตร สำหรับขึ้น[21]



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 การพัฒนาระบบของเครื่องรับค่าพิกัด GPS และวิเคราะห์การทำงาน

ลักษณะตัวโปรแกรม เป็นการใช้โปรแกรม Arduino ในการเขียนโค้ดขึ้นมาเพื่อให้ตัวบอร์ด M5Stack esp32 สามารถรับค่าพิกัดโดยจะรับค่าละติจูดเส้นที่แสดงพิกัดของโลกในแนวตั้ง ลองติจูดเส้นที่แสดงพิกัดของโลกในแนวนอน แอลติจูดบอกถึงความสูงของระดับน้ำทะเลของพิกัดนั้นๆ โดยจะแสดงผ่านตัวอุปกรณ์ M5stack esp32 ที่มีตัวบอร์ดของ GPS และเสาอากาศสำหรับรับสัญญาณที่ถูกติดตั้งอยู่อยู่กับตัว M5stack esp32 และเก็บค่าที่ได้ไว้ที่ SD Card เพื่อที่จะสามารถนำค่าที่เก็บมาไปวิเคราะห์

##### 3.1.1 เครื่องมือในการดำเนินโครงการ

- 1) ตัว M5Stack esp32 (รูปที่ 3.1 ก.)
- 2) เพาเวอร์แบงก์ (Power Bank) (รูปที่ 3.1 ข.)
- 3) แบตเตอรี่ M5Stack (รูปที่ 3.1 ค.)
- 4) สายชาร์จ Type C (รูปที่ 3.1 ง.)
- 5) เสาสัญญาณ (รูปที่ 3.1 จ.)
- 6) SD Card (รูปที่ 3.1 ฉ.)



รูปที่ 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน

## 3.2 หลักการในการรับค่าพิกัด GPS

### 3.2.1 หลักการอ่านค่าต่างๆ ของเครื่องรับค่าพิกัด GPS

การรับค่าพิกัด GPS จะรับค่าในรูปแบบของค่า Latitude และค่า Longitude ที่รับค่ามาพร้อมกันในเวลานั้นๆ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของทศนิยม 8 ตำแหน่ง เช่น 16.74663544, 100.19588470 และบอกค่า Altitude หรือค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลเลมี้หน่วยเป็นเมตร ซึ่งในการบอกค่าพิกัดต่างๆ แต่ครั้งจะมีจำนวนดาวเทียมที่รับค่ามาบอกตลอด ดังรูปที่ 3.2

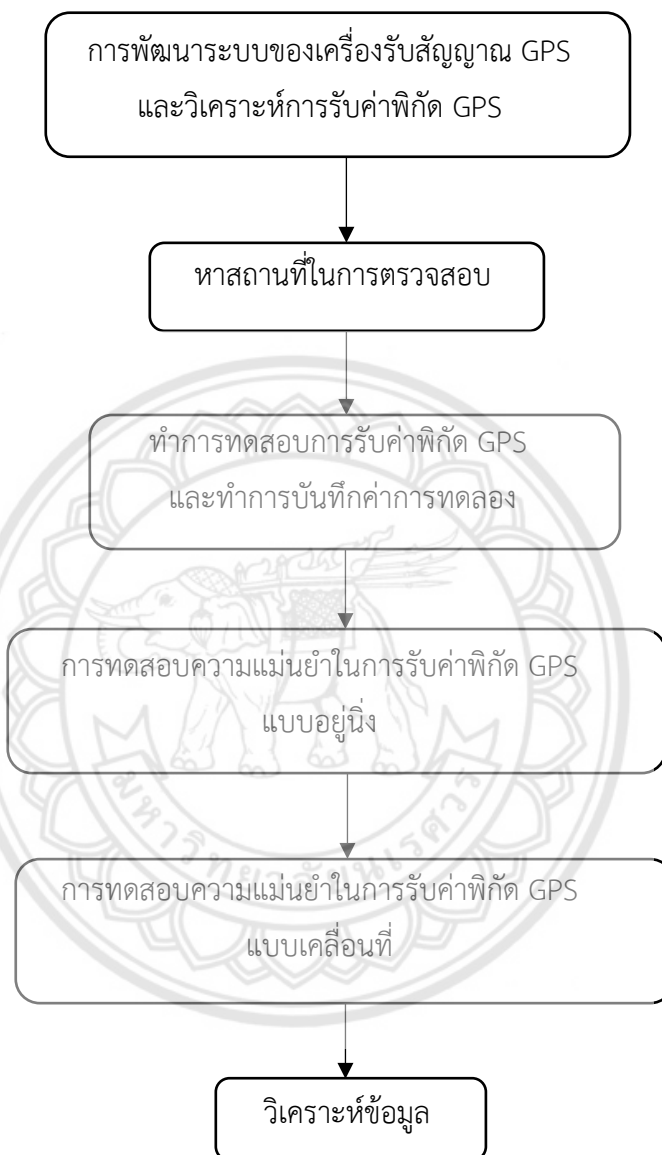


รูปที่ 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเก็บข้อมูล

รูปแบบค่าที่รับได้ คือ ค่าลองจิจูด (Longitude) และค่าละติจูด (Latitude) จากนั้นนำมาแปลงค่าลองจิจูดและค่าละติจูดที่เป็นองศา ลิปดา ฟิลิปดา ให้เป็นจุดทศนิยมโดยใช้โปรแกรม Excel เช่น จากรูปที่ 3.2 นำมาแปลงจะได้เป็น ละติจูดที่ 16 องศา 45 ลิปดา 10.773468 ฟิลิปดา ลองจิจูดที่ 100 องศา 11 ลิปดา 33.457020 ฟิลิปดา

### 3.3 การทำการทดสอบรับค่าพิกัด GPS

#### 3.3.1 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.3 แผนผังการดำเนินงาน

การดำเนินงานเริ่มจากการพัฒนาระบบของเครื่องรับสัญญาณ GPS โดยผ่านโปรแกรม Arduino และวิเคราะห์การรับค่าพิกัด GPS จากการทดลองซ้ำหลายๆ รอบ หาสถานที่ที่ใช้ในการทำการทดสอบโดยได้ทำการทดสอบที่หมุดบอกพิกัดของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ดังรูปที่ 3.4 ที่มีค่าละติจูดและลองจิจูด คือ 16.74663544, 100.19588470 และเริ่มทำการทดสอบ 2 แบบ คือ การทดสอบความแม่นยำในการรับค่าพิกัด GPS แบบอยู่นิ่ง และแบบเคลื่อนที่

### 3.3.2 การรับค่าพิกัด GPS แบบหยุดนิ่งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ติดตั้งตัว M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัวไว้ที่หมุดบอกพิกัดของคณะเกษตรศาสตร์ฯ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และตั้งค่าการรับสัญญาณไว้ที่ทุกๆ 10 วินาที เพื่อทดสอบเทียบกับพฤติกรรมการทำงานของตัว M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัวว่ามีพฤติกรรมการรับสัญญาณแตกต่างกันอย่างไร โดยตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง จะมีการตรวจสอบและบันทึกค่าทุกๆ 1 ชั่วโมง โดยค่าที่ทำการบันทึก ได้แก่ อุณหภูมิ สภาพอากาศ และจำนวนของดาวเทียมที่สามารถรับได้ว่าส่งผลต่อพฤติกรรมการรับสัญญาณของตัว M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัว หรือไม่



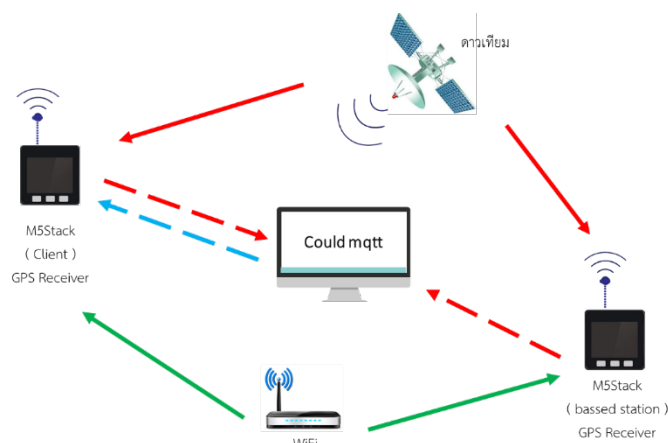
รูปที่ 3.4 เก็บค่าพิกัด GPS 24 ชั่วโมง

### 3.3.3 การรับส่งค่า GPS ผ่าน MQTT protocol แบบหยุดนิ่งที่เดียวกันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ติดตั้งตัว M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัวไว้ที่หมุดบอกพิกัดของคณะเกษตรศาสตร์ฯ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และตั้งค่ากับรับสัญญาณไว้ที่ทุกๆ 10 วินาที โดยกำหนดให้ ตัว M5stack Esp32 ตัวที่ 1 เป็น base station และ ตัวที่ 2 เป็น Client จากนั้นทำการเชื่อมต่อ WIFI ทั้ง 2 ตัว เพื่อเชื่อมต่อกับ Cloud MQTT โดยให้เป็นตัวกลางในการรับ-ส่งค่าพิกัด ซึ่ง M5stack Esp32 ตัวที่ 1 ที่เป็น base station จะทำการรับค่าพิกัดสัญญาณจากดาวเทียมแล้วนำค่าพิกัดที่ได้ไปลบกับค่าพิกัดจริงที่มีอยู่เพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนแล้วส่งไปยัง Cloud MQTT ที่เป็นตัวกลาง ในส่วน M5stack Esp32 ตัวที่ 2 ที่เป็น Client ซึ่งเป็นตัวรับสัญญาณจากดาวเทียมเช่นเดียวกัน โดยจะนำค่าพิกัดที่ได้ไปบวกกับค่าพิกัดที่อยู่ในตัวกลางของ Cloud MQTT เพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความแม่นยำมากขึ้น



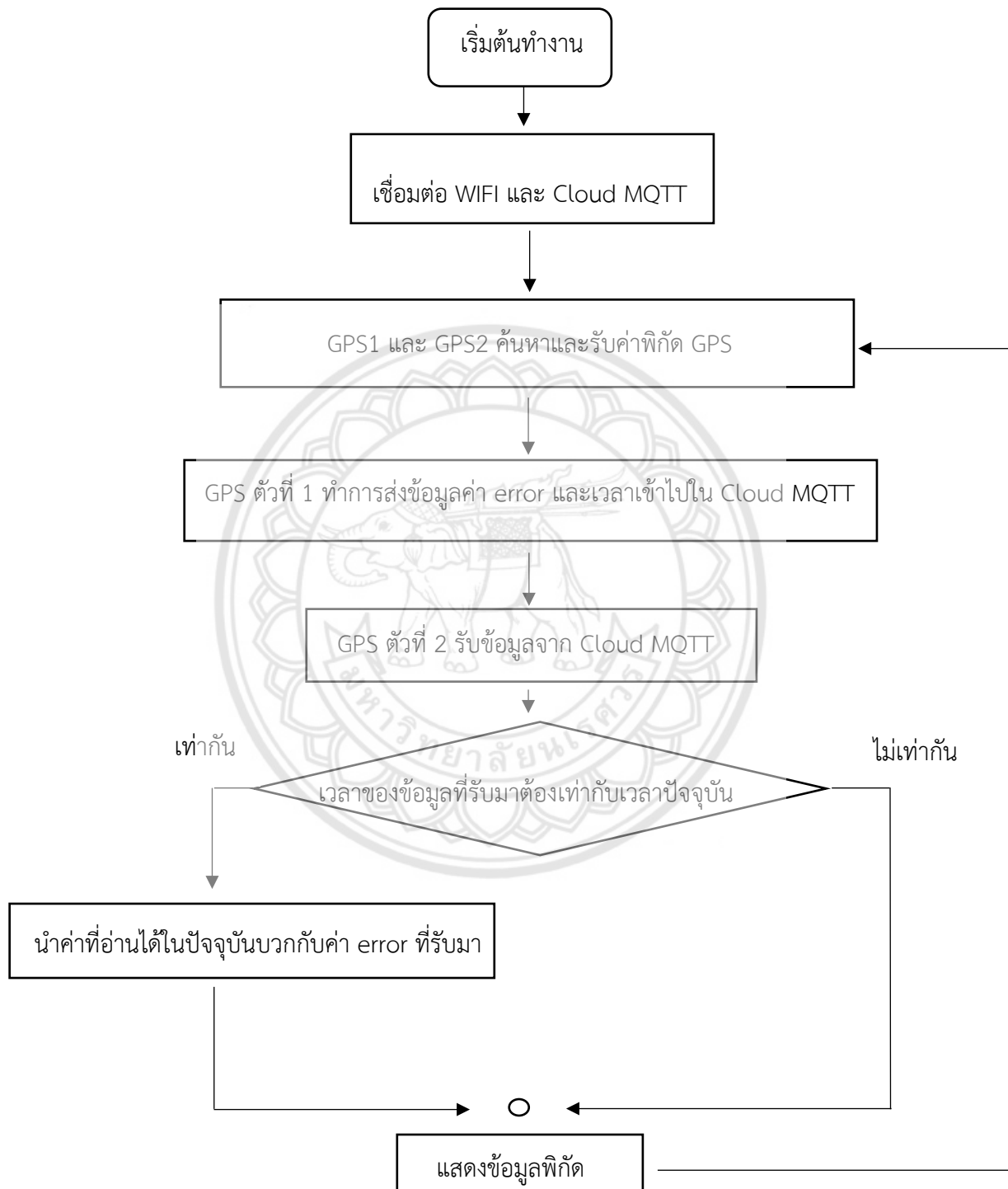
รูปที่ 3.5 ติดตั้งตัว M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัวไว้ที่หมุดบอกพิกัดของคณะเกษตรศาสตร์ฯ



รูปที่ 3.6 รูปแบบการทำงานของ M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัว



### 3.3.4 แผนการทำงานของเครื่องรับค่าพิกัด GPS ผ่าน Cloud MQTT



รูปที่ 3.7 แผนการทำงานของเครื่องรับค่าพิกัด GPS ผ่าน Cloud MQTT

### 3.3.5 การรับค่าพิกัด GPS แบบอยู่ห่างกัน 5 เมตร

ติดตั้งตัว M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัว ไว้ที่หมุดบอกพิกัดของคณะเกษตรศาสตร์ฯ โดยให้ตัวที่ 1 ที่เป็น base station อยู่ที่เดิมและให้ตัวที่ 2 ที่เป็น Client อยู่ห่างจากตัว base station เป็นระยะทาง 5 เมตร ทั้งหมด 3 ตำแหน่ง (3 ทิศทาง) โดยให้แต่ละตำแหน่งเก็บค่าตำแหน่งละ 4 ชั่วโมง จากนั้นตั้งค่าตัว M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัว เพื่อรับค่าสัญญาณพิกัดที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมทุกๆ 10 วินาที



รูปที่ 3.8 การติดตั้งตัว M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัว ให้มีระยะห่างกัน 5 เมตร

เพื่อทำการสอบเทียบค่าตำแหน่งของค่าพิกัดว่าเมื่อทำการย้ายตำแหน่งของตัว M5stack Esp32 ตัวที่ 2 ที่เป็น Client ทั้ง 3 ตำแหน่ง จะส่งผลต่อค่าพิกัดละติจูดหรือลองจิจูดหรือไม่ โดยให้ตัว M5stack Esp32 ตัวที่ 1 ที่เป็น base station ที่รู้ค่าตำแหน่งแน่นอนใช้เป็นค่าในการสอบเทียบ

### 3.3.6 การรับค่าพิกัด GPS ขณะอยู่กับที่ และเคลื่อนที่ (โดยการเดิน)

ติดตั้งตัว M5stack Esp32 ตัวที่ 1 ที่เป็น base station ไว้ที่หมุดบอกพิกัดของคณะเกษตรศาสตร์ฯ ที่ทราบค่าพิกัดจริง และเก็บค่า M5stack Esp32 ตัวที่ 2 ที่เป็น Client โดยการเดินเป็นระยะเวลา 2 นาที ทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นนำค่าพิกัดจาก base station ไปลบกับค่าจริงเพื่อให้ทราบค่าความคลาดเคลื่อน ว่าเป็นเท่าไร และทำการจดบันทึกค่าความคลาดเคลื่อน หลังจากนั้นให้นำค่าพิกัดของตัว Client ที่ได้ในขณะที่เคลื่อนที่ไปลบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากตัว base station เพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยค่าที่จะสามารถนำมาลบกันได้นั้นจะต้องเป็นค่าพิกัดที่มีเวลาตรงกัน โดยจะตั้งค่าพิกัดการรับสัญญาณจากดาวเทียมของ M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัวให้รับค่าทุกๆ 1 วินาที



รูปที่ 3.9 การเก็บค่าพิกัดจากการเคลื่อนที่โดยการเดิน

### 3.3.7 การรับค่าพิกัด GPS ขณะอยู่กับที่ และเคลื่อนที่ (โดยรถจักรยานยนต์)

ติดตั้งตัว M5stack Esp32 ตัวที่ 1 ที่เป็น base station ไว้ที่หมุดบอกพิกัดของคณะเกษตรศาสตร์ ที่ทราบค่าพิกัดจริง และติดตั้งตัว M5stack Esp32 ตัวที่ 2 ที่เป็น Client ไว้กับรถจักรยานยนต์ที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง เป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร ทำการจับเวลาทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นนำค่าพิกัดจาก base station ไปลบกับค่าจริงเพื่อให้ทราบค่าความคลาดเคลื่อนว่าเป็นเท่าไร และทำการจดบันทึกค่าความคลาดเคลื่อน หลังจากนั้นให้นำค่าพิกัดของตัว Client ที่ได้ในขณะที่เคลื่อนที่ไปลบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากตัว base station เพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยค่าที่จะสามารถนำมาลบกันได้นั้นจะต้องเป็นค่าพิกัดที่มีเวลาตรงกัน โดยจะตั้งค่าพิกัดการรับสัญญาณจากดาวเทียมของ M5stack Esp32 ทั้ง 2 ตัวให้รับค่าทุกๆ 1 วินาที



รูปที่ 3.10 การเก็บค่าพิกัดจากการเคลื่อนที่โดยรถจักรยานยนต์

### 3.4 การทดสอบความเที่ยงตรงในการรับค่าพิกัด GPS

การรับค่าพิกัดทุกครั้งจะมีการบันทึกค่าที่อ่านมาได้ลงใน SD Card เพื่อนำค่าที่อ่านได้มาตรวจสอบเช็คความแม่นยำในการรับค่า ในการตรวจสอบจะเช็คค่าขณะที่รับค่าพิกัดในตอนที่ยานของดาวเทียมที่รับมาเท่ากับ 12 ดาวเทียม คือจำนวนสูงสุดของการรับค่าจากดาวเทียมของเครื่องรับค่า GPS นี้ การตรวจสอบความแม่นยำในการรับค่าจะเช็คได้จากการที่นำเครื่องรับค่าพิกัด GPS ไปรับค่าที่หมุดที่รู้ตำแหน่งอยู่แล้ว คือที่หน้าคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ดังในรูปที่ 3.5 ทำการวัดค่าแล้วนำค่าที่อ่านได้นั้น มาตรวจสอบกับค่าจริงที่รู้อยู่แล้วโดยการนำค่าจริงลบด้วยค่าของพิกัดที่อ่านได้ในเวลาต่างๆ ซึ่งค่าที่อ่านได้แสดงอยู่ในหน่วยองศา และนำค่าทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่า SD ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตาราง 3.1 ตรวจสอบหาค่า error ของค่าที่อ่านได้

ลำดับ	วันที่	เวลา	latitude	longitude	error	
					latitude	longitude
1	3/7/2020	9:15:00	16.74665833	100.19586182	-0.00001499	0.00000577
2	3/7/2020	9:15:10	16.74665451	100.19586182	-0.00001117	0.00000577
3	3/7/2020	9:15:20	16.74665070	100.19584656	-0.00000736	0.00002103
4	3/7/2020	9:15:30	16.74664879	100.19583893	-0.00000545	0.00002866
5	3/7/2020	9:15:40	16.74665260	100.19584656	-0.00000926	0.00002103
6	3/7/2020	9:15:50	16.74665451	100.19585419	-0.00001117	0.00001340
7	3/7/2020	9:16:00	16.74665260	100.19586182	-0.00000926	0.00000577
8	3/7/2020	9:16:10	16.74664879	100.19586182	-0.00000545	0.00000577
9	3/7/2020	9:16:20	16.74664688	100.19586182	-0.00000354	0.00000577
10	3/7/2020	9:16:30	16.74664879	100.19586945	-0.00000545	-0.00000186

ตาราง 3.2 หาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่า SD ของค่า error ในตาราง 3.1

ค่า error	latitude	longitude
ค่าเฉลี่ย	-0.00000831	0.00001111
max	-0.00000354	0.00002866
mean	-0.00001499	-0.00000186
SD	0.00000351	0.00000955

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผล

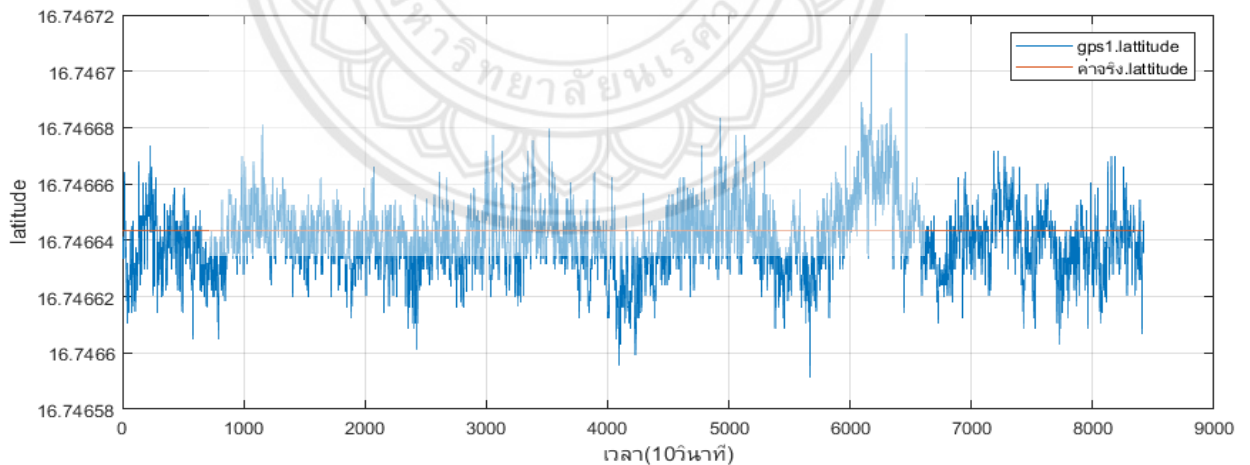
จากที่ผู้ดำเนินโครงการได้ดำเนินโครงการตามหัวข้อที่ได้กำหนดในแผนการดำเนินงานสามารถแสดงผลการดำเนินงานโครงการและรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 การทดสอบความแม่นยำในการรับค่าพิกัด GPS

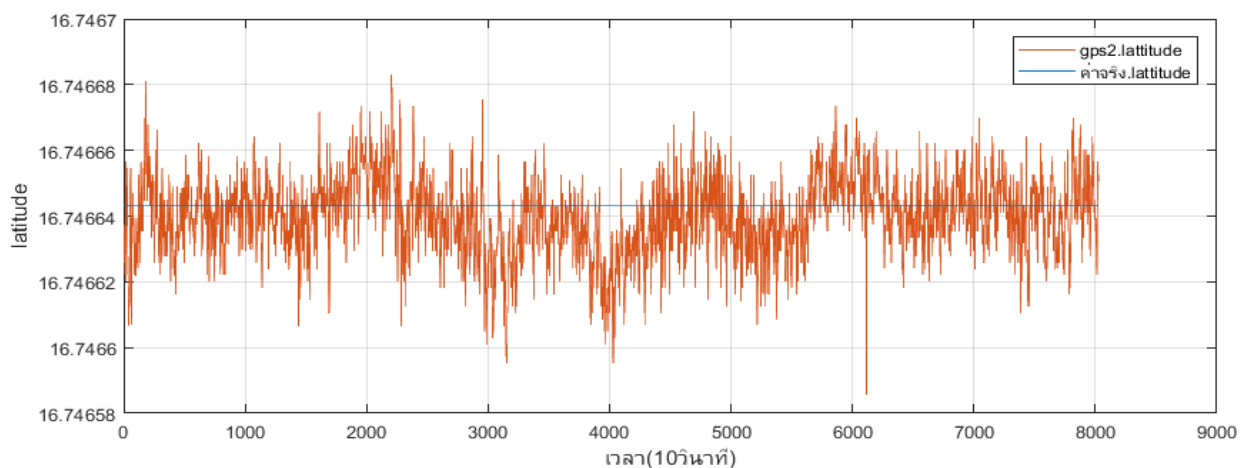
การทดสอบความแม่นยำในการรับค่าพิกัด GPS ที่ใช้ในการทำโครงการ ทดสอบโดยการทดลองรับค่าพิกัดของเครื่องรับสัญญาณ GPS จำนวน 2 เครื่อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบันทึกค่าทุกๆ 10 วินาที โดยเครื่องรับสัญญาณทั้งสองจะรับค่าพิกัดแบบละติจูดและลองจิจูดที่เวลาเท่ากัน เพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องรับสัญญาณทั้งสอง ในขณะที่สภาพอากาศปลอดโปร่งตลอดทั้งวัน

##### 4.1.1 การทดสอบการรับค่าละติจูดของเครื่องรับสัญญาณ GPS1 และ GPS2

การทดสอบการรับค่าละติจูด โดยการกำหนดตัวแปรในกราฟแกน X เป็นค่าตัวแปรของเวลา และแกน Y เป็นค่าละติจูด แสดงข้อมูลการทดสอบในรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 การรับค่าสัญญาณละติจูดของตัวรับสัญญาณ GPS1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

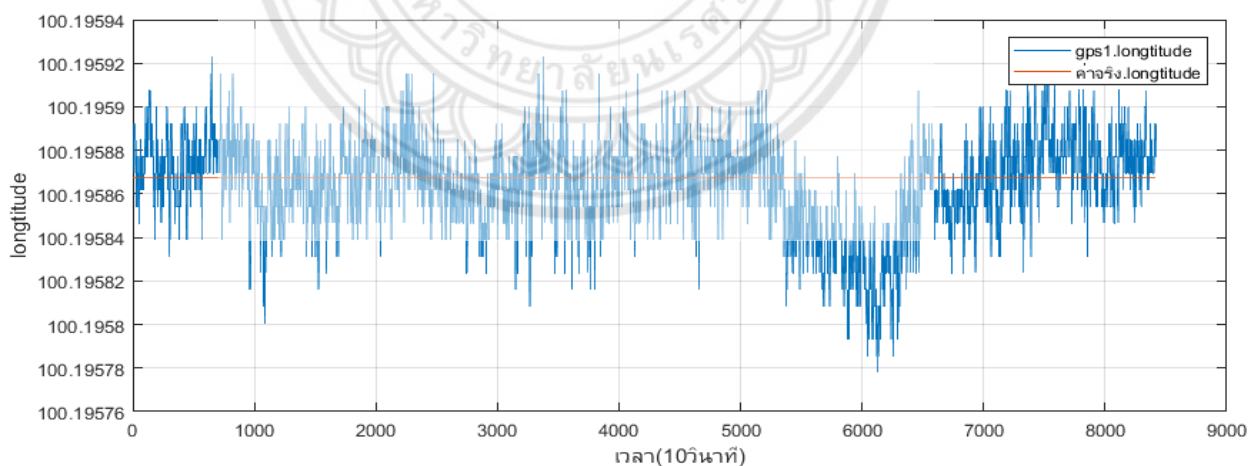


รูปที่ 4.2 การรับค่าสัญญาณละติจูดของตัวรับสัญญาณ GPS2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

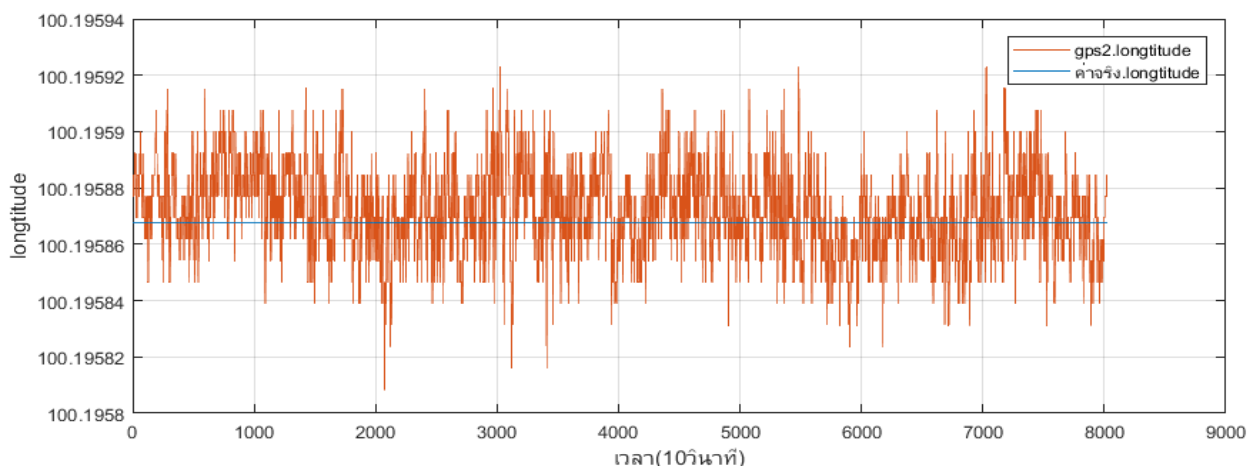
จากการทดลองการรับค่าละติจูดของ GPS1 และ GPS2 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าจริงของละติจูด จะเห็นได้ว่าการรับค่าที่ก๊อปปี้ทั้งสองจะมีการคลาดเคลื่อนในรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน

#### 4.1.2 การทดสอบการรับค่าลองจิจูดของเครื่องรับสัญญาณ GPS1 และ GPS2

การทดสอบการรับค่าลองจิจูด โดยการกำหนดตัวแปรในกราฟแกน X เป็นค่าตัวแปรของเวลา และแกน Y เป็นค่าลองจิจูด แสดงข้อมูลการทดสอบในรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 การรับค่าสัญญาณลองจิจูดของตัวรับสัญญาณ GPS1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



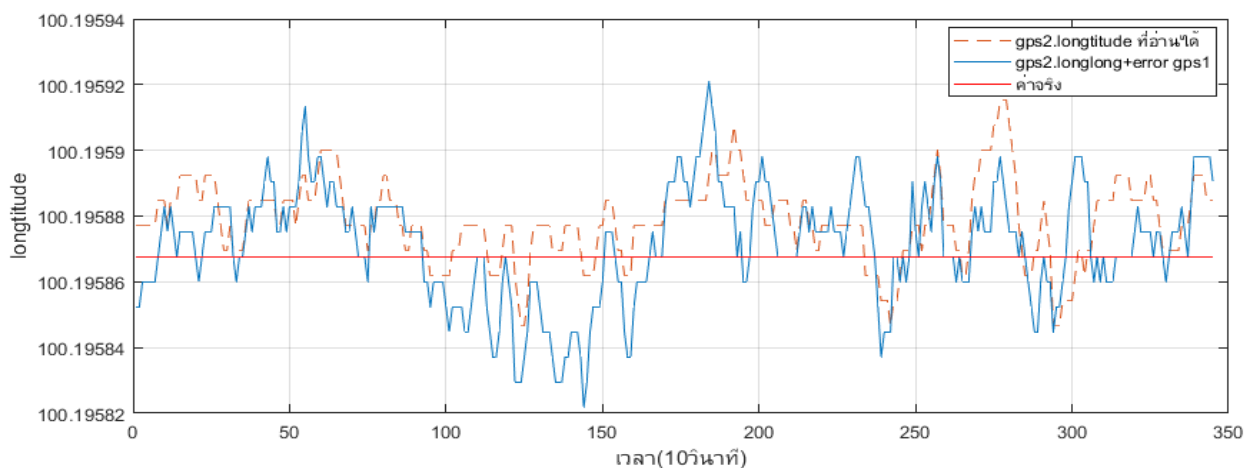
รูปที่ 4.4 การรับค่าสัญญาณลองจิจูดของตัวรับสัญญาณ GPS2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากการทดลองการรับค่าลองจิจูดของ GPS1 และ GPS2 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าจริงของลองจิจูด จะเห็นได้ว่าการรับค่าพิกัดทั้งสองจะมีการคลาดเคลื่อนในรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน จะมีช่วงเวลาที่ 5,000–7,000 ที่มีความคลาดเคลื่อนต่างกันมาก โดยในช่วงนั้น GPS1 และ GPS2 มีค่าเฉลี่ยคือ 100.19584938, 100.19586625 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 1.713, 1.214 ตามลำดับ จะเห็นว่าตัวรับสัญญาณ GPS1 ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่มากกว่า GPS2

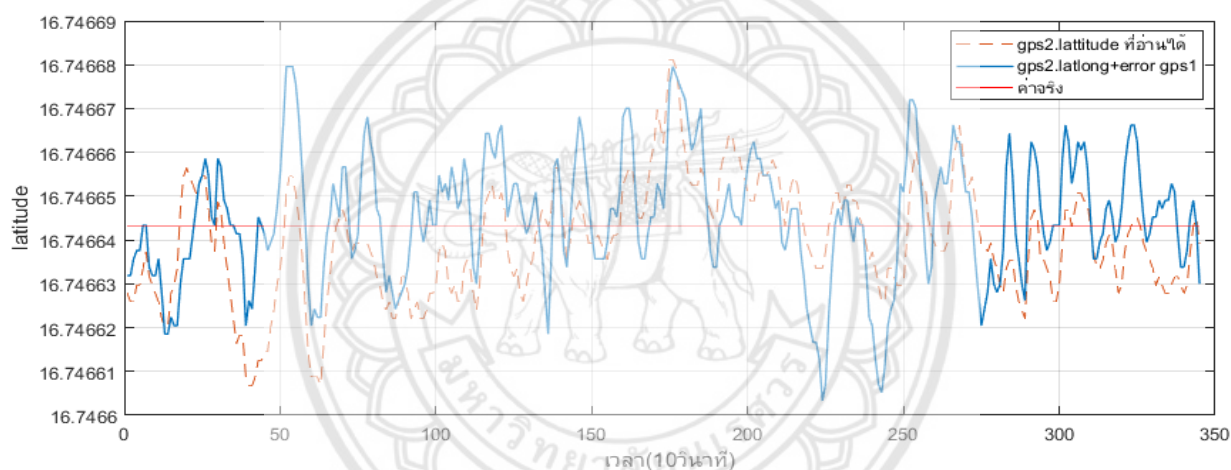
#### 4.1.3 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของ GPS2 เมื่อรวมกับความคลาดเคลื่อนของ GPS1

จากการทดสอบการรับค่าพิกัดของละติจูดและลองจิจูด จะเห็นได้ว่าค่าพิกัดของ GPS1 และ GPS2 มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจึงไม่ใช่ความผิดพลาดของตัวรับสัญญาณ จึงทำให้ผู้ทดลองได้ทดสอบความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด GPS2 เมื่อนำมารวมกับค่าคลาดเคลื่อน GPS1 ในเวลาเดียวกัน เพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับ GPS2 โดยการเลือกข้อมูลตัวอย่างมา 1 ชั่วโมง ในการทำการทดสอบแสดงข้อมูลการทดสอบในรูปที่ 4.5 และ 4.6





รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบของค่าละติจูดหลังนำมารวมกับค่าความคลาดเคลื่อน GPS1



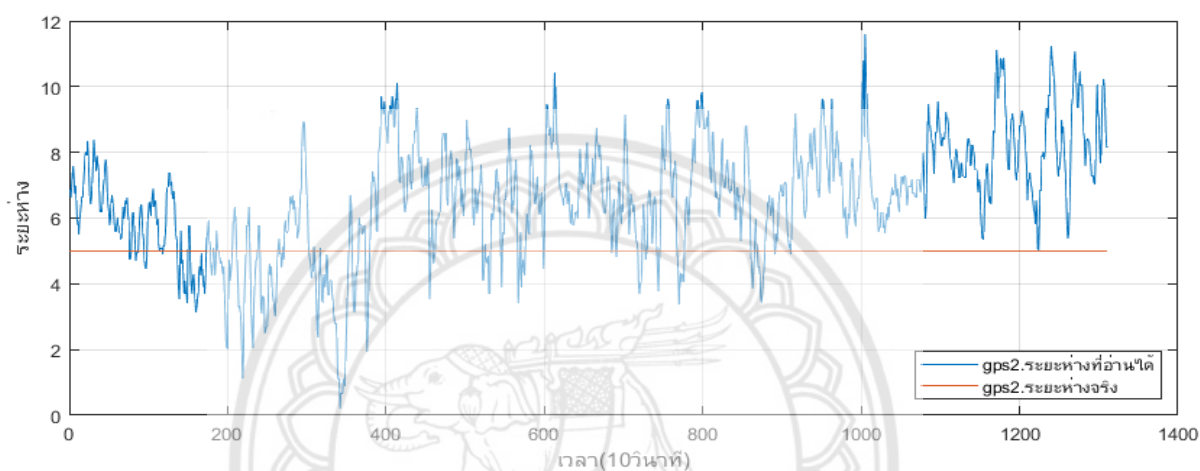
รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบของค่าลองติจูดหลังนำมารวมกับค่าความคลาดเคลื่อน GPS2

จากการทดสอบจะเห็นว่า การที่นำค่าความคลาดเคลื่อนละติจูด และลองติจูดของ GPS1 มารวมกับค่าละติจูดของ GPS2 ทำให้ช่วยเพิ่มความแม่นยำของ GPS2 ได้แค่บางช่วงเวลาเท่านั้น และในบางช่วงเวลาค่าละติจูดและลองติจูดก็คลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น เช่น ในรูปที่ 4.6 ที่ช่วงเวลาที่ 300-310 ค่าที่เพิ่มความแม่นยำจะมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าที่อ่านได้แบบปกติ

## 4.2 การทดสอบความแม่นยำโดยการวางตัวรับสัญญาณไว้ห่างกัน

### 4.2.1 การทดสอบโดยการวางห่างออกไปทางทิศตะวันออก 5 เมตร

จากการทดสอบทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้ กำหนดให้แกน X เป็นเวลา และแกน Y เป็นค่าระยะห่างของ GPS2 เมื่อเทียบกับจุดตั้งต้นที่ละติจูด 16.74664334 ลองติจูด 100.19586759 แสดงได้ในรูปที่ 4.7

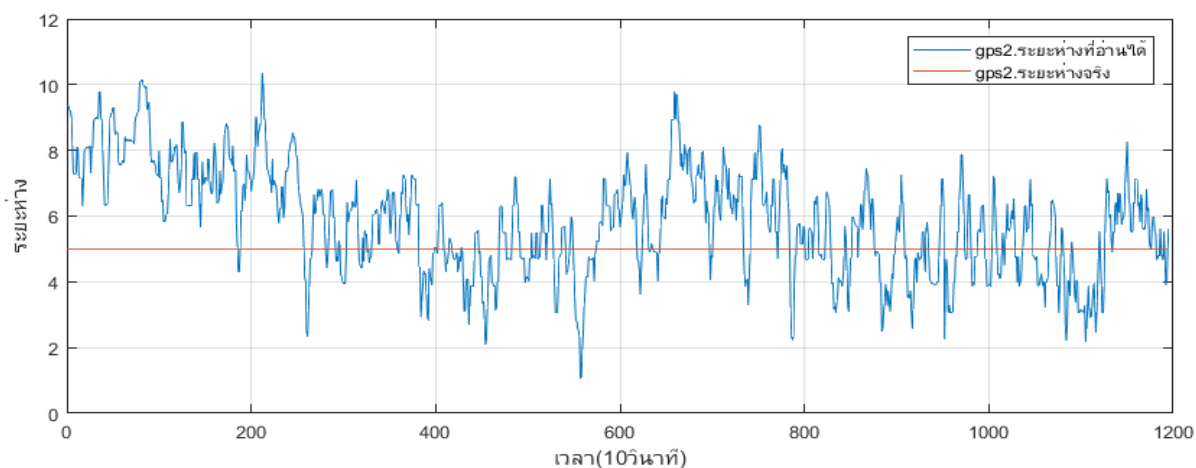


รูปที่ 4.7 การทดสอบหาระยะห่างที่ห่างออกไปทางทิศตะวันออก 5 เมตร

จากการทดสอบการวางตัวรับสัญญาณ GPS2 ห่างออกไปทางทิศตะวันออก 5 เมตร มีค่าเฉลี่ยของค่าระยะห่างอยู่ที่ 6.613 เมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไป 1.613 เมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 1.797 แสดงว่าข้อมูลนี้มีการกระจายตัวที่ปกติ

### 4.2.2 การทดสอบโดยการวางห่างออกไปทางทิศใต้ 5 เมตร

จากการทดสอบทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้ กำหนดให้แกน X เป็นเวลา และแกน Y เป็นค่าระยะห่างของ GPS2 เมื่อเทียบกับจุดตั้งต้นที่ละติจูด 16.74664334 ลองติจูด 100.19586759 แสดงได้ในรูปที่ 4.8

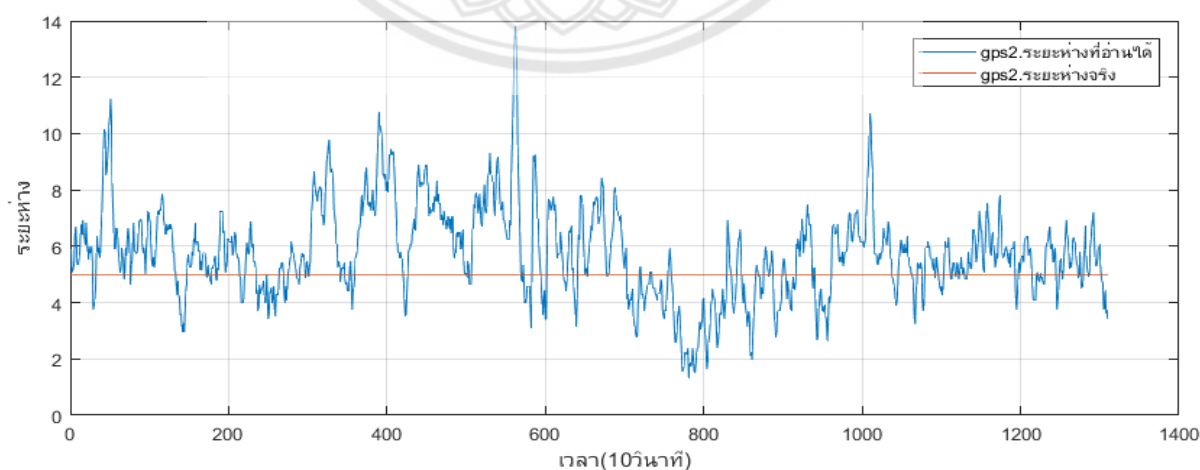


รูปที่ 4.8 การทดสอบหาระยะห่างที่ห่างออกทางทิศใต้ 5 เมตร

จากการทดสอบการวางตัวรับสัญญาณ GPS2 ห่างออกไปทางทิศใต้ 5 เมตร มีค่าเฉลี่ยของค่าระยะห่างอยู่ที่ 5.834 เมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการทดสอบระยะห่างทางทิศตะวันออก และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 1.626 แสดงว่าข้อมูลนี้มีการกระจายตัวที่ปกติ

#### 4.2.2 การทดสอบโดยการวางห่างออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 5 เมตร

จากการทดสอบทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้ กำหนดให้แกน X เป็นเวลา และแกน Y เป็นค่าระยะห่างของ GPS2 เมื่อเทียบกับจุดตั้งต้นที่ละติจูด 16.74664334 ลองติจูด 100.19586759 แสดงได้ในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การทดสอบหาระยะห่างที่ห่างออกทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 5 เมตร

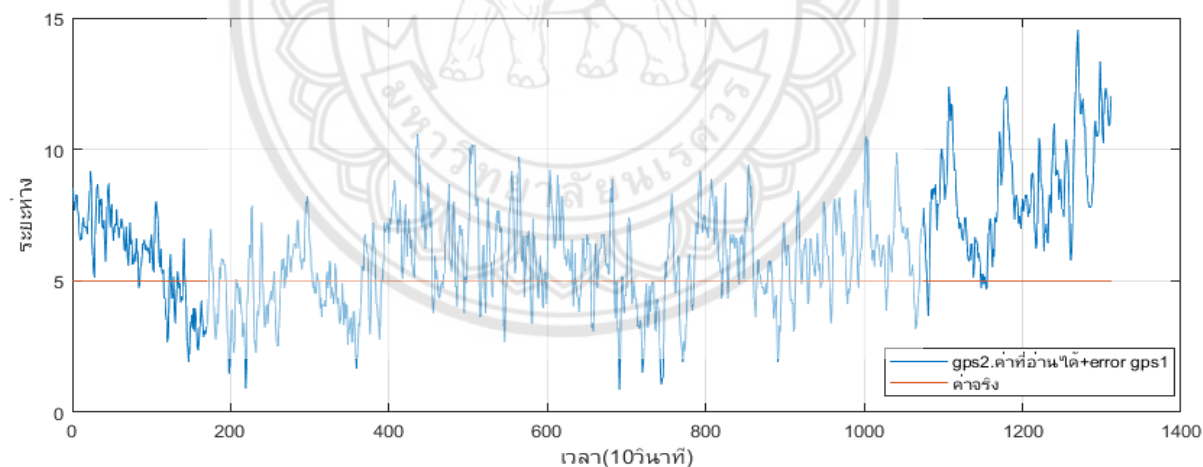
จากการทดสอบการวางตัวรับสัญญาณ GPS2 ห่างออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 5 เมตร มีค่าเฉลี่ยของค่าระยะห่างอยู่ที่ 5.747 เมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการห่างทางทิศตะวันออกเฉียงและทางทิศใต้ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 1.623 ซึ่งใกล้เคียงกับของการทดสอบระยะห่างทางทิศใต้

### 4.3 การทดสอบการเพิ่มความแม่นยำให้กับตัวรับสัญญาณที่วางไว้ห่างกัน

ทำการทดสอบเพิ่มความแม่นยำโดยการนำค่าความคลาดเคลื่อนของ GPS1 ไปรวมกับค่าที่อ่านได้ของ GPS2 และตรวจสอบค่าได้เทียบกับรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9

#### 4.3.1 การทดสอบการเพิ่มความแม่นยำของการวางห่างออกไปทางทิศตะวันออกเฉียง 5 เมตร

จากการทดสอบทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้ กำหนดให้แกน X เป็นเวลา และแกน Y เป็นค่าระยะห่างของ GPS2 ที่รวมกับค่าความคลาดเคลื่อน GPS1 เทียบกับระยะห่าง 5 เมตร แสดงได้ในรูปที่ 4.10

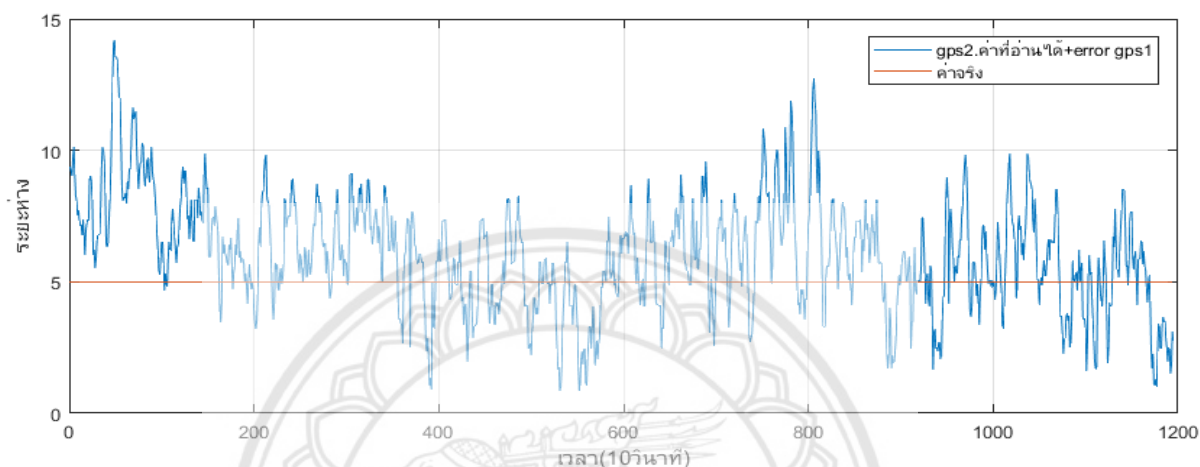


รูปที่ 4.10 ผลการทดลองการเพิ่มความแม่นยำของค่าที่ห่างออกไปทางทิศตะวันออกเฉียง 5 เมตร

จากการทดสอบการเพิ่มความแม่นยำของตัวรับสัญญาณ GPS2 ที่ห่างออกไปทางทิศตะวันออกเฉียง 5 เมตร มีค่าเฉลี่ยของค่าระยะห่างอยู่ที่ 6.213 เมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าเดิม แต่จะมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพิ่มขึ้นเป็น 2.115 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเพิ่มขึ้น

#### 4.3.2 การทดสอบการเพิ่มความแม่นยำของการวางทางออกไปทางทิศใต้ 5 เมตร

จากการทดสอบทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้ กำหนดให้แกน X เป็นเวลา และแกน Y เป็นค่า ระยะห่างของ GPS2 ที่รวมกับค่าความคลาดเคลื่อน GPS1 เทียบกับระยะห่าง 5 เมตร แสดงได้ใน รูปที่ 4.11



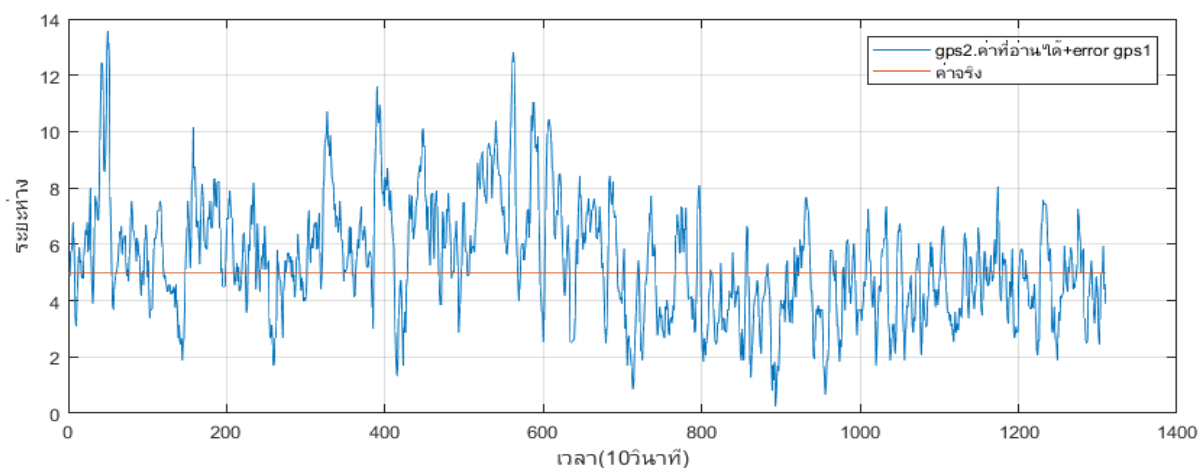
รูปที่ 4.11 ผลการทดลองการเพิ่มความแม่นยำของค่าที่ห่างออกไปทางทิศใต้ 5 เมตร

จากการทดสอบการเพิ่มความแม่นยำของตัวรับสัญญาณ GPS2 ที่ห่างออกไปทางทิศใต้ 5 เมตร มีค่าเฉลี่ยของค่าระยะห่างอยู่ที่ 6.047 เมตร ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการที่ยังไม่เพิ่มความแม่นยำ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพิ่มขึ้นเป็น 2.118 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเพิ่มขึ้น

#### 4.3.3 การทดสอบการเพิ่มความแม่นยำของการวางทางออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

##### 5 เมตร

จากการทดสอบทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้ กำหนดให้แกน X เป็นเวลา และแกน Y เป็นค่า ระยะห่างของ GPS2 ที่รวมกับค่าความคลาดเคลื่อน GPS1 เทียบกับระยะห่าง 5 เมตร แสดงได้ใน รูปที่ 4.12



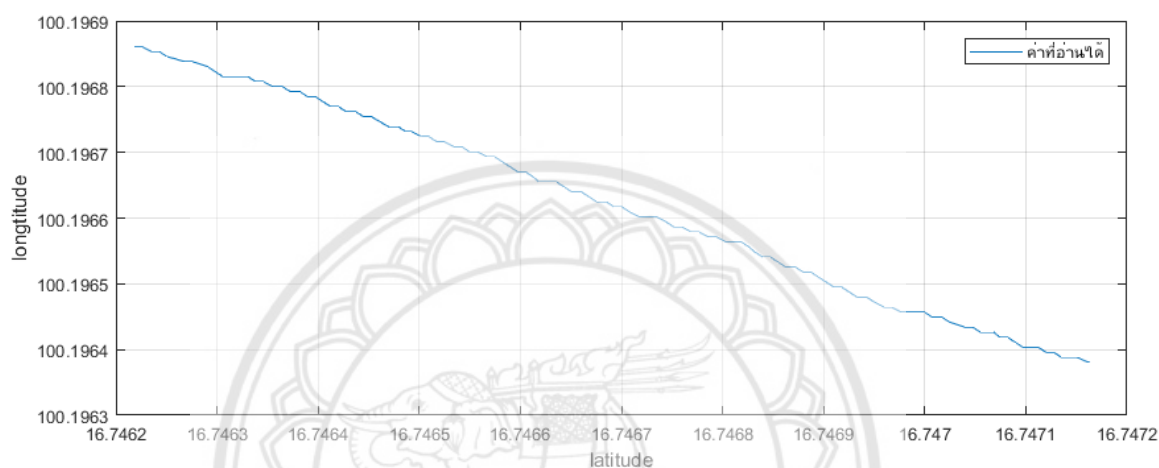
รูปที่ 4.12 ผลการทดลองการเพิ่มความแม่นยำของค่าที่ห่างออกทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 5 เมตร

จากการทดสอบการเพิ่มความแม่นยำของตัวรับสัญญาณ GPS2 ที่ห่างออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ 5 เมตร มีค่าเฉลี่ยของค่าระยะห่างอยู่ที่ 5.354 เมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากขึ้น และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพิ่มขึ้นเป็น 2.035 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเพิ่มขึ้น

จากการทดสอบการเพิ่มความแม่นยำของทั้ง 3 ทิศทาง จะเห็นได้ว่าความแม่นยำในการรับค่าสัญญาณส่วนใหญ่มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากขึ้น และทั้ง 3 ข้อมูลจะมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เพิ่มขึ้น

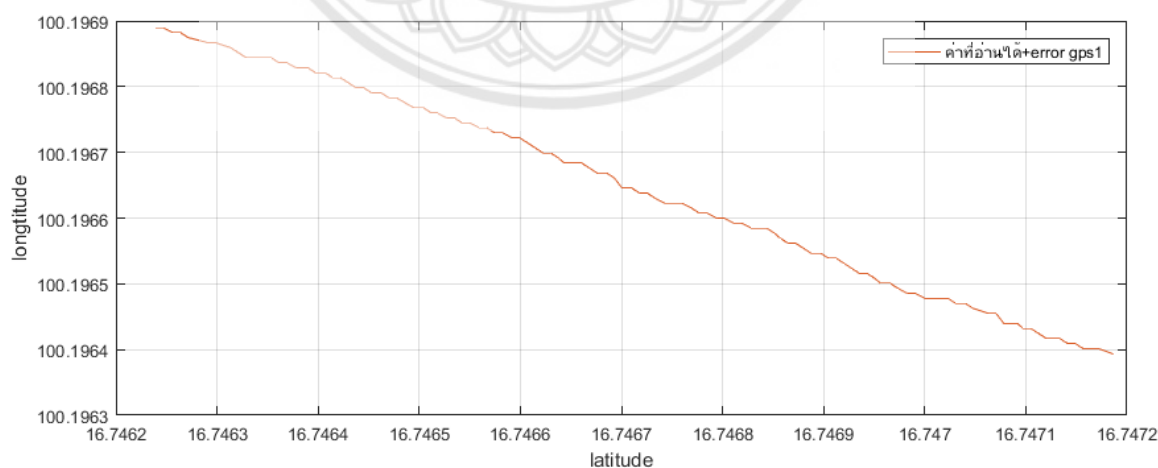
#### 4.4 การทดสอบการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง

ทำการทดสอบโดยการให้ตัวรับสัญญาณ GPS1 อยู่นิ่ง ตัวรับสัญญาณ GPS2 เคลื่อนที่โดยการเดินเป็นเส้นตรง ทำการทดสอบจำนวน 3 รอบ ที่เวลาและระยะทางที่ใกล้เคียงกัน แล้วนำค่าที่ได้นั้นมาเปรียบเทียบกับค่าที่ทำการเพิ่มความแม่นยำโดยการนำค่าที่อ่านได้ไปรวมกับค่าความคลาดเคลื่อนของ GPS1



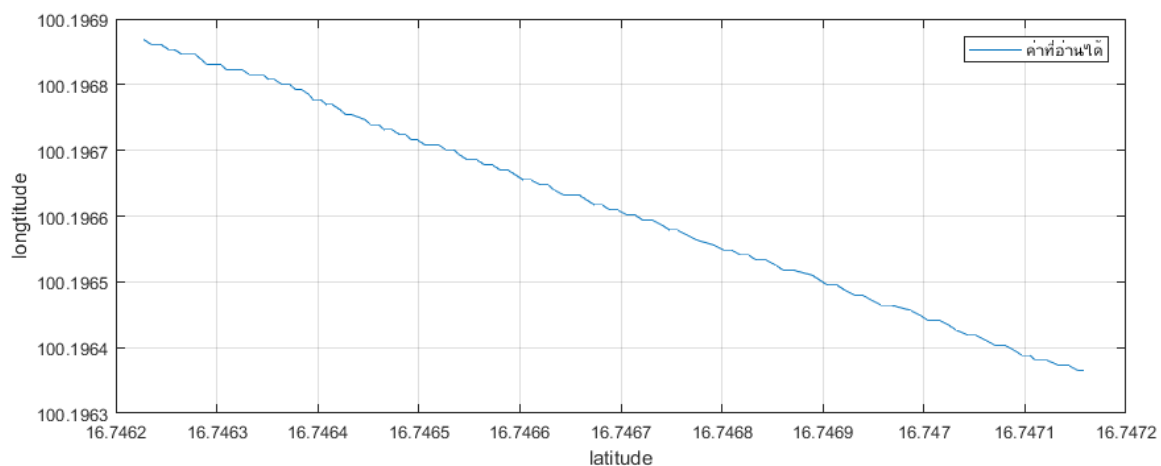
รูปที่ 4.13 ผลการทดลองการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงรอบที่ 1

จากการทดลองจะเห็นว่าค่าพิกัดที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกับเส้นตรงมาก โดยมีค่าพอลิโนเมียลเป็น  $y = -0.5317x + 109.1$  และมีค่า  $R^2 = 0.9986$



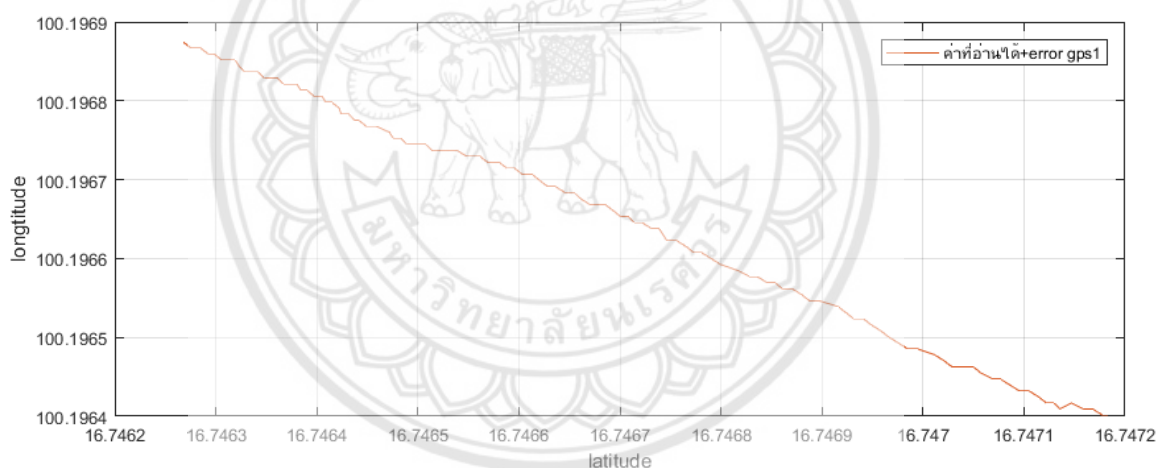
รูปที่ 4.14 ผลการเพิ่มความแม่นยำของค่าพิกัดการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงรอบที่ 1

จากการทดลองและเพิ่มความแม่นยำจะเห็นว่าค่าพิกัดที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกับเส้นตรงมากขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่า พอลิโนเมียลเป็น  $y = -0.5508x + 109.42$  และมีค่า  $R^2 = 0.9973$



รูปที่ 4.15 ผลการทดลองการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงรอบที่ 2

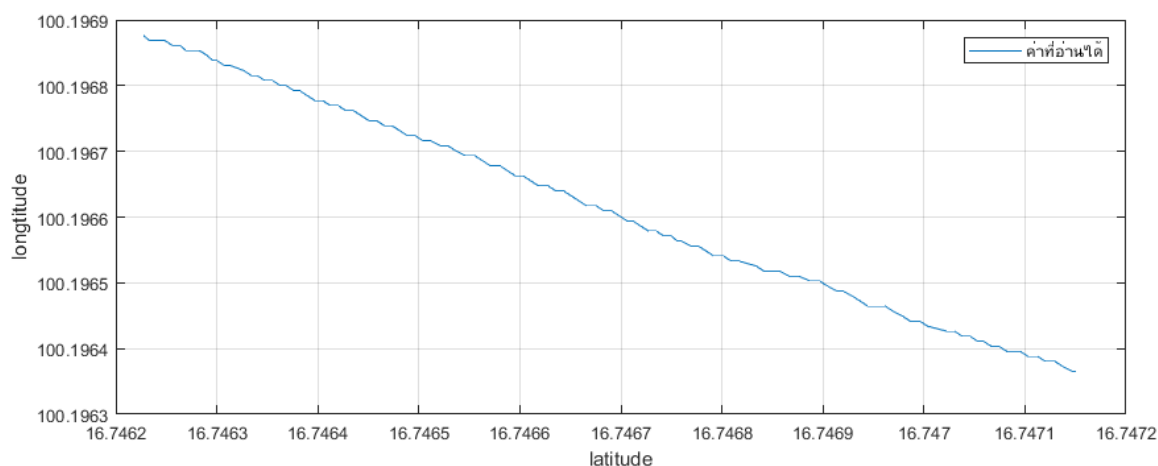
จากการทดลองจะเห็นว่าค่าพิกัดที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกับเส้นตรงมาก โดยมีค่าพอลิโนเมียลเป็น  $y = -0.5494x + 109.4$  และมีค่า  $R^2 = 0.9992$



รูปที่ 4.16 ผลการเพิ่มความแม่นยำของค่าพิกัดการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงรอบที่ 2

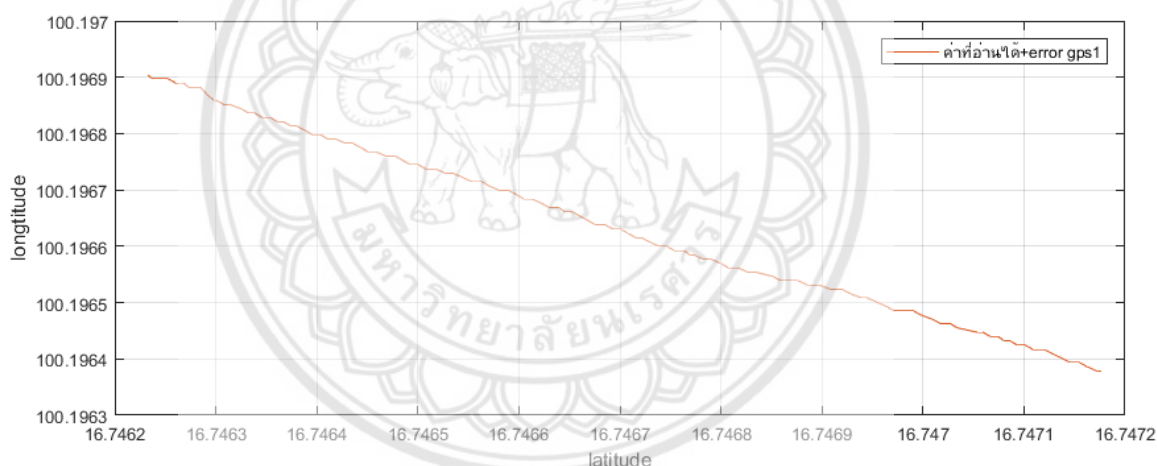
จากการทดลองและเพิ่มความแม่นยำจะเห็นว่าค่าพิกัดที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกับเส้นตรงน้อยลงเล็กน้อย โดยมีค่าพอลิโนเมียลเป็น  $y = -0.5261x + 109.01$  และมีค่า  $R^2 = 0.9969$





รูปที่ 4.17 ผลการทดลองการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงรอบที่ 3

จากการทดลองจะเห็นว่าค่าพิกัดที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกับเส้นตรงมาก โดยมีค่าพอลิโนเมียลเป็น  $y = -0.5642x + 109.65$  และมีค่า  $R^2 = 0.9986$



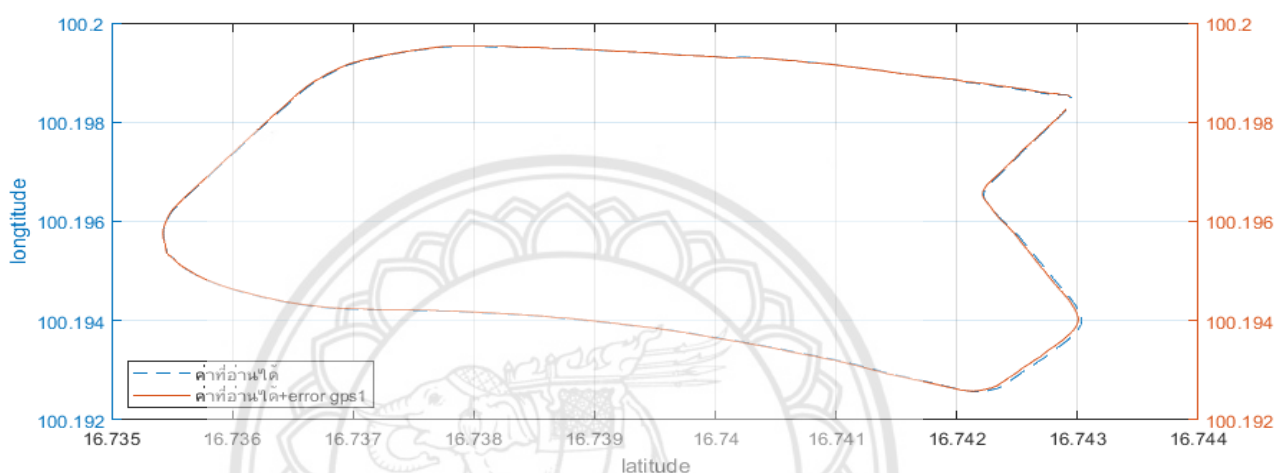
รูปที่ 4.18 ผลการเพิ่มความแม่นยำของค่าพิกัดการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงรอบที่ 3

จากการทดลองและเพิ่มความแม่นยำจะเห็นว่าค่าพิกัดที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกับเส้นตรง โดยมีค่าพอลิโนเมียลเป็น  $y = -0.5497x + 109.4$  และมีค่า  $R^2 = 0.997$

จากการทดลองในครั้งนี้ทำให้เห็นว่าการเพิ่มความแม่นยำของการรับค่าพิกัดไม่มีผลกับการเคลื่อนที่เส้นตรง ดังนั้นสามารถใช้การเพิ่มความแม่นยำแบบการนำค่าคลาดเคลื่อน GPS1 ไปรวมกับค่าพิกัด GPS2 ในการเคลื่อนที่ได้

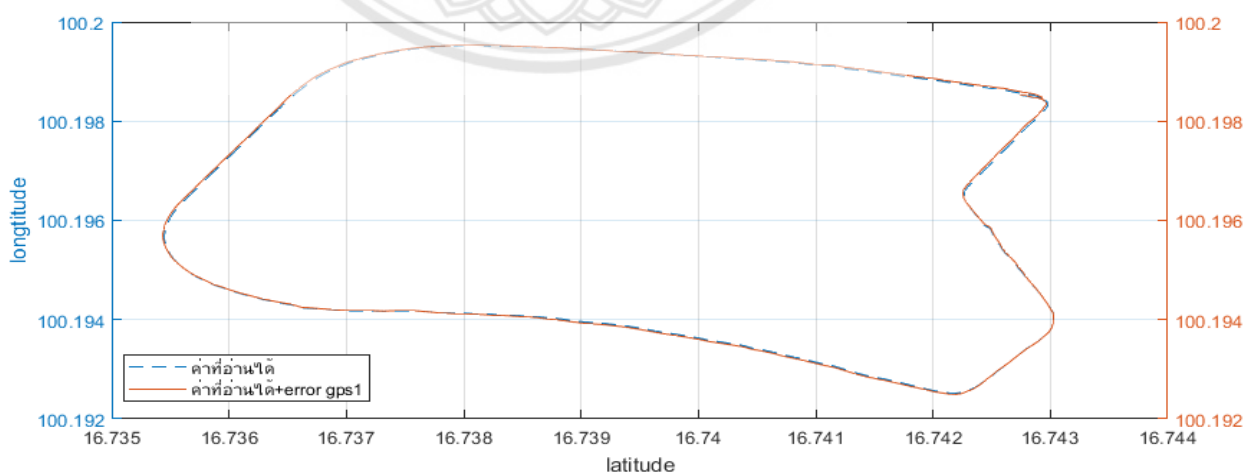
#### 4.5 การทดสอบการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่

ทำการทดสอบโดยการให้ตัวรับสัญญาณ GPS1 อยู่นิ่ง ตัวรับสัญญาณ GPS2 เคลื่อนที่โดยการขับรถจักรยานยนต์ ทำการทดสอบจำนวน 3 รอบ ที่เวลาและระยะทางที่ใกล้เคียงกัน แล้วนำค่าที่ได้นั้นมาเปรียบเทียบกับค่าที่ทำการเพิ่มความแม่นยำโดยการนำค่าที่อ่านได้ไปรวมกับค่าความคลาดเคลื่อนของ GPS1



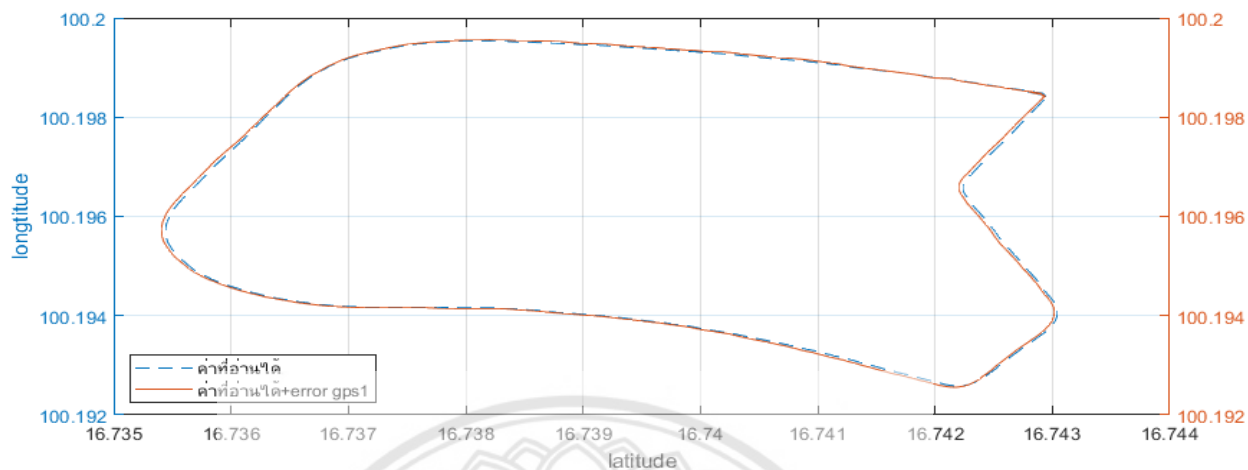
รูปที่ 4.19 ผลการทดลองการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่รอบที่ 1

จากการทดลองครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยละติจูดและลองจิจูดของความคลาดเคลื่อนของ GPS1 คือ  $-0.00001902, 0.00001337$



รูปที่ 4.20 ผลการทดลองการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่รอบที่ 2

จากการทดลองครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยละติจูดและลองจิจูดของความคลาดเคลื่อนของ GPS1 คือ  
-0.00000985 ,0.00000539



รูปที่ 4.21 ผลการทดลองการรับค่าพิกัดโดยการเคลื่อนที่รอบที่ 3

จากการทดลองครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยละติจูดและลองจิจูดของความคลาดเคลื่อนของ GPS1 คือ  
-0.00002439 ,0.00000367

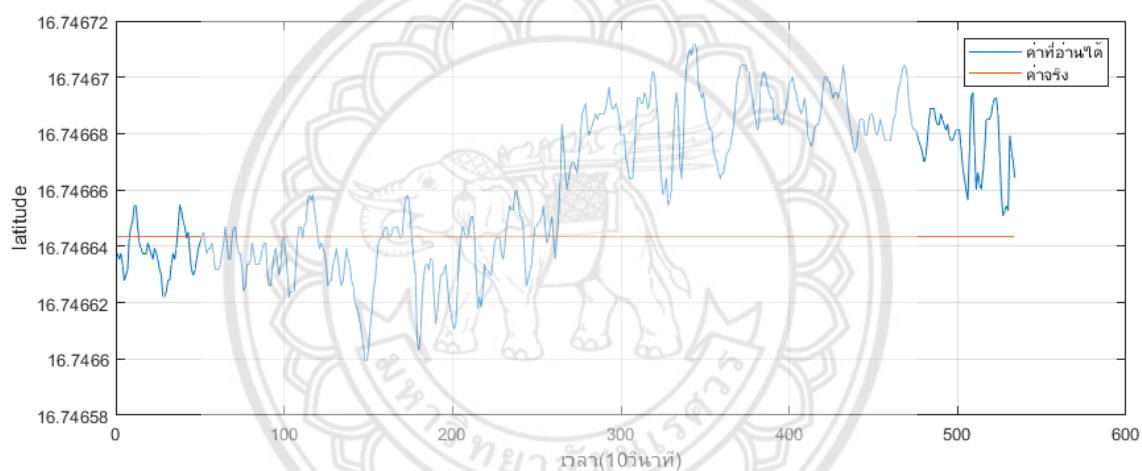
จากการทดลองในครั้งนี้ทำให้เห็นว่ากรอ่านค่าแบบปกติและการเพิ่มความแม่นยำการรับค่าพิกัดในการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเส้นตรงไม่ทำให้การเคลื่อนที่ผิดคลาดไปจากเดิมในทั้ง 3 การทดลอง ดังนั้นสามารถใช้การเพิ่มความแม่นยำแบบการนำค่าคลาดเคลื่อน GPS1 ไปรวมกับค่าพิกัด GPS2 ในการเคลื่อนที่ได้

## 4.6 การทดสอบการเพิ่มความแม่นยำของค่าพิกัดผ่าน Cloud MQTT

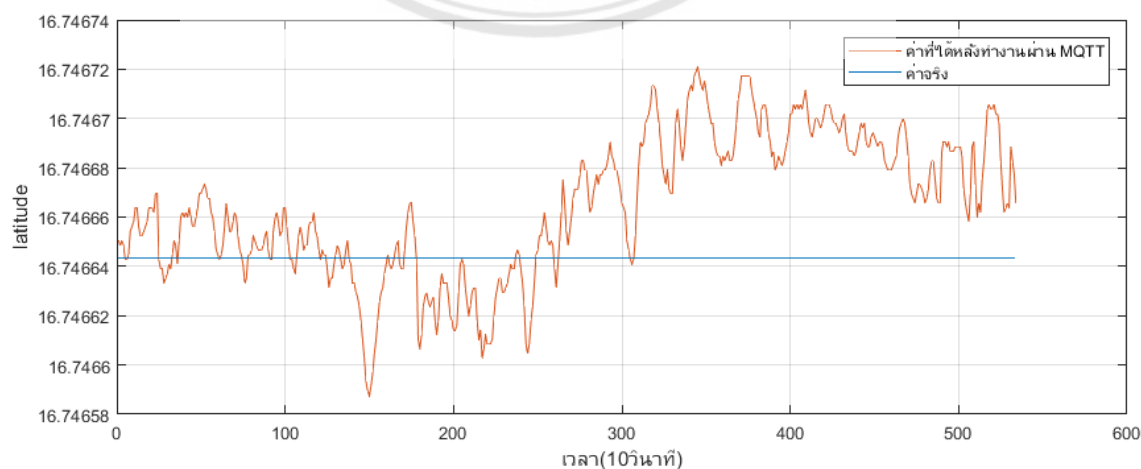
การเพิ่มความแม่นยำในการรับค่าพิกัดของเครื่องรับสัญญาณ ทดสอบโดยการทดลองรับค่าพิกัดของเครื่องรับสัญญาณ GPS จำนวน 2 เครื่อง อยู่ที่เดียวกันเชื่อมต่อ WIFI และ Cloud MQTT และบันทึกค่าทุกๆ 10 วินาที โดยเครื่องรับสัญญาณ GPS1 และ GPS2 รับค่ามาตามปกติ แต่ใส่โปรแกรมให้เครื่องรับสัญญาณ GPS 2 รับค่าความคลาดเคลื่อน GPS1 มารวมด้วย

### 4.6.1 การทดสอบการรับค่าละติจูดผ่าน Cloud MQTT

การทดสอบการรับค่าละติจูด โดยการกำหนดตัวแปรในกราฟแกน X เป็นค่าตัวแปรของเวลา และแกน Y เป็นค่าละติจูด แสดงข้อมูลการทดสอบในรูปที่ 4.22 และ 4.23



รูปที่ 4.22 การอ่านค่าสัญญาณละติจูดแบบปกติ

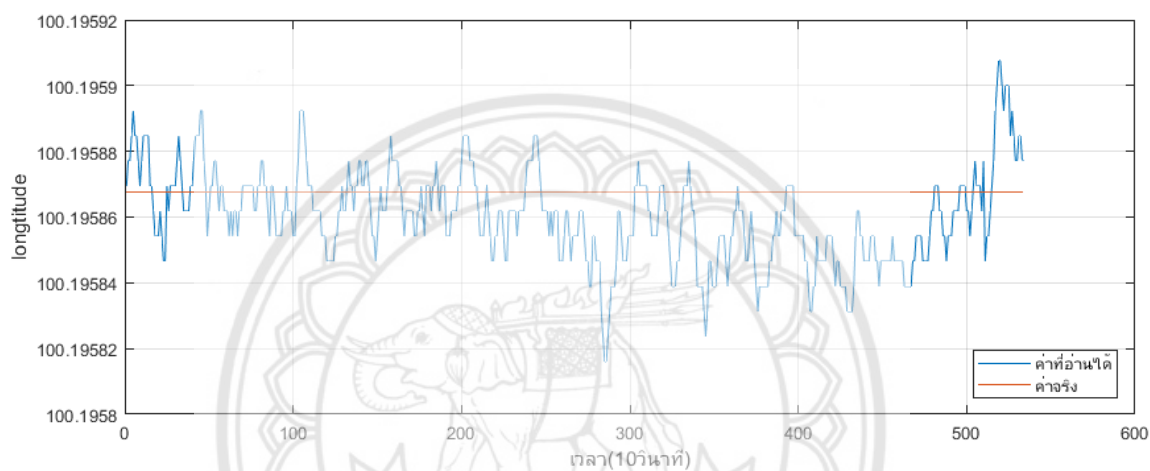


รูปที่ 4.23 การอ่านค่าสัญญาณละติจูดแบบผ่าน Cloud MQTT

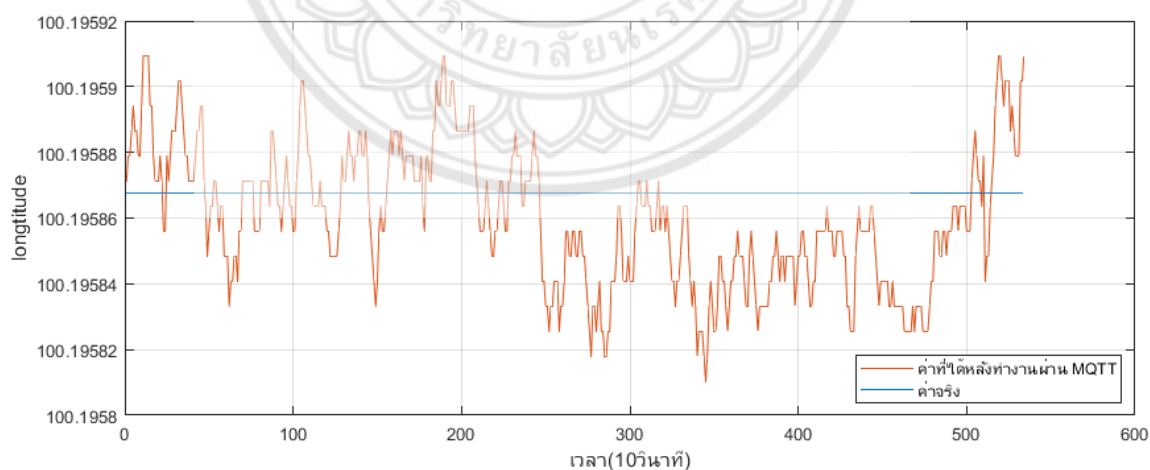
จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 จะเห็นว่า การที่ทดสอบความคลาดเคลื่อนผ่าน Cloud MQTT ของค่าละติจูด ทำให้ช่วยเพิ่มความแม่นยำของตัวรับสัญญาณ GPS2 ได้แค่บางช่วงเวลาเท่านั้น และในบางช่วงเวลาค่าละติจูดก็คลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น

#### 4.6.2 การทดสอบการรับค่าลองติจูดผ่าน Cloud MQTT

การทดสอบการรับค่าลองติจูดโดยการกำหนดตัวแปรในกราฟแกน X เป็นค่าตัวแปรของเวลา และแกน Y เป็นค่าลองติจูด แสดงข้อมูลการทดสอบในรูปที่ 4.24 และ 4.25



รูปที่ 4.24 การอ่านค่าสัญญาณลองติจูดแบบปกติ



รูปที่ 4.25 การอ่านค่าสัญญาณลองติจูดแบบผ่าน Cloud MQTT

จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 จะเห็นว่า การที่ทดสอบความคลาดเคลื่อนผ่าน Cloud MQTT ของค่าลองติจูด ทำให้ค่าลองติจูดก็คลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากการเชื่อมต่อ Cloud MQTT ใช้ WIFI ในการรับส่งข้อมูล จึงมีบางช่วงเวลาที่ไม่ได้รับค่า ทำให้เกิดการล่าช้าในการรับส่งข้อมูล ซึ่งการทำงานของ Cloud MQTT จะทำงานโดยการรับข้อมูลมาที่ ละค่าแบบเรียงลำดับการส่งข้อมูลของตัวรับสัญญาณ GPS1 ซึ่งจะทำให้ตัวรับสัญญาณ GPS2 ได้รับค่าที่ ช้ากว่าปกติ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น สามารถใช้เวลาที่รับมาจาก GPS1 มาเปรียบเทียบกับ เวลาของ GPS2 เพื่อให้ได้รับข้อมูลความคลาดเคลื่อนที่เวลานั้นได้ แต่เนื่องจาก Cloud MQTT เป็น Cloud ของต่างประเทศซึ่งมีการใช้งานจำนวนมากจึงทำให้การเกิดการล่าช้าในการรับและส่งข้อมูล จะมีข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ทำการรับและส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้อย่างตรงกัน



## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงาน

การศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาระบบการรับค่าพิกัด GPS แบบ RTK-GNSS ทดสอบค่าความแม่นยำในการรับข้อมูลในรูปแบบต่างๆ การเพิ่มความแม่นยำในการรับข้อมูล และการรับส่งข้อมูลผ่านตัวกลาง Cloud MQTT

ในการทดสอบการรับค่าพิกัดของละติจูดและลองจิจูด ทำให้รู้ว่าพิกัดของ GPS1 และ GPS2 มีความคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจึงไม่ใช่ความผิดพลาดของตัวรับสัญญาณ และหลังจากที่นำค่าความคลาดเคลื่อนละติจูดและลองจิจูดของ GPS1 มารวมกับค่าละติจูดและลองจิจูดของ GPS2 ทำให้ช่วยเพิ่มความแม่นยำของ GPS2 ได้แค่บางช่วงเวลาเท่านั้น และในบางช่วงเวลาค่าละติจูดและลองจิจูดก็คลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น

การทดสอบความแม่นยำโดยการวางตัวรับสัญญาณไว้ห่างกัน แบบ 3 ทิศ คือ ห่างไปทางทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้รู้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละทิศมีค่าคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกัน โดยทางทิศตะวันออกเฉียงใต้มีค่าเฉลี่ยของระยะห่างที่ใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุด ทิศตะวันออกเฉียงใต้มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด และหลังจากทำการทดสอบเพิ่มความแม่นยำโดยการนำค่าความคลาดเคลื่อนของ GPS1 ไปรวมกับค่าที่อ่านได้ของ GPS2 ทำให้ความแม่นยำในการรับค่าสัญญาณส่วนใหญ่มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากขึ้น และทั้ง 3 ข้อมูลจะมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานควรจะมีค่าที่ลดลง

การทดสอบการรับค่าพิกัดโดยที่ตัวรับสัญญาณ GPS1 อยู่หนึ่ง ตัวรับสัญญาณ GPS2 เคลื่อนที่ให้เห็นว่าการเพิ่มความแม่นยำของการรับค่าพิกัดไม่มีผลทำให้การเคลื่อนที่ผิดเพี้ยนไปจากเดิมมาก ดังนั้นจึงสามารถใช้การเพิ่มความแม่นยำแบบการนำค่าคลาดเคลื่อน GPS1 ไปรวมกับค่าพิกัด GPS2 ในการเคลื่อนที่ได้

การเชื่อมต่อ Cloud MQTT ที่ใช้ WIFI ในการรับส่งข้อมูล จะมีบางช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูล ทำให้เกิดการล่าช้าในการรับส่งข้อมูล ซึ่งการทำงานของ Cloud MQTT จะทำงานโดยการรับข้อมูลมาทีละค่าแบบเรียงลำดับการส่งข้อมูลของตัวรับสัญญาณ GPS1 ซึ่งจะทำให้ตัวรับสัญญาณ GPS2 ได้รับค่าที่ช้ากว่า

ปกติ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น สามารถใช้เวลาที่รับมาจาก GPS1 มาเปรียบเทียบกับเวลาของ GPS2 เพื่อให้ได้รับข้อมูลความคลาดเคลื่อนที่เวลานั้นได้ แต่เนื่องจาก Cloud MQTT เป็น Cloud ของต่างประเทศซึ่งมีการใช้งานจำนวนมากจึงทำให้การเกิดการล่าช้าในการรับและส่งข้อมูลจะมีข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ทำการรับและส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้อย่างตรงกัน

### ข้อจำกัดของโครงการ

- เนื่องด้วยตัวอุปกรณ์เป็นชุดพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ Esp32 ที่สามารถเชื่อมต่อ WIFI และบลูทูธ และมาพร้อมกับจอแสดงผล TFT LCD ขนาด 2 นิ้ว ความละเอียด 320 x 240 พิกเซล บรรจุลงในกล่องขนาด 5 x 5 เซนติเมตร ที่มีฐานกล่องเป็นแม่เหล็ก มีลำโพง ปุ่มกด และแบตเตอรี่แบบประจุได้ รวมถึงวงจรประจุแบตเตอรี่มาพร้อมใช้งาน และตัวอุปกรณ์ทำจากพลาสติก จึงไม่สามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ไม่สามารถกันน้ำได้ถ้าหากฝนตก หรือไม่สามารถใช้งานกลางแจ้งเป็นเวลาหลายชั่วโมงโดยที่ไม่มีเครื่องป้องกัน

### ข้อเสนอแนะในการทำโครงการครั้งต่อไป

- อาจมีค่าการอ่านค่าพิกัดรูปแบบอื่นที่ต้องศึกษาเพิ่มมากขึ้นเช่น ค่าพิกัด UTM หรือค่าพิกัด WGS 48 และการศึกษาสมการที่ส่งผลต่อการแปลงค่าพิกัดเพิ่มมากขึ้น
- ออกแบบรูปแบบการสอบเทียบการเก็บค่าพิกัดให้เพิ่มมากขึ้น หรือเพิ่มระยะเวลาในการเก็บค่าพิกัดมากขึ้นเพื่อให้ส่งผลต่อการทำการวิเคราะห์และสอบเทียบเพื่อหาค่าความแม่นยำที่สูงขึ้น
- ควรใช้การบันทึกค่าพิกัดแบบทุกวินาที
- ใช้การทดลองโดยการให้ M5Stack 1 ตัว ให้เป็นตัวรับส่งข้อมูลเองโดยไม่ต้องผ่าน Cloud MQTT
- เพิ่มการทดลองใช้โปรโตคอลรูปแบบอื่นเป็นตัวกลางในการรับส่งค่าพิกัดแทน Cloud MQTT
- เพิ่มการรับส่งสัญญาณค่าผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย 5G



## แหล่งอ้างอิง

1. Britannica. **Navstar Global Positioning System** [ออนไลน์]. 1995. [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.britannica.com/technology/Navstar-Global-Positioning-System>.
2. Global5 Co., Ltd. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ GPS** [ออนไลน์]. 2006. [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.global5thailand.com/thai/gps.htm>.
3. **GLONASS** [ออนไลน์]. 2007. [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS#Signal>.
4. KINGZAMAN. **ดาวเทียมระบุตำแหน่ง GPS ที่นิยมใช้กันในอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ** [ออนไลน์]. 2018. [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.whatphone.net/article>.
5. **BeiDou** [ออนไลน์]. 2013. [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://en.wikipedia.org/wiki/BeiDou>
6. บริษัท พีต้า อินเทอร์เน็ต จำกัด. **ความรู้เรื่อง GPS** [ออนไลน์]. 2008. [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.nubbank.com>.
7. **แผนที่** [ออนไลน์]. 2009. [เข้าถึงเมื่อ 21 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://th.wikipedia.org>.
8. บจก. คาร์แทรค เทคโนโลยี (ไทยแลนด์). **องค์ประกอบของแผนที่ รายละเอียด และวิธีการอ่านแผนที่** [ออนไลน์]. 2014. [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.cartrack.co.th>.
9. chatmongkon. **พิกัดภูมิศาสตร์** [ออนไลน์]. 2017. [เข้าถึงเมื่อ 21 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: [http://ch-chatmongkon.blogspot.com/2017/10/blog-post\\_19.html](http://ch-chatmongkon.blogspot.com/2017/10/blog-post_19.html).
10. PROSOFTGPS. **ละติจูด, ลองจิจูด ก็กับการบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์** [ออนไลน์]. 2010. [เข้าถึงเมื่อ 21 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.prosoftgps.com/Article/Detail/72143>.

11. Embedded Laboratory. **Getting Started with MQTT using Mosquitto** [ออนไลน์]. 2018. [เข้าถึงเมื่อ 21 ตุลาคม 2562].

เข้าถึงได้จาก: <http://embeddedlaboratory.blogspot.com/2018/01/getting-started-with-mqtt-using.html>.

12. MINDPHP. **MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) คืออะไร** [ออนไลน์]. 2005.

[เข้าถึงเมื่อ 21 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.mindphp.com/en/articles/31-stories>.

13. IOXHOP. **Arduino คืออะไร** [ออนไลน์]. 2015. [เข้าถึงเมื่อ 21 ตุลาคม 2562].

เข้าถึงได้จาก: <https://www.ioxhop.com>.

14. THAIEASYELEC. **Arduino คืออะไร** [ออนไลน์]. 2006. [เข้าถึงเมื่อ 21 ตุลาคม 2562].

เข้าถึงได้จาก: <https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/latest-blogs/what-is-arduino-ch1.html>.

15. IDEX. **M5Stack Basic กล้องส่องไกลเพื่องาน IoT** [ออนไลน์]. 2002. [เข้าถึงเมื่อ 21 ตุลาคม 2562].

เข้าถึงได้จาก: <https://inex.co.th/shop/m5stack-basic.html>.

16. M5Stack Docs. **Module GPS** [ออนไลน์]. 2002. [เข้าถึงเมื่อ 30 เมษายน 2563]. เข้าถึงได้จาก:

<https://docs.m5stack.com/#/en/module/gps>

17. Nichols, M.E., Sunnyvale & CA. (2002). High precision GPS/RTK and laser machine control. **Unoted States Patent**. [เข้าถึงเมื่อ 23 ตุลาคม 2562].

เข้าถึงได้จาก: <https://patents.google.com/patent/US6433866B1/en>

18. Li, Z., Zhang, T., Qi, F., Tang, H., & Niu, X. (2018). Carrier phase prediction method for GNSS precise positioning in challenging environment. **Advances in Space Research**.

[เข้าถึงเมื่อ 23 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://sci-hub.tw/10.1016/j.asr.2018.12.015>

19. Sun, Q. (Chayn), Xia, J. (Cecilia), Foster, J., Falkmer, T., & Lee, H. (2017). Pursuing Precise Vehicle Movement Trajectory in Urban Residential Area Using Multi-GNSS RTK Tracking. **Transportation Research**. [เข้าถึงเมื่อ 23 ตุลาคม 2562].

เข้าถึงได้จาก: <https://sci-hub.tw/10.1016/j.trpro.2017.05.255>

20. Garrido-Carretero, M. S., de Lacy-Pérez de los Cobos, M. C., Borque-Arancón, M. J., Ruiz-Armenteros, A. M., Moreno-Guerrero, R., & Gil-Cruz, A. J. (2019). Low-cost GNSS receiver in RTK positioning under the standard ISO-17123-8: a feasible option in geomatics. **Measurement**. [เข้าถึงเมื่อ 23 ตุลาคม 2562].

เข้าถึงได้จาก: <https://sci-hub.tw/10.1016/j.measurement.2019.01.045>

21. Dabove, P. (2019). The usability of GNSS mass-market receivers for cadastral surveys considering RTK and NRTK techniques. **Geodesy and Geodynamics**. [เข้าถึงเมื่อ 23 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: <https://sci-hub.tw/10.1016/j.geog.2019.04.006>

