

การออกแบบและพัฒนาระบบบอลลูนตรวจอากาศและสถานีภาคพื้นดิน
THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF AIR OBSERVATION BALLOON
AND ITS GROUND STATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและพัฒนาระบบบอลูนตรวจอากาศและสถานีภาคพื้นดิน THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF AIR OBSERVATION BALLOON AND ITS GROUND STATION



T144405

โดย

นาย ยุทธนา แจ่มจรรย์ส

เลขทะเบียน 144405
วันเดือนปี 24 พ.ย. 2559

b. 12818572
i.

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาระบบบอลูนตรวจอากาศและสถานีภาคพื้นดิน
THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF AIR OBSERVATION BALLOON
AND ITS GROUND STATION

โดย

นาย ยุทธนา

แจ่มจำรัส

55011009

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ศรวรัตน์ ชิวปรีชา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผศ.อัศรพล ตีร์รัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

ปีการศึกษา 2558

(อ.ศรวมว. อ.ศรวป.)

อาจารย์ที่ปรึกษา

18/05/59

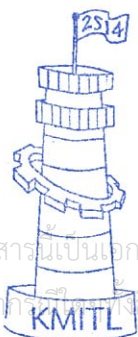
ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(Prof. Eng. Sapanee)

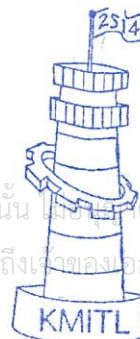
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

19/05/59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
ไม่ว่าการพิมพ์หรือใช้วิศวกรรมโทรคมนาคมที่ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบเซ



วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาระบบบอลูนตรวจอากาศและสถานีภาคพื้นดิน

THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF AIR OBSERVATION BALLOON AND ITS
GROUND STATION

ผู้จัดทำ

1. นาย ยุทธนา แจ่มจำรัส 55011009



(ผศ.ดร.ศรววัฒน์ ชิวปรีชา)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(ผศ.อัชรพล ตริรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ในหัวข้อเรื่อง “การพัฒนาระบบบอลลูนตรวจอากาศและสถานีภาคพื้นดิน” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงเลย หากขาดการสนับสนุนที่ดีจากหลายๆฝ่ายเช่น การได้รับทุนจากภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ ศรวัฒน์ ชิวปรีชา และ อาจารย์ อัครพล ตรีรัตน์ โดยทั้งสองท่านเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งท่านอาจารย์ได้สนับสนุนทั้งในการคำแนะนำต่างๆ เสนอแนวทางแก้ไขปัญหาสนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ รวมทั้งสนับสนุนงบประมาณในการจัดทำโครงการ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยสนับสนุนในเรื่องเงิน และกำลังใจเมื่อยามมีปัญหาเพื่อนๆ พี่ๆ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่ช่วยเป็นกำลังใจให้และสามารถปรึกษาและช่วยเหลือในยามที่ต้องการ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกๆท่านเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ ที่ช่วยให้การจัดทำโครงการในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ยุทธนา แจ่มจรัส
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาระบบบอลลูนตรวจอากาศและสถานี
ภาคพื้นดิน

THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF AIR

OBSERVATION BALLOON AND ITS GROUND STATION

โดย นาย ยุทธนา แจ่มจรัส

55011009

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ศรวัฒน์ ชิวปรีชา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.อัศรพล ตีร์รัตน์

บทคัดย่อ

ปฏิญานีพจน์นี้นำเสนอระบบบอลลูนตรวจอากาศ ซึ่งจะใช้ในการตรวจวัดค่าทางกายภาพของอากาศ อาทิ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และ ความกดอากาศ ณ ที่ความสูงต่างๆกันซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกรวบรวมแล้วส่งกลับมาสถานีภาคพื้นดินเพื่อทำการประมวลผลข้อมูลแสดงผลข้อมูลและเก็บผล เป็นข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาสำหรับวิเคราะห์ในส่วนอื่น ๆตามที่ต้องการ นอกจากนี้สถานีภาคพื้นดินใช้สำหรับรับสัญญาณจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (NOAA) ซึ่งจะรับสัญญาณวิทยุจากดาวเทียม NOAA ผ่านสายอากาศ Cross Dipole ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะใช้ RTL-SDR ในการแปลงสัญญาณวิทยุให้เป็นสัญญาณเสียงผ่านโปรแกรม SDR# โดยที่โปรแกรม WXtoimg จะแปลงสัญญาณเสียงดังกล่าวให้กลายเป็นสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียม

ABSTRACT

This project proposes the offer weather balloon observation system which is used to measure physical parameter of air-environment such as humidity temperature and pressure at high altitude The data of air-physical parameters are collected and are sent to ground station. The ground station receive data from weather balloon and process data for monitoring and storage. The data is used for Meteorological data and analyzed what it want. In the other hand, ground station

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

which is used to receive signal from NOAA metrological satellites. The ground station receive radio signal from NOAA satellite by Cross Dipole antenna and the radio signal is converted to audio signal by using RTL-SDR . This audio signal is converted to image by using WXtoimg.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XIII
บทที่ 1	
บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ระบบการตรวจวัดสภาพอากาศด้วยระบบวิทยุหึ่งอากาศ	3
2.1.1 เครื่องวิทยุหึ่งอากาศ (Radiosonde)	4
2.1.2 สถานีภาคพื้นดินสำหรับรับข้อมูลจากบอลลูนตรวจอากาศ	6
2.1.3 ตัวอย่างอุปกรณ์วิทยุหึ่งอากาศรุ่น RS90-AM	7
2.1.4 ตัวอย่างอุปกรณ์สถานีภาคพื้นดินที่ใช้รับข้อมูลจากบอลลูนตรวจอากาศ	8
2.2 ค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของการตรวจวัดสภาพอากาศ	9
2.2.1 ความชื้น	9
2.2.2 อุณหภูมิอากาศ	9
2.2.3 ความกดอากาศ	11
2.3 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง	12
2.3.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน้	12
2.3.2 โมดูลเซนเซอร์วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ DHT22	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 โมดูลเซนเซอร์วัดความกดอากาศและอุณหภูมิ BMP180	17
2.3.4 โมดูลวัดความเร่ง 3 แกน (ADXL345)	18
2.3.5 โมดูลรับส่งข้อมูลไร้สาย Rf Transceiver SV650	19
2.3.6 โมดูลกล้องถ่ายภาพ SEN-11610	20
2.3.7 โมดูลรับสัญญาณจีพีเอส	20
2.3.8 ร่มชูชีพ	22
2.3.9 บอลลูนบรรจุก๊าซฮีเลียม	23
2.3.10 โปรแกรม LabVIEW	24
2.3.11 ระบบติดตามตำแหน่งอัตโนมัติด้วยเครือข่ายวิทยุสมัครเล่น	26
2.4 สถานีภาคพื้นดินสำหรับรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA	28
2.4.1 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA	28
2.4.2 สถานีภาคพื้นดินรับภาพถ่ายดาวเทียม NOAA	28
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์	
3.1 การออกแบบ	30
3.1.1 การออกแบบระบบบอลลูนตรวจอากาศโดยศึกษาจากต้นแบบ	30
3.1.2 การออกแบบระบบบอลลูนตรวจอากาศที่นำเสนอ	31
3.1.3 การออกแบบสถานีภาคพื้นดินในการรับข้อมูลและควบคุมระบบ	42
3.1.4 การออกแบบร่มชูชีพ	43
3.1.5 การหาขนาดของบอลลูนฮีเลียม	45
3.1.6 การกำหนดภารกิจของบอลลูนตรวจอากาศ	47
3.1.7 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลด้วยโมดูลสื่อสาร	48
3.1.8 การออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ภาคอากาศ SV650	49
3.1.9 สถานีภาคพื้นดินสำหรับรับภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	54
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	55
3.3.1 ทดสอบการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน้	55
3.3.2 ทดสอบการรับส่งข้อมูลผ่านโมดูล TRANSCEIVER SV650	55
3.3.3 ทดสอบการรับส่งภาพถ่ายจากอุปกรณ์ตรวจวัด	56
3.3.4 ทดสอบการแยกเฟรมข้อมูลเซนเซอร์และแสดงผล	56
3.3.5 ทดสอบการรวบรวมข้อมูลภาพของสถานีภาคพื้นดิน	56
3.3.6 ทดสอบการรับส่งข้อมูลระยะไกลด้วยโมดูล SV650	57
3.3.7 ทดสอบการระบุตำแหน่งของบอลูนตรวจอากาศด้วยระบบ APRS	57
3.3.8 ทดลองปล่อยบอลูนขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศโลก	57
3.3.9 ทดสอบการรับสัญญาณภาพจากดาวเทียม NOAA	58
บทที่ 4 ผลการทดลอง	59
4.1 ผลการทดสอบในการทำงานรับสัญญาณจากดาวเทียม NOAA	60
4.1.1 ทดสอบการรับภาพในช่วงเวลาต่างๆ	60
4.2 ทดสอบการทำงานของระบบบอลูนอากาศ	65
4.2.1 ทดสอบการทำงานภายในอุปกรณ์ตรวจวัดและสถานีภาคพื้นดิน	65
4.2.2 ผลการทดสอบรับส่งข้อมูลระยะไกล	78
4.2.3 ทดสอบการทำงานของระบบ APRS	82
4.3 ผลการทดสอบการปล่อยบอลูนขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ	84
4.3.1 ขั้นตอนการเตรียมบอลูนตรวจอากาศ	84
4.3.2 การทดสอบระบบก่อนภายในบอลูน	90
4.3.3 ทดสอบปล่อยบอลูนขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ	93

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	97
5.1 สรุปผล	97
5.2 ข้อเสนอแนะ	98
บรรณานุกรม	99
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพรวมของระบบวิทยุหึ่งอากาศหรือระบบบอลลูนตรวจอากาศ	3
2.2 อุปกรณ์วิทยุหึ่งอากาศ	4
2.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวิทยุหึ่งอากาศ	5
2.4 ภาพรวมของสถานีภาคพื้นดินที่ทำงานร่วมกับระบบภาคอากาศ	6
2.5 บล็อกไดอะแกรมของสถานีภาคพื้นดินในระบบบอลลูนตรวจอากาศ	7
2.6 ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องวิทยุหึ่งอากาศยี่ห้อ รุ่น RS92-AM	7
2.7 ภาพรวมของสถานีภาคพื้นดินที่ใช้งานทางอุตุนิยมวิทยาในปัจจุบัน	8
2.8 ตัวอย่างแผนที่ความกดอากาศ	12
2.9 ตัวอย่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ARDUINO รุ่น PRO-MINI	13
2.10 หน้าต่างโปรแกรม ARDUINO	14
2.11 ตัวอย่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	15
2.12 โมดูล DHT22	16
2.13 โมดูล BMP180 และขาสำหรับการใช้งาน	17
2.14 ตัวอย่างโมดูล ADXL และ ขาเชื่อมต่อสำหรับใช้งาน	18
2.15 โมดูลรับส่งข้อมูลไร้สาย RF TRANSCEIVER SV650	19
2.16 ขาเชื่อมต่อโมดูล RF TRANSCEIVER SV650	19
2.17 โมดูลกล้องถ่ายภาพรุ่น SEN-10061	20
2.18 อุปกรณ์โมดูลรับสัญญาณ GPS	21
2.19 ตัวอย่างข้อความ GPS	21
2.20 ตัวอย่างข้อมูลจากโมดูลจีพีเอสซึ่งใช้ในระบบบอลลูนตรวจอากาศ	22
2.21 ตัวอย่างของร่มชูชีพประเภทต่างๆ	23
2.22 ตัวอย่างบอลลูนที่บรรจุด้วยก๊าซฮีเลียม	24
2.23 ตัวอย่าง FRONT PANEL ของโปรแกรม LABVIEW	25
2.24 ตัวอย่าง BLOCK DIAGRAM ของโปรแกรม LABVIEW	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 ภาพรวมของระบบ APRS	26
2.26 ตำแหน่งของสถานีและอุปกรณ์ APRS ผ่านเว็บไซต์ APRS.FI	27
2.27 เฟรมโครงสร้างข้อมูลของโปรโตคอล AX.25	27
2.28 ภาพรวมของระบบสถานีภาคพื้นดินเพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียม NOAA	29
3.1 ภาพรวมของระบบวิทยุห้วงอากาศที่ศึกษา	30
3.2 ระบบบอลลูนตรวจอากาศทั้งในส่วนภาคอากาศและสถานีภาคพื้นดิน	31
3.3 แผนผังของอุปกรณ์ที่จะใช้ในภาคอากาศ	32
3.4 เฟรมข้อมูลที่กำหนดขึ้นในการส่งค่ากลับมายังสถานีฐาน	34
3.5 ข้อมูลต่างๆในเฟรมข้อมูลที่ถูกจัดเรียงก่อนจะถูกส่งกลับมายังสถานี	35
3.6 การเชื่อมต่อวงจรระหว่างบอร์ดอาร์ดูโน้และอุปกรณ์ต่างๆ	36
3.7 แผนผังการทำงานระหว่างบอร์ดอาร์ดูโน้กับโมดูลกล้องถ่ายภาพ	37
3.8 ตัวอย่างข้อความที่บอร์ดอาร์ดูโน้ได้รับจากโมดูล GPS	39
3.9 แผนผังการทำงานของอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งผ่านเครือข่ายวิทยุสมัครเล่น	41
3.10 รูปแบบการทำงานของสถานีภาคพื้นดิน	42
3.11 รูปแบบรุ่มซูชิที่จัดสร้างเพื่อใช้ในบอลลูนตรวจอากาศ	43
3.12 ลักษณะรุ่มซูชิที่จะใช้งานบอลลูนตรวจอากาศที่น่าเสนอ	44
3.13 บอลลูนบรรจุก๊าซฮีเลียมเพื่อสร้างแรงยกอุปกรณ์	45
3.14 ตัวอย่างการทำงานในภารกิจของบอลลูนตรวจอากาศ	47
3.15 ชั้น PCB ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์ทั้งบอร์ดอาร์ดูโน้และเซนเซอร์	49
3.16 ชั้นอุปกรณ์บนแผ่น PCB ซึ่งกำลังจะถูกติดตั้งลงในกล่องอลูมิเนียม	49
3.17 ชั้นแผ่น PCB ที่ถูกติดตั้งลงในโครงสร้างกล่องอลูมิเนียม	50
3.18 อุปกรณ์ที่ติดตั้งลงในกล่องอลูมิเนียมเรียบร้อยแล้ว	50
3.19 กล่องอุปกรณ์ตรวจวัดที่ทำการติดตั้งโมดูลต่างๆเรียบร้อยแล้ว	51
3.20 บล็อกไดอะแกรมของสถานีรับภาพถ่ายดาวเทียม NOAA	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.21	สายอากาศชนิด CROSS DIPOLE ของสถานีรับภาพถ่ายดาวเทียม NOAA ที่ถูกติดตั้งไว้บริเวณตาดฟ้าของภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม	53
3.22	ภาพรวมของวงจร BIAS TREE ที่ใช้งานวงจรจ่ายไฟให้กับสายอากาศและอุปกรณ์ MATCHING IMPEDANCE ที่ใช้เชื่อมต่อวงจรกับ RTL-SDR	53
4.1	ภาพจากดาวเทียม NOAA-15 ที่ 14 ม.ค 2559 22:40 UTC	59
4.2	ภาพจากดาวเทียม NOAA-15 ที่ 14 ม.ค 2559 22:40 UTC MCIR	60
4.3	ภาพจากดาวเทียม NOAA-15 ที่ 14 ม.ค 2559 22:40 UTC Sea	60
4.4	ภาพจากดาวเทียม NOAA-15 ที่ 14 ม.ค 2559 22:40 UTC Sea	61
4.5	ภาพจากดาวเทียม NOAA-18 วันที่ 27 ม.ค 2559 เวลา 10:30 Contrast	61
4.6	ภาพจากดาวเทียม NOAA-18 วันที่ 27 ม.ค 2559 เวลา 10:30 MCIR	62
4.7	ภาพจากดาวเทียม NOAA-18 วันที่ 27 ม.ค 2559 เวลา 10:30 Sea	62
4.8	ภาพจากดาวเทียม NOAA-18 วันที่ 27 ม.ค 2559 เวลา 10:30 Thermal	63
4.9	ภาพถ่ายจาก NOAA-18 วันที่ 12 ก.พ 2559 เวลา 21:56 ที่มี Noise	63
4.10	ภาพถ่ายจาก NOAA-18 วันที่ 9 ก.พ 2559 เวลา 09:42 ที่มี Noise มาก	64
4.11	อุปกรณ์ตรวจวัดและสถานีภาคพื้นดินในการทดสอบส่งข้อมูล	65
4.12	การเชื่อมต่อระหว่างโมดูล SV650 กับคอมพิวเตอร์	66
4.13	สัญญาณข้อมูลที่วัดจาก RX จากโมดูล SV650 ที่ถูกใช้งานในสถานีฐาน	67
4.14	หน้าต่าง Serial Monitor ของโปรแกรม Arduino	67
4.15	ข้อมูลที่สถานีภาคพื้นดินได้รับสถานีตรวจวัดผ่านหน้าต่าง Serial Monitor	68
4.16	ตัวอย่างและอธิบายข้อมูลภายในเฟรมข้อมูลที่สถานีภาคพื้นดินได้รับ	68
4.17	หน้าต่างของโปรแกรม LABVIEW ที่ใช้งานภายในสถานีภาคพื้นดิน	69
4.18	หน้าต่างของโปรแกรม LABVIEW แสดงข้อมูลที่แยกออกเฟรมข้อมูลแล้ว	70
4.19	ค่าพารามิเตอร์ที่แยกจากเฟรมข้อมูลเก็บไว้ในตารางใน LabVIEW	71
4.20	กราฟของโปรแกรม LABVIEW แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์	71
4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของอากาศ	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.22	กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดค่าได้จาก DHT22	72
4.23	กราฟแสดงความเร่งแกน X ที่วัดค่าได้จาก ADXL345	72
4.24	กราฟแสดงความเร่งแกน Y ที่วัดค่าได้จาก ADXL345	73
4.25	กราฟแสดงความเร่งแกน Z ที่วัดค่าได้จาก ADXL345	73
4.26	กราฟแสดงความสูง (Altitudes) ที่วัดค่าได้จาก GPS	74
4.27	กราฟแสดงความสูง (Altitudes) ที่วัดค่าได้จากโมดูล BMP180	75
4.28	กราฟความกดอากาศ (Air-Pressure) ที่วัดค่าได้จากโมดูล BMP180	75
4.29	หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW ในส่วนของการรับข้อมูลภาพถ่าย	76
4.30	หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW หลังจากรับภาพถ่าย	77
4.31	ภาพถ่ายที่ได้สถานีฐานได้รับที่มีขนาด 320×240 pixel	77
4.32	ภาพถ่ายที่ได้สถานีฐานได้รับที่มีขนาด 160×120 pixel	78
4.33	อุปกรณ์ภาคอากาศถูกติดตั้งไว้บริเวณชั้น 11 ตึก E12	78
4.34	อุปกรณ์ภาคอากาศหั่นกล้องถ่ายภาพไปทางสนามบิณสุวรรณภูมิ	79
4.35	สายอากาศยาก็ที่ใช้สำหรับสถานีภาคพื้นดิน	79
4.36	ทดสอบรับส่งข้อมูลบริเวณสนามสุวรรณภูมิ	80
4.37	เฟรมข้อมูลที่สถานีภาคพื้นดินได้รับในทดสอบรับส่งข้อมูลระยะไกล	80
4.38	หน้าต่างของโปรแกรม LabVIEW แสดงให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์เซนเซอร์	81
4.39	ภาพถ่ายที่ได้รับจากอุปกรณ์ภาคอากาศในการรับส่งข้อมูลระยะไกล	81
4.40	แผนที่อุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศในการทดสอบรับส่งข้อมูลระยะไกล	82
4.41	การติดตั้งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง APRS และแสดงอุปกรณ์ภายใน	83
4.42	ตำแหน่งที่ติดตามด้วยระบบ APRS	83
4.43	แผนที่ ณ ตำแหน่งจุดทดสอบปล่อยบอลลู่นตรวจอากาศ	84
4.44	พื้นที่บริเวณที่จะทำการปล่อยบอลลู่นตรวจอากาศ	85
4.45	แผนที่การทำนายทิศทางทางการเดินทางของบอลลู่นตรวจอากาศและจุดตก	86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.46 การติดตั้งสถานีภาคพื้นดินในบริเวณที่ปล่อยบอลลูนตรวจอากาศ	87
4.47 การติดตั้งสายอากาศสำหรับสถานีภาคพื้นดิน	87
4.48 การบรรจุก๊าซฮีเลียมจากถังลงในบอลลูน	88
4.49 บอลลูนที่ทำการบรรจุก๊าซฮีเลียมแล้ว	88
4.50 การติดตั้งอุปกรณ์ภาคอากาศ ระบบ APRS และร่วมชูชีพกับบอลลูนฮีเลียม	89
4.51 การติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดกับบอลลูน	90
4.52 หน้าต่างของโปรแกรม LabVIEW แสดงให้เห็นค่าพารามิเตอร์ที่สถานีภาคพื้นดินรับจากบอลลูนตรวจอากาศในการทดสอบการรับส่งข้อมูล ณ สถานีที่ปล่อยบอลลูน	91
4.53 ตัวอย่างภาพที่สถานีภาคพื้นดินได้รับจากอุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศในการทดสอบรับข้อมูลภาพ ณ สถานีที่ปล่อยบอลลูน	91
4.54 บอลลูนตรวจอากาศก่อนส่งคำสั่งปลดร่มชูชีพ	92
4.55 บอลลูนตรวจอากาศหลังส่งคำสั่งปลดร่มชูชีพ	92
4.56 PACKET APRS ซึ่งแสดงข้อมูลตำแหน่งของบอลลูนตรวจอากาศที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์ APRS ที่ติดตั้งกับบอลลูน	93
4.57 คณะผู้จัดทำระบบบอลลูนตรวจอากาศ	94
4.58 กราฟเปรียบเทียบความสูงที่อ่านค่าจากโมดูล BMP180 และ โมดูล GPS	95
4.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์กับความสูงเหนือระดับพื้นผิวโลกจากอุปกรณ์ตรวจวัด	95
4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงจากอุปกรณ์ตรวจวัด	96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	รหัสคำสั่งที่ภาคอากาศได้รับและทำงานตามคำสั่ง	35
3.2	ความถี่ใช้รับสัญญาณจากดาวเทียม NOAA	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการตรวจสอบสภาพอากาศมีได้หลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีสามารถตรวจสอบสภาพอากาศได้แตกต่างกันหนึ่งในวิธีการตรวจสอบสภาพอากาศนั้นคือ บอลลูนตรวจอากาศ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ตรวจสอบสภาพอากาศชั้นบนได้ตั้งแต่ความสูงระดับพื้นดินจนถึงระดับความสูงเหนือพื้นโลก 30 กิโลเมตร โดยที่สามารถจะรู้สภาพทางกายภาพในพื้นที่บริเวณที่ตรวจวัด ความเร็วและทิศทางลมที่ระดับความสูงต่างๆ โดยที่ข้อมูลทางกายภาพที่ไปตรวจวัดดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลเพื่อสำหรับการศึกษาสภาวะชั้นบรรยากาศของโลกหรือไปใช้ในการทำนายสภาพอากาศเบื้องต้นหรือแม้แต่ นำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจในการปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์ต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งทำให้มีต้นทุนสูงซึ่งเป็นการพึ่งพิงเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ดังนั้นทำให้มีการพัฒนาระบบบอลลูนตรวจอากาศที่นำเสนอขึ้น เพื่อสำหรับใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศที่ระดับความสูงต่างๆ ซึ่งจะช่วยพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านอุตุนิยมวิทยา อันจะเป็นจุดเริ่มต้นในด้านพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อใช้งานเองภายในประเทศ โดยจะพัฒนาแยกเป็นสองส่วนด้วยกันคือ ระบบภาคอากาศ ซึ่งมีกลุ่มอุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับวัดค่าทางกายภาพของอากาศติดตั้งไปกับบอลลูนฮีเลียมลอยขึ้นอยู่ชั้นบรรยากาศ และในส่วนที่สองคือระบบสถานีภาคพื้นดินซึ่งจะทำการรับข้อมูลที่ถูส่งกลับจากระบบภาคอากาศ นอกเหนือจากนี้ยังจัดสร้างสถานีรับสัญญาณภาพจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration Satellites) ซึ่งดาวเทียมดวงดังกล่าวจะส่งข้อมูลภาพอุตุนิยมวิทยาซึ่งสถานีภาคพื้นดินสามารถรับสัญญาณภาพดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ผลข้อมูลทางกรมอุตุนิยมวิทยาผ่านทางภาพถ่ายดาวเทียมเพิ่มเติม

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบบอลลูนตรวจอากาศจากระบบบอลลูนตรวจอากาศที่ใช้ในงานในปัจจุบัน
- 2) เพื่อจัดสร้างอุปกรณ์ในบอลลูนตรวจอากาศที่นำเสนอทั้งในกลุ่มอุปกรณ์ภาคอากาศและสถานีฐานภาคพื้นดิน
- 3) เพื่อศึกษาและจัดสร้างอุปกรณ์สถานีภาคพื้นดินสำหรับรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA
- 4) เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้ข้อมูลกับในทางด้านวิเคราะห์ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1) ศึกษาการทำงานของบอลลูนตรวจวัดสภาพอากาศที่ใช้งานในปัจจุบัน
- 2) ออกแบบระบบบอลลูนตรวจวัดสภาพอากาศ
- 3) จัดทำระบบบอลลูนตรวจอากาศที่นำเสนอทั้งในภาคอากาศซึ่งจะต้องทำการติดตั้งเซนเซอร์ต่างๆ รวมทั้งในส่วนของสถานีภาคพื้นดินจะต้องทำการรับข้อมูลจากภาคอากาศเพื่อที่จะเก็บผลและสามารถแสดงผลได้
- 4) ศึกษาการตั้งสถานีภาคพื้นดินเพื่อใช้สำหรับการรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA
- 5) จัดตั้งสถานีภาคพื้นดินสำหรับการรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA



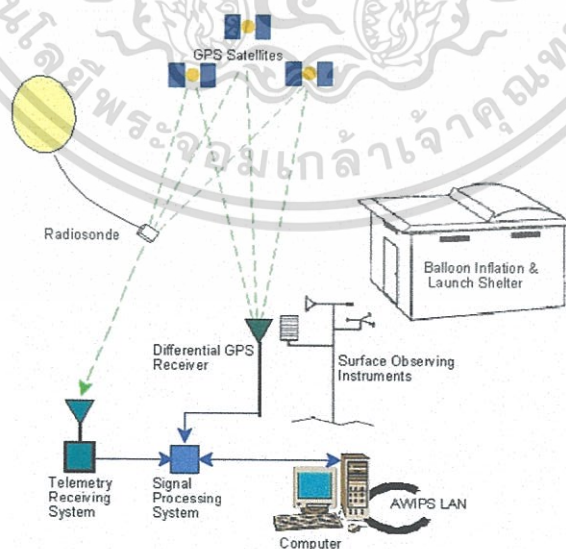
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการตรวจสภาพอากาศด้วยระบบวิทยุหึ่งอากาศ

ในระบบตรวจวัดสภาพอากาศชั้นบนซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศอยู่ตลอดเวลาโดยเฉพาะในชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) ในส่วนของการวัดสภาพอากาศจะขึ้นวัดตั้งแต่ระดับความสูงจากผิวโลกจนถึงระดับความสูงประมาณ 30 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลกโดยใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลทางกายภาพ อาทิ อุณหภูมิ (Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) ความกดอากาศ (Air pressure) รวมทั้งข้อมูลตำแหน่งและความสูงโดยใช้โมดูลจีพีเอส (GPS Receiver) โดยที่อุปกรณ์ทั้งหมดที่กล่าวถึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบวิทยุหึ่งอากาศ (Radiosonde) หลังจากอุปกรณ์ดังกล่าวทำการวัดค่าทางกายภาพจะทำการจัดเฟรมข้อมูลและส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นดินซึ่งจะทำการรับข้อมูลจากวิทยุหึ่งอากาศทำการแยกและจัดข้อมูลโดยที่ข้อมูลจะประกอบด้วย อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความชื้น ความเร็วลม ความสูงและอื่นๆซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปจัดทำผลวิเคราะห์สภาพอากาศหรือวิเคราะห์ทางอุตุนิยมวิทยา โดยที่ภาพรวมของระบบจะแสดงในรูปที่ 2.1

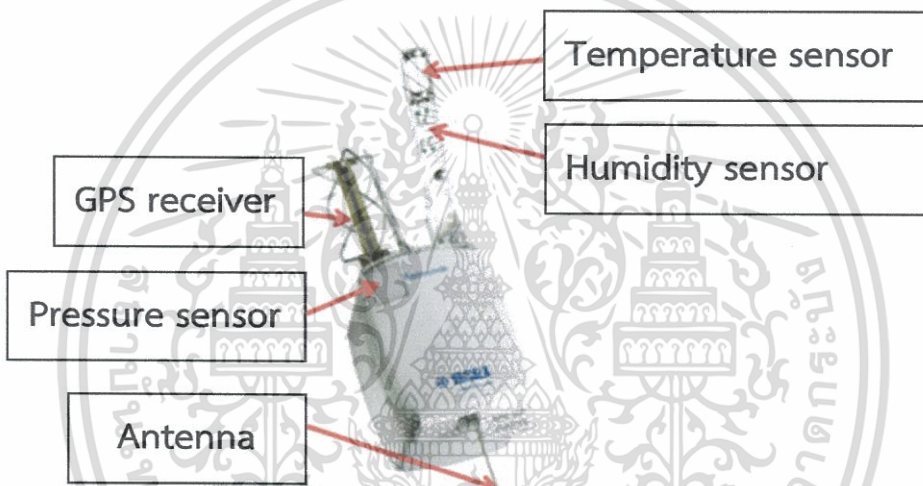


รูปที่ 2.1 ภาพรวมของระบบวิทยุหึ่งอากาศหรือระบบบอลูนตรวจอากาศ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

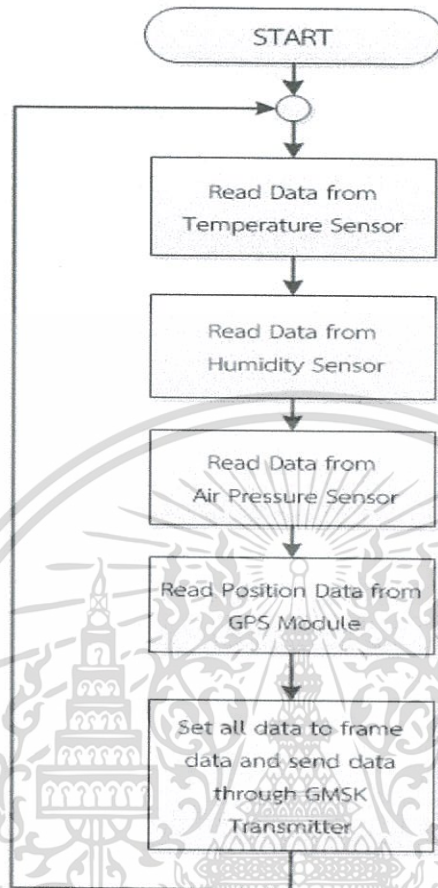
2.1.1 เครื่องวิทยุหึ่งอากาศ (Radiosonde)

ในส่วนของเครื่องวิทยุหึ่งอากาศใช้สำหรับการตรวจอากาศระดับสูงโดยที่เครื่องวิทยุหึ่งอากาศจะมีอุปกรณ์ตรวจวัดขนาดเล็ก (Sensor) สำหรับการวัดค่าทางกายภาพต่างๆ อาทิ เซนเซอร์อุณหภูมิ เซนเซอร์วัดความชื้น เซนเซอร์วัดความกดอากาศ รวมทั้ง โมดูลรับตำแหน่งจีพีเอส รวมทั้งมีแบตเตอรี่สำหรับแหล่งจ่ายพลังงานให้สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดโดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกจัดเฟรมข้อมูลและถูกส่งกลับมายังสถานีฐานผ่านโมดูลวิทยุซึ่งในรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ติดตั้งในวิทยุหึ่งอากาศ



รูปที่ 2.2 อุปกรณ์วิทยุหึ่งอากาศ [5]

โดยที่อุปกรณ์วิทยุหึ่งอากาศจะแสดงบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.3 ซึ่งจะเริ่มอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์อุณหภูมิ เซนเซอร์ความชื้น เซนเซอร์ความกดอากาศและข้อมูลตำแหน่งและความสูงจากโมดูลจีพีเอสซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดตำแหน่งในเฟรมข้อมูลและถูกส่งกลับมายังสถานีฐานผ่านโมดูลส่งข้อมูลชนิด (GMSK) โดยย่านความถี่ที่นิยมใช้งานอยู่ในช่วง UHF ที่ความถี่ 400 MHz ถึง 480 MHz โดยที่ส่วนใหญ่จะมีช่วงเวลาทำงาน (Operation time) ประมาณ 2 ชั่วโมง



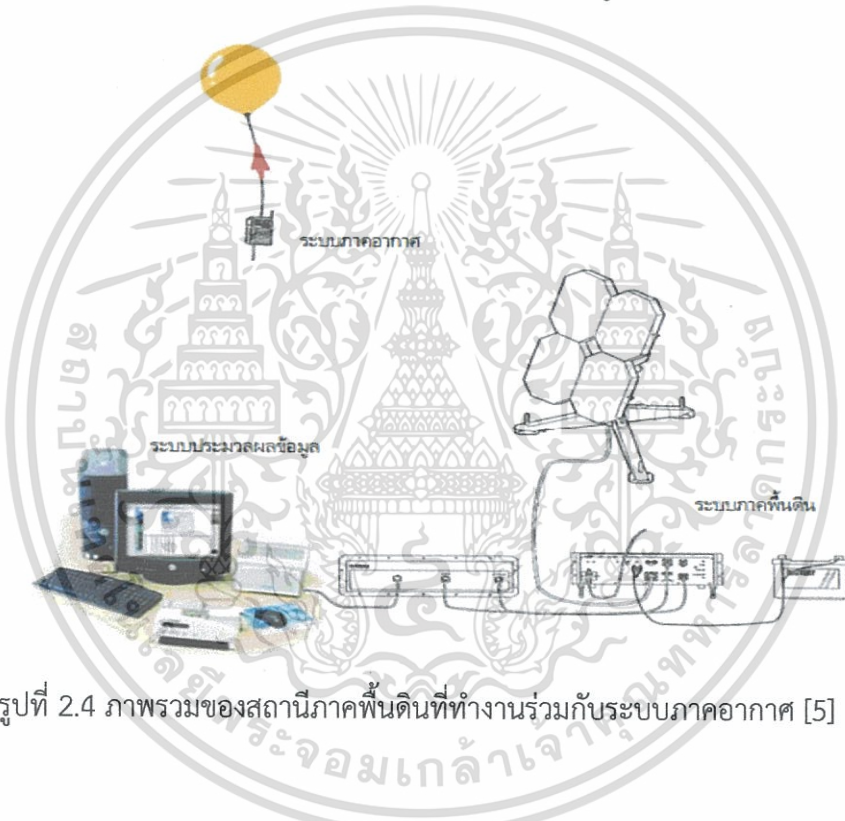
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวิทยุหยั่งอากาศ

ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกผูกติดไว้กับร่มชูชีพและถูกปล่อยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศด้วยบอลลูนซึ่งบรรจุก๊าซฮีเลียมในระหว่างที่บอลลูนนำอุปกรณ์วิทยุหยั่งอากาศลอยขึ้นสู่อากาศชั้นบน เครื่องวิทยุหยั่งอากาศจะวัดค่าและส่งข้อมูลกลับมายังสถานีภาคพื้นดินจนถึงระดับความสูงประมาณ 25 -30 กิโลเมตร แรงดันของก๊าซฮีเลียมภายในจะสูงกว่าบรรยากาศภายนอกมากจนทำให้บอลลูนเกิดการแตก อุปกรณ์วิทยุหยั่งอากาศจะร่วงลงสู่พื้นโลก แต่จะมีร่มชูชีพซึ่งผูกติดไว้ตั้งแต่ตอนแรกทำหน้าที่ลดความเร็วลงโดยอากาศแรงต้านอากาศ ซึ่งอุปกรณ์วิทยุหยั่งอากาศจะร่วงลงสู่พื้นโลกด้วยความปลอดภัย โดยการนำมาใช้ใหม่นั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานว่าจะต้องการนำมาใช้ซ้ำหรือไม่ซึ่งโดยปกติระยะห่างจากจุดปล่อยและจุดตกประมาณ 50-100 กิโลเมตรขึ้นอยู่กลับความเร็วลมของแต่ละช่วงที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

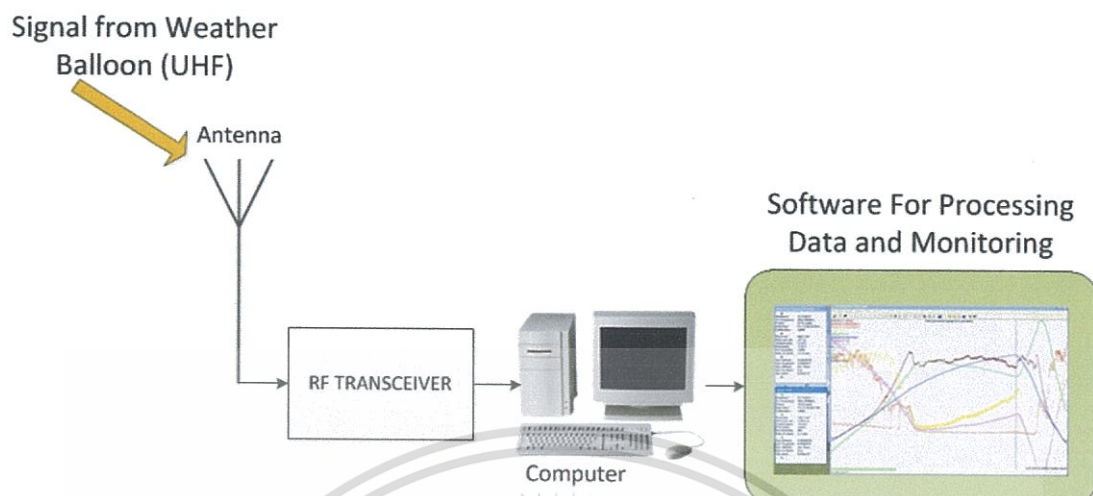
2.1.2 สถานีภาคพื้นดินสำหรับรับข้อมูลจากบอลลูนตรวจอากาศ

ในส่วนของสถานีภาคพื้นดินที่ใช้ในการรับสัญญาณและข้อมูลจากบอลลูนตรวจอากาศจะประกอบด้วย 2 ตัวด้วยกันคือ อุปกรณ์โมดูลรับข้อมูลไร้สายและคอมพิวเตอร์กับซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลซึ่งในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรับสัญญาณจะประกอบด้วยสายอากาศที่ทำหน้าที่รับสัญญาณและโมดูลซึ่งจะทำการถอดรหัสสัญญาณให้เป็นข้อมูลจากนั้นข้อมูลดังกล่าวจะส่งไปยังคอมพิวเตอร์ซึ่งจะมีซอฟต์แวร์ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลเฟรมข้อมูลที่ถูกส่งมาและแยกเป็นข้อมูลชนิดต่างๆโดยจะแสดงภาพรวมของระบบในรูปแบบที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ภาพรวมของสถานีภาคพื้นดินที่ทำงานร่วมกับระบบภาคอากาศ [5]

ในส่วนของบล็อกไดอะแกรมซึ่งแสดงในรูปที่ 2.5 การทำงานของสถานีภาคพื้นดินจะมีอุปกรณ์ประกอบด้วยสายอากาศซึ่งจะรับสัญญาณวิทยุจากบอลลูนตรวจอากาศ สัญญาณดังกล่าวจะมอดูเลตและถอดรหัสเป็นเฟรมข้อมูลโดยที่จะถูกส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์โดยที่คอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จซึ่งจะทำการแยกข้อมูลเป็นชนิดต่างๆรวมทั้งแสดงผลซึ่งข้อมูลดังกล่าวขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลทางอุตุนิยมวิทยาต่อไป



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของสถานีภาคพื้นดินในระบบบอลลูนตรวจอากาศ [5]

2.1.3 ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องวิทยุหึ่งอากาศรุ่น Vaisala Radiosonde RS92-AM

ในส่วนนี้จะแสดงตัวอย่างอุปกรณ์วิทยุหึ่งอากาศที่นิยมใช้งานในปัจจุบันโดยผลิตโดยบริษัท Vaisala Radiosonde รุ่น RS92-AM โดยแสดงตัวอย่างของอุปกรณ์ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องวิทยุหึ่งอากาศยี่ห้อ Vaisala Radiosonde รุ่น RS92-AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

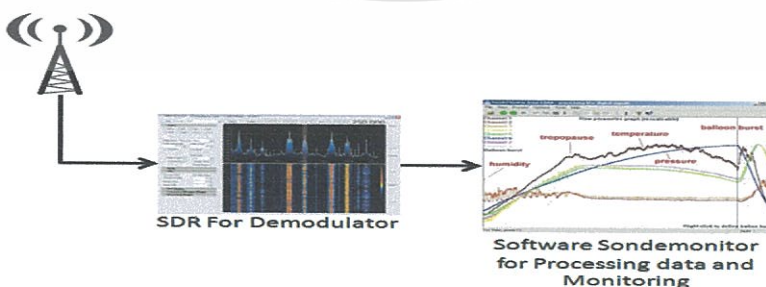
สำหรับคุณสมบัติของวิทยุหยังอากาศและรายละเอียดของอุปกรณ์จะแสดงดัง
ข้อมูลด้านล่างต่อไปนี้

- Meteorological sensors range : +60 °C to -90 °C
- Humidity sensor range : 0% to 100% RH
- Pressure sensor range : 1080 hPa to 3 hPa
- GPS Receiver for receiving position and altitude data
- Weight 160 Grams with LI-OH Battery and Operating time 135 minutes
- Frequency band 403 MHz Tuning range 400 - 406 MHz
- Output power : 40 mW
- Modulation : GMSK
- Data downlink : 4800 bit/seconds

โดยที่อุปกรณ์จะถูกผูกติดกับอุปกรณ์รับสัญญาณและบอลลูนฮีเลียมซึ่งจะนำอุปกรณ์
ดังกล่าวลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศเพื่อใช้ตรวจวัดระยะไกล (Telemetry)

2.1.4 ตัวอย่างอุปกรณ์สถานีภาคพื้นดินเพื่อใช้รับข้อมูลจากบอลลูนตรวจอากาศ

ในส่วนนี้สถานีภาคพื้นดินสามารถใช้อุปกรณ์วิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์
(Software Define Radio) ซึ่งจะทำให้การตีความข้อมูลข้อมูลที่ส่งมาจากบอลลูนตรวจอากาศ
โดยที่สัญญาณข้อมูลดังกล่าวจะถูกถอดรหัสด้วยโปรแกรม SondeMonitor ซึ่งจะทำให้การถอดรหัส
ข้อมูลและแสดงผลบนกราฟซึ่งภาพรวมของตัวอย่างสถานีฐานจะแสดงดังในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ภาพรวมของสถานีภาคพื้นดินที่ใช้งานทางอุตุนิยมวิทยาในปัจจุบัน [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของการตรวจวัดสภาพอากาศที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับระบบบอลลูนตรวจอากาศซึ่งจะมีดังต่อไปนี้

2.2.1 ความชื้น

เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสภาพอากาศ เนื่องจากความชื้นคือปริมาณไอน้ำในอากาศไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ และมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ความชื้นของอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยถ้าอุณหภูมิต่ำอากาศจะรับไอน้ำได้น้อย อุณหภูมิสูงอากาศจะรับไอน้ำได้มาก ถ้าอากาศอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถรับไอน้ำได้อีก เราเรียกว่า อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำในการบอกค่าค่าความชื้นของอากาศ โดยทั่วไปนิยมบอกในสองวิธีคือ

- ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) คืออัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศกับปริมาตรของอากาศนั้นๆ ณ อุณหภูมิเดียวกัน โดยความชื้นสัมบูรณ์ (AH) = มวลของไอน้ำในอากาศ/ปริมาตรอากาศ ณ อุณหภูมิเดียวกันหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) คือปริมาณเปรียบเทียบระหว่างมวลไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้นกับมวลไอน้ำในสภาวะอิ่มตัวที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน โดยที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) = [ความชื้นสัมบูรณ์ (AH)/ความชื้นของอากาศอิ่มตัว]x100% โดยที่ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ณ สภาวะอิ่มตัวจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของอากาศ

2.2.2 อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)

อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) เป็นปัจจัยพื้นฐานในการศึกษาสภาพอากาศ (weather) เนื่องจากอุณหภูมิอากาศมีเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา เช่น ปี ฤดูกาล เดือน วัน หรือแม้กระทั่งรายชั่วโมง ปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในรอบวันคือ การหมุนรอบตัวเองของโลกซึ่งทำให้มุมที่แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลกเปลี่ยนแปลงไป เวลาเที่ยงวันดวงอาทิตย์อยู่สูงเหนือขอบฟ้ามากที่สุด แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นโลกเป็นมุมฉากจึงมีความเข้มสูง ส่วนในเวลาเช้าและเย็น ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้ขอบฟ้า แสงตกกระทบพื้นโลกเป็นมุมเฉียง ลำแสงครอบคลุมพื้นที่กว้างทำให้ความเข้มของแสงจึงมีน้อยกว่าเวลาเที่ยง อีกประการหนึ่งในช่วงเวลาเที่ยงแสงอาทิตย์ส่องผ่านบรรยากาศเป็นระยะทางไม่มาก แต่ในช่วงเวลาเช้าและเย็นแสงอาทิตย์ทำมุมลาดและเดินทางผ่านชั้น

บรรยากาศเป็นระยะทางไกล ความเข้มของแสงจึงถูกบรรยากาศกรองให้ลดน้อยลง ยังผลให้อุณหภูมิต่ำลงไปอีก นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิอีกดังนี้คือ

1) พื้นดินและพื้นน้ำ โดยที่พื้นดินและพื้นน้ำมีคุณสมบัติในการดูดกลืนและคายความร้อนแตกต่างกัน เมื่อได้รับความร้อนพื้นดินจะร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นน้ำ เมื่อคายความร้อนพื้นดินจะเย็นตัวอย่างรวดเร็ว และมีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากพื้นน้ำมีความร้อนจำเพาะสูงกว่าพื้นดินถึง 3 เท่าตัว (ความร้อนจำเพาะ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้สสาร 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C)

2) ระดับสูงของพื้นที่ (Elevation) อากาศเป็นตัวนำความร้อน (Conduction) ที่เลว เนื่องจากอากาศมีความโปร่งใส และมีความหนาแน่นต่ำ พื้นดินจึงดูดกลืนพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ดีกว่า อากาศถ่ายเทความร้อนจากพื้นดิน ด้วยการพาความร้อน (Convection) ไปตามการเคลื่อนที่ของอากาศ ในสภาพทั่วไปเราจะพบว่ายิ่งสูงขึ้นไป อุณหภูมิของอากาศจะลดต่ำลงด้วยอัตรา 6.5°C ต่อกิโลเมตร (Environmental lapse rate) ดังนั้นอุณหภูมิมบนยอดเขาสูง 2,000 เมตร จะต่ำกว่าอุณหภูมิที่ระดับน้ำทะเลประมาณ 13°C

3) ละติจูด (Latitude) เนื่องจากโลกเป็นทรงกลม แสงอาทิตย์จึงตกกระทบพื้นโลกเป็นมุมไม่เท่ากัน ในเวลาเที่ยงวันพื้นผิวบริเวณศูนย์สูตรได้รับรังสีจากแสงอาทิตย์เป็นมุมชัน แต่พื้นผิวบริเวณขั้วโลกได้รับรังสีจากแสงอาทิตย์เป็นมุมลาด ส่งผลให้เขตศูนย์สูตรมีอุณหภูมิสูงกว่าเขตขั้วโลก ประกอบกับรังสีที่ตกกระทบพื้นโลกเป็นมุมลาด เดินทางผ่านความหนาชั้นบรรยากาศเป็นระยะทางมากกว่า รังสีที่ตกกระทบเป็นมุมชัน ความเข้มของแสงจึงถูกบรรยากาศกรองให้ลดน้อยลง ยังผลให้อุณหภูมิลดต่ำลงไปอีก

4) ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ พื้นผิวโลกมีสภาพภูมิประเทศแตกต่างกัน มีทั้งที่ราบ ทิวเขา หุบเขา ทะเล มหาสมุทร ทะเลสาบ ทะเลทราย ที่ราบสูง สภาพภูมิประเทศมีอิทธิพลส่งผลกระทบสภาพลมฟ้าอากาศโดยตรง เช่น พื้นที่ทะเลทรายจะมีอุณหภูมิแตกต่างระหว่างกลางวันกลางคืนมากกว่าพื้นที่ชายทะเล พื้นที่รับลมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นที่อับลมเนื่องจากไม่มีการถ่ายเทความร้อน

5) ปริมาณเมฆ และอัลบีโดหรือความสามารถในการสะท้อนแสงวัตถุโดยที่พื้นผิวเมฆสะท้อนรังสีจากอาทิตย์บางส่วนกลับคืนสู่อวกาศ ขณะเดียวกันเมฆดูดกลืนรังสีคลื่นสั้นเอาไว้และแผ่พลังงานออกมาในรูปของรังสีอินฟราเรด ในเวลากลางวัน เมฆช่วยลดอุณหภูมิอากาศให้ต่ำลง และในเวลากลางคืน เมฆทำให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น เมฆจึงทำให้อุณหภูมิอากาศเวลากลางวันและกลางคืนไม่แตกต่างกันมากนัก พื้นผิวของโลกก็เช่นกัน พื้นโลกที่มีอัลบีโดต่ำ (สีเข้ม) เช่น ป่าไม้ ดูดกลืนพลังงานจากดวงอาทิตย์ พื้นโลกที่มีอัลบีโดสูง (สีอ่อน) เช่น ธารน้ำแข็ง ช่วยสะท้อนพลังงานจากดวงอาทิตย์

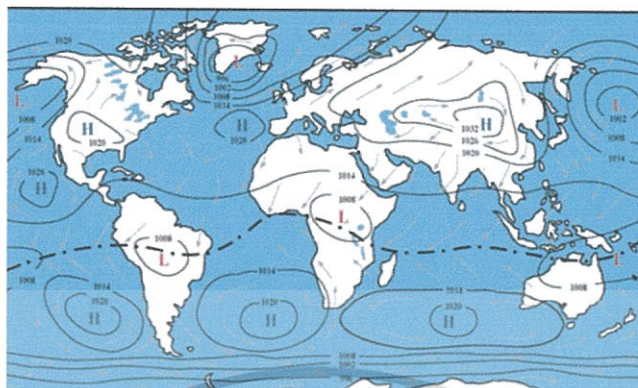
2.2.3 ความกดอากาศ

ความกดอากาศนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญสำหรับการวัดสภาพแวดล้อมของอากาศโดยที่ความกดอากาศ ความดันอากาศ หรือความดันบรรยากาศเป็น ความกดตันอยู่จุดใดหนึ่งของชั้นบรรยากาศของโลก โดยทั่วไปความกดอากาศจะประมาณเท่ากับความกดตันที่เกิดขึ้น ย้อนน้ำหนักของอากาศอยู่บนจุดนั้น ๆ ซึ่งหมายความว่า จุดที่มีความกดอากาศต่ำจะมีอากาศที่มีมวลสารต่ำกว่าจะอยู่ข้างบนมัน ด้วยเหตุผลแบบเดียวกัน ความกดอากาศจะต่ำลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น ความกดอากาศที่ความสูงระดับน้ำทะเล จะเท่ากับ 1 atm (หนึ่งหน่วยบรรยากาศ) หรือ 101.325 kPa (กิโลปาสคาล) หรือ 760 mmHg (มิลลิเมตรปรอท) โดยที่ปัจจัยที่มีผลต่อความกดอากาศประกอบด้วย

- ยิ่งมีความสูงขึ้นไป อากาศยิ่งบาง อุณหภูมียิ่งต่ำ ความกดอากาศยิ่งลดน้อยตามไปด้วย เพราะฉะนั้น ความกดอากาศบนยอดเขา จึงน้อยกว่าความกดอากาศที่เชิงเขา

- อากาศร้อนมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศเย็น จึงมีความกดอากาศน้อยกว่า เรียกว่า “ความกดอากาศต่ำ” (Low pressure) ในแผนที่อุตุนิยมจะใช้อักษร “L” เป็นสัญลักษณ์ แสดงในรูปที่ 2.7

- อากาศเย็นมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศร้อน จึงมีความกดอากาศมากกว่า เรียกว่า “ความกดอากาศสูง” (High pressure) ในแผนที่อุตุนิยมจะใช้อักษร “H” เป็นสัญลักษณ์ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.8 เช่นกัน



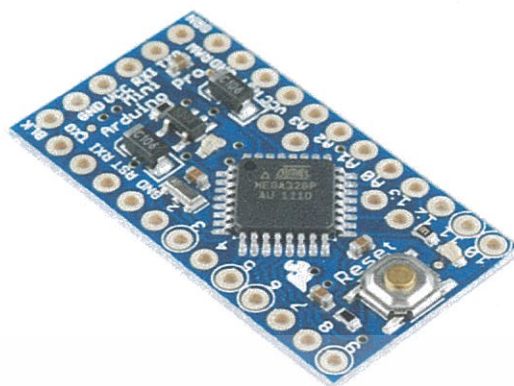
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างแผนที่ความกดอากาศ

2.3 อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับอุปกรณ์และเทคโนโลยีที่ใช้ในโครงการนี้ ประกอบด้วยกันหลายส่วนดังต่อไปนี้

2.3.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดอาร์ดูโน (Arduino)

สำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโนซึ่งเป็นบอร์ดสำเร็จรูปชนิดหนึ่งผลิตโดยบริษัท Arduino CC ในส่วนหน่วยประมวลผลใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR โดยที่จะทำงานโดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูก (single clock cycle) ทำให้มีประสิทธิภาพสูงโดยมีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา Input/Output ของบอร์ดอาร์ดูโนซึ่งมีหลายรุ่นเพื่อรองรับความต้องการผู้ใช้งานที่แตกต่างกันโดยที่จะแสดงตัวอย่างบอร์ดอาร์ดูโนรุ่น PRO MINI ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Pro-Mini

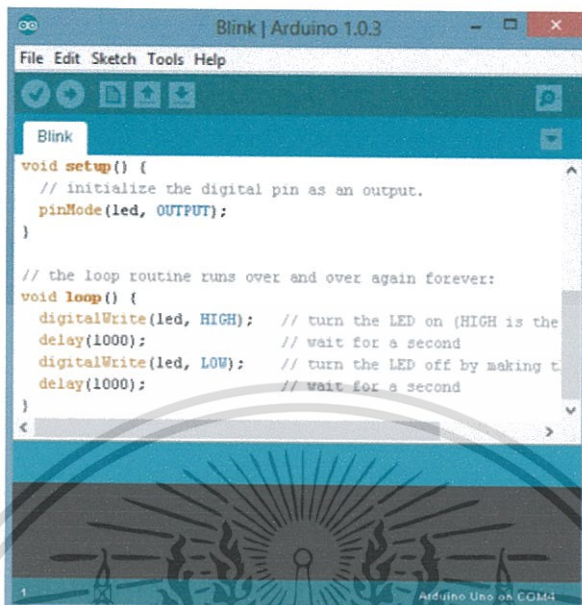
2.3.1.1 คุณสมบัติที่สำคัญของบอร์ดอาร์ดูโน้รุ่น Pro-Mini

สำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน้รุ่น Pro-mini จะประกอบด้วยขาสำหรับดิจิตอลจำนวน 14 ขาโดยที่สามารถใช้งานแบบ PWM จำนวน 6 ขา และขาแบบอนาล็อก จำนวน 5 ขา ซึ่งจะใช้หน่วยประมวลผลชนิด AVR ATMEGA 328P ทำงานที่แรงดันไฟ 5 V มีหน่วยความจำข้อมูลรอม (ROM) แบบแฟลช (Flash) จำนวน 32 กิโลไบต์ และหน่วยความจำข้อมูลแบบอีพรอม (EPROM) ขนาด 1 กิโลไบต์ มีหน่วยความจำข้อมูลแบบแอสแรม (SRAM) 2 กิโลไบต์ ความถี่นาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานที่ความถี่ 16 MHz มีขาสำหรับการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitters) และมีขาสำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Synchronous) ชนิด I²C (Inter Integrate Circuit Bus)

2.3.1.2 การพัฒนาโปรแกรมของบอร์ดอาร์ดูโน้

ส่วนการพัฒนาโปรแกรมเพื่อสำหรับการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน้ โดยที่จะต้องทำการพัฒนาภาษาของโปรแกรมซึ่งจะมีลักษณะของภาษา C/C+ โดยใช้โปรแกรม Arduino ซึ่งมีแหล่งข้อมูลของการพัฒนาโปรแกรกดังกล่าวอย่างกว้างขวาง ซึ่งสามารถทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้บอร์ดอาร์ดูโน้ทำงานตามที่กำหนดไว้โดยที่รูปที่ 2.10 จะแสดงโปรแกรม Arduino ที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

Blink
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW); // turn the LED off by making t
  delay(1000); // wait for a second
}

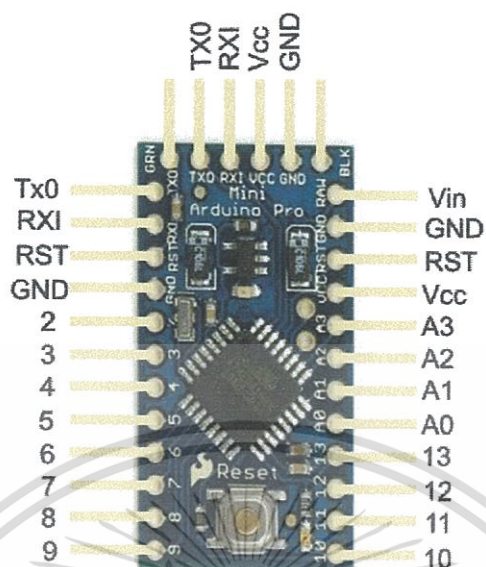
```

รูปที่ 2.10 หน้าต่างโปรแกรม Arduino

2.3.1.3 ขาพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตกับบอร์ดอาร์ดูโน้

สำหรับบอร์ดอาร์ดูโน้รุ่น Pro-mini จะมีการใช้งานขาพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตแสดง

ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยที่มีรายละเอียดในแต่ละขาพอร์ตของบอร์ดอาร์ดูโน้รุ่น Pro-mini ดังต่อไปนี้

- Digital I/O pin 2-13 : เป็นพอร์ตของสัญญาณ Digital ช่อง 2 ถึง 13
- Analog In pin 0-5 : เป็นพอร์ตของสัญญาณ Analog ช่อง 0 ถึง 5
- Serial Out (TX) : เป็นพอร์ตสำหรับการสื่อสาร UART ในที่นี้ใช้เป็น พอร์ต Transmit
- Serial In (RX) : เป็นพอร์ตสำหรับการสื่อสาร UART ในที่นี้ใช้เป็นพอร์ต Receive
- 5 Volt Power : เป็นพอร์ตสำหรับรับแรงดันไฟเลี้ยง 5 โวลต์
- Ground pin : เป็นพอร์ตสำหรับ กราวด์
- Reset pin : เป็นพอร์ตสำหรับ ใช้สำหรับรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- Voltage pin : เป็นพอร์ตสำหรับรับแรงดันไฟเลี้ยง 7-12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 โมดูลเซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ DHT22

ในส่วนการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ จะใช้งานโมดูล DHT22 ซึ่งสามารถทำการวัดค่าพารามิเตอร์ทั้งสองได้ซึ่งโดยสามารถวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ได้ตั้งแต่ระดับ 0-100% และสามารถทำการวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -40 ถึง 80 องศาเซลเซียส สามารถทำงานที่แรงดันไฟเลี้ยงที่ 3 - 5 โวลต์ และใช้กระแสขณะใช้งานที่ 1-1.5 mA ซึ่งแสดงตัวอย่างโมดูล DHT22 ในรูปที่ 2.12

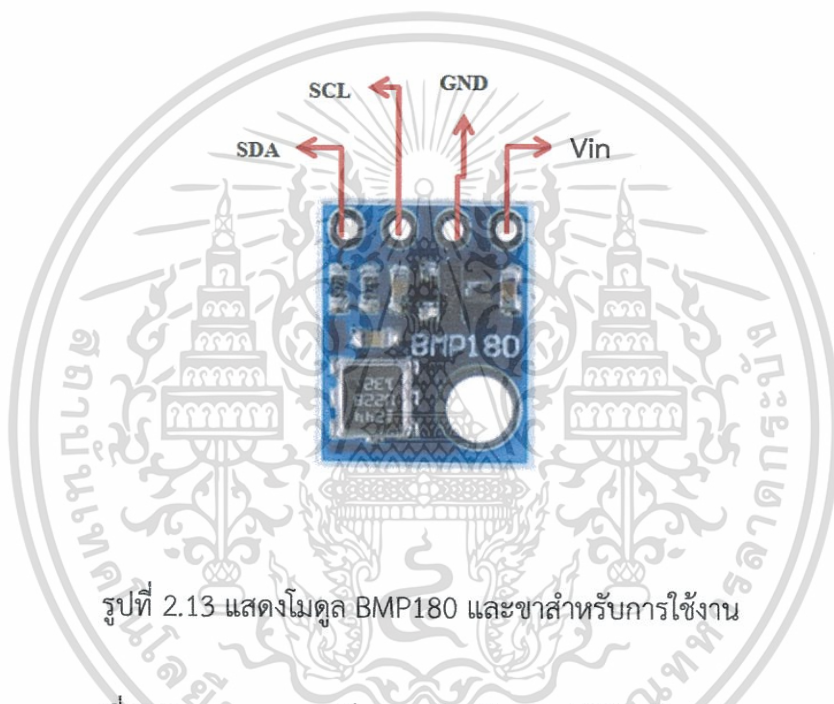


จากรูปที่ 2.12 มีรายละเอียดขาสำหรับการต่อใช้งานดังต่อไปนี้

- VCC pin : ขาสำหรับแรงดันไฟเลี้ยงตั้งแต่ 3 ถึง 5 โวลต์
- Data pin : ขาสำหรับส่งข้อมูลค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ
- Ground : ขาสำหรับกราวนด์

2.3.3 โมดูลเซนเซอร์วัดความกดอากาศและอุณหภูมิ BMP180

ในส่วนโมดูลการวัดค่าความกดอากาศและอุณหภูมิ BMP180 ซึ่งสามารถทำการวัดค่าพารามิเตอร์ทั้งสองดังกล่าวได้ โดยที่ทำการวัดค่าความกดอากาศได้ตั้งแต่ระดับ 300 – 1100 hPa และวัดค่าอุณหภูมิในช่วง -40 ถึง 80 องศาเซลเซียส โดยจะทำงานที่แรงดันไฟเลี้ยง 3.3 - 5 V และใช้การสื่อสารแบบ I²C ในการรับส่งข้อมูลค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวในที่นี้แสดงตัวอย่างของโมดูล BMP180 และขาสำหรับต่อใช้งานในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงโมดูล BMP180 และขาสำหรับการใช้งาน

จากรูปที่ 2.13 แสดงรายละเอียดขา สำหรับการต่อใช้งานโมดูล BMP180 ดังต่อไปนี้

- Vin pin : ขาสำหรับแรงดันไฟเลี้ยง
- GND pin : เป็นขากราวด์
- SDA pin : เป็นขา SDA สำหรับการรับส่งข้อมูลผ่าน I²C
- SCL pin : เป็นขา SCL สำหรับการรับส่งข้อมูลผ่าน I²C

2.3.4 โมดูลวัดความเร่ง 3 แกน ADXL345

ในส่วนการวัดความเร่ง 3 แกน คือ แกนX แกนY และ แกนZ ซึ่งจะทำให้การบันทึกค่าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเร่งที่เกิดขึ้นในขณะที่บอลลูกอากาศทำงานโดยใช้งานโมดูล ADXL345 ในการวัดค่าพารามิเตอร์ความเร่ง 3 แกน โดยใช้ในการสื่อสารข้อมูล I²C ในการรับส่งข้อมูล ซึ่งจะแสดงตัวอย่างโมดูล ADXL345 ในรูปที่ 2.14



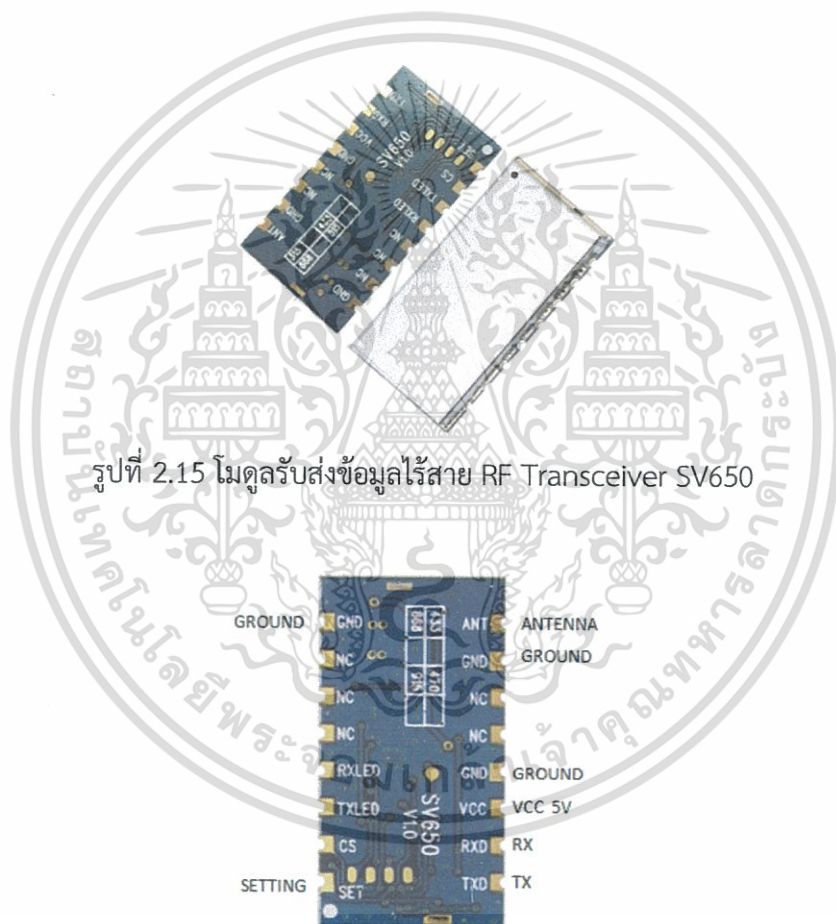
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างโมดูล ADXL และ ขาเชื่อมต่อสำหรับใช้งาน

จากรูปที่ 2.14 จะแสดงรายละเอียดขาเชื่อมต่อที่ใช้งานดังต่อไปนี้คือ

- VCC : ขาสำหรับแรงดันไฟเลี้ยง 3.3 V
- GND : ขากราวด์ของโมดูล
- SCL : ขา SDL สำหรับการเชื่อมต่อสื่อสารข้อมูล I²C
- SDA : ขา SDA สำหรับการเชื่อมต่อสื่อสารข้อมูล I²C

2.3.5 โมดูลรับส่งข้อมูลไร้สาย RF Transceiver SV650

ในส่วนนี้จะใช้โมดูล RF Transceiver รุ่น SV650 ซึ่งเป็นโมดูลใช้รับส่งข้อมูลชนิด UART โดยทำงานที่ความถี่ 431 – 478 MHz ใช้การ modulation ข้อมูลชนิด GFSK มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 1200 – 19200 baud กำลังส่ง 500 mW ซึ่งจะแสดงโมดูล SV650 รูปที่ 2.15 และ ขาเชื่อมต่อการใช้งานในรูปที่ 2.16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 โมดูลกล้องถ่ายภาพ SEN-11610

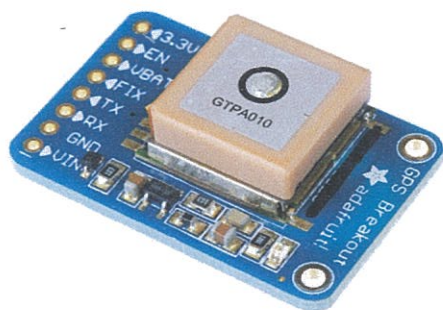
ในส่วนของโมดูลกล้องถ่ายภาพ SEN-10061 ซึ่งเป็นโมดูลที่สามารถถ่ายภาพและแปลงข้อมูลภาพให้เป็นไฟล์ภาพ JPEG โดยใช้การเชื่อมต่อข้อมูล UART ซึ่งโมดูลสามารถถ่ายภาพที่มีความละเอียดสูงสุด 2 Megapixel อีกทั้งสามารถปรับขนาดของภาพได้เป็น 160x120,320x240,640x480 พิกเซล โดยจะแสดงตัวอย่างโมดูลกล้องถ่ายภาพในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 โมดูลกล้องถ่ายภาพรุ่น SEN-10061

2.3.7 โมดูลรับสัญญาณจีพีเอส (GPS Receiver Module)

เป็นโมดูลที่ใช้รับสัญญาณจากดาวเทียมระบบจีพีเอส (GPS , Global Positioning System) ซึ่งใช้การคำนวณและให้ข้อมูลตำแหน่งของโมดูลรับสัญญาณจีพีเอส ซึ่งจะประกอบด้วย ค่าละติจูด (Latitude) ค่าลองจิจูด (Longitude) ค่าความสูง (Altitude) ค่าความเร็ว (Speed) และค่าพารามิเตอร์อื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยที่แสดงตัวอย่างของอุปกรณ์โมดูล GPS ในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 อุปกรณ์โมดูลรับสัญญาณ GPS

2.3.7.1 รูปแบบข้อความจีพีเอส

ในส่วนข้อความที่โมดูลจีพีเอสส่งมาซึ่งจะสามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภทโดยที่สำหรับโมดูลชนิดนี้ให้ข้อมูลในรูปแบบข้อความจำนวน 3 ประเภทคือ GPRMC GPGSA และ GPGGA ซึ่งรูปแบบดังกล่าวจะมีการจัดเรียงข้อมูลที่ต่างกัน โดยจะแสดงตัวอย่างของเฟรมข้อมูลดังแสดงรูปที่ 2.19

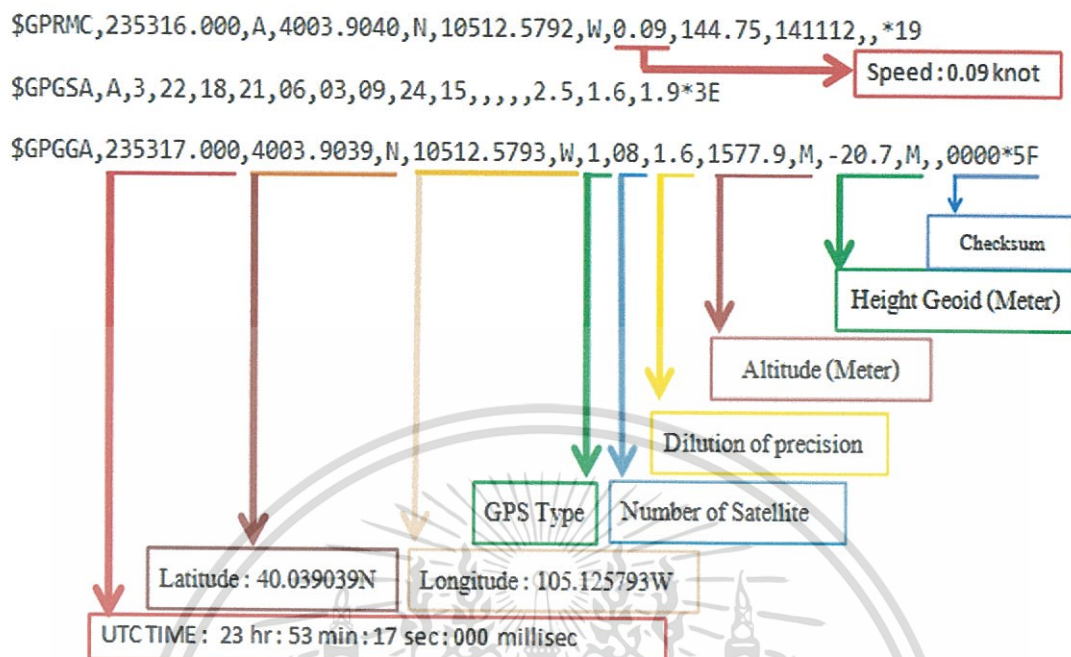
\$GPRMC,235316.000,A,4003.9040,N,10512.5792,W,0.09,144.75,141112,,*19

\$GPGSA,A,3,22,18,21,06,03,09,24,15,,,,,2.5,1.6,1.9*3E

\$GPGGA,235317.000,4003.9039,N,10512.5793,W,1,08,1.6,1577.9,M,-20.7,M,,0000*5F

รูปที่ 2.19 ตัวอย่างข้อความ GPS

จากรูปที่ 2.18 ซึ่งจะแสดงตัวอย่างข้อความที่ได้รับจากโมดูลจีพีเอสซึ่งจะประกอบด้วยข้อความชนิดคือ \$GPRMC \$GPGSA และ \$GPGGA โดยที่ข้อความแต่ละชนิดจะเริ่มต้นด้วยอักษร '\$' ตามด้วยชนิดของข้อความและพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งสามารถแยกข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานโดยที่ในรูปที่ 2.20 จะแสดงให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่จะถูกใช้งานในระบบบอลลูนตรวจอากาศซึ่งจะประกอบด้วยตำแหน่งละติจูด (Latitude) ลองจิจูด (Longitude) ความเร็ว (Speed) ความสูง (Altitudes) เป็นต้น



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างข้อมูลจากโมดูลจีพีเอสซึ่งใช้ในระบบบอลลูนตรวจอากาศ

2.3.8 ร่มชูชีพ Parachute

ร่มชูชีพคือวัตถุที่ช่วยให้มนุษย์และสิ่งของเคลื่อนที่ช้าลงในการตกลงสู่พื้นโลกซึ่งจะช่วยจะอาศัยแรงต้านอากาศในการลดความเร็วซึ่งจะใช้ร่มชูชีพในการลดความเร็วของบอลลูนตรวจอากาศเมื่อตกลงสู่พื้น โดยในปัจจุบันมีร่มชูชีพหลายประเภท โดยแสดงตัวอย่างร่มชูชีพในรูปที่ 2.21



ก. Flat parachute



ข. Dome parachute



ค. Rogallo-wing
parachute



ง. Ram air parachute

รูปที่ 2.21 ตัวอย่างของร่มชูชีพประเภทต่างๆ

จากรูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นรูปแบบของร่มชูชีพโดยในรูปที่ 2.21ก ร่มชูชีพแบบ flat ซึ่งจัดสร้างได้ง่ายแต่ประสิทธิภาพในการสร้างแรงต้านอากาศต่ำ รูปที่ 2.21ข ร่มชูชีพแบบ Dome ซึ่งมีประสิทธิภาพในการสร้างแรงต้านอากาศได้ดี รูปที่ 2.21ค ร่มชูชีพแบบ Rogallo wing ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางได้ดี และรูปที่ 2.21ง ร่มชูชีพแบบ Ram-air ซึ่งมีประสิทธิภาพในการสร้างแรงต้านอากาศได้ดีและยังสามารถควบคุมทิศทางได้ดี

2.3.9 บอลลูนบรรจุก๊าซฮีเลียม

ในส่วนของบอลลูนบรรจุก๊าซฮีเลียมซึ่งจะทำหน้าที่นำอุปกรณ์ของระบบบอลลูนตรวจอากาศขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศด้วยคุณสมบัติของก๊าซฮีเลียมที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศจึงสามารถสร้างแรงยกตัวขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ อีกทั้งก๊าซฮีเลียมไม่ติดไฟจึงปลอดภัยต่อการใช้งาน โดยที่ก๊าซจะถูกบรรจุไว้ในบอลลูน โดยจะแสดงในรูปที่ 2.22



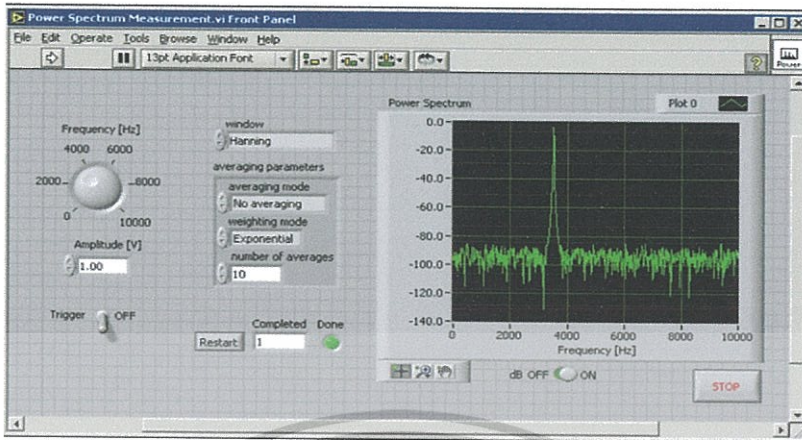
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างบอลลูนที่บรรจุด้วยก๊าซฮีเลียม

2.3.10 โปรแกรม LABVIEW

สำหรับ LabVIEW เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ และในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ใช้ช่วยในการวัดมากมายและแน่นอนที่สุด โปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆโดยที่เครื่องมือจะประกอบ 2 ส่วนหลักๆด้วยกันคือ

2.3.10.1 Front panel

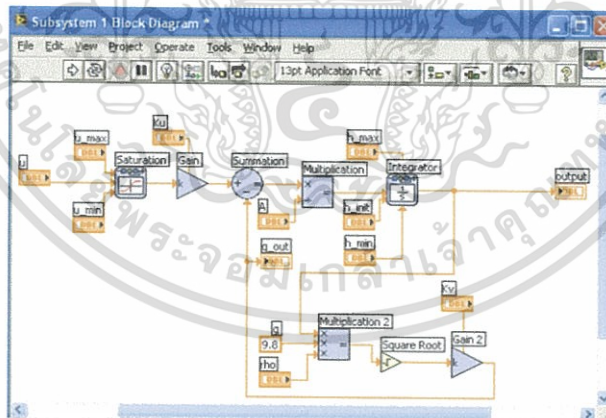
เป็นส่วนตั้งค่าการวัดและอ่านค่าตัวเลขหรือกราฟที่ออกมาจาก block diagram จึงทำหน้าที่เสมือนเครื่องมือวัดจริงโดย input ที่ป้อนเข้าไปจะเป็นตัวควบคุม ส่วน output ที่ออกมาจะเป็นตัวแสดงผลซึ่งแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ตัวอย่าง Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW

2.3.10.2 Block diagram

ทำหน้าที่เสมือนเป็น Source code โดยใช้โปรแกรมภาษากกราฟิก องค์ประกอบของ block diagram นี้จะแทนโปรแกรมแบบคำสั่ง เช่น for loop, case structure และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ตัวอย่าง Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

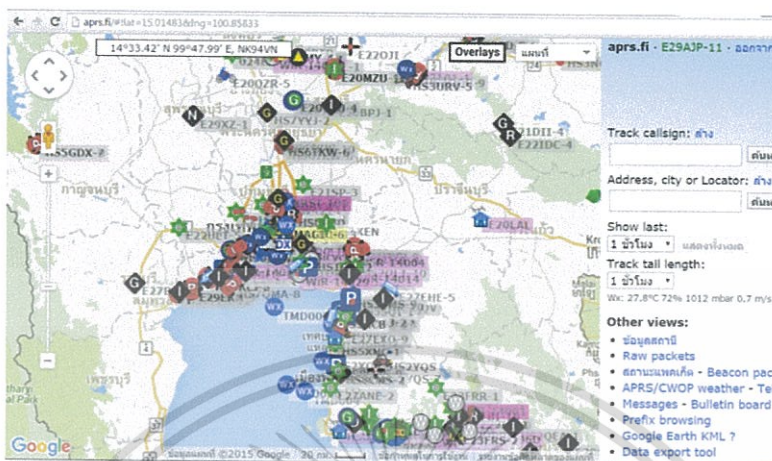
2.3.11 ระบบติดตามตำแหน่งอัตโนมัติด้วยเครือข่ายวิทยุสมัครเล่น APRS

Automatic Packet Reporting System (APRS) เป็นระบบ รายงาน ข้อมูลอัตโนมัติ โดยมีความหมายว่า เป็นระบบรับส่งข้อมูลอัตโนมัติในโหมดดิจิทัล ที่มีรูปแบบการสื่อสาร(โปรโตคอล) คือ “APRS Protocol” โปรโตคอล APRS ก็คือภาษาหนึ่งในการจัดวางรูปแบบข้อความที่จะทำให้ระบบต่าง ๆ สื่อได้ตรงกัน และสามารถสื่อสารกันได้หลายทางไม่ได้จำกัดเฉพาะทางใดทางหนึ่งเช่น ทางอินเทอร์เน็ต ทางคลื่นวิทยุ ทางเสียง สื่อบันทึก โทรศัพท์ ฯลฯ โปรโตคอล APRS จะมีหลายรูปแบบหรือหลายชนิดในการรับส่งข้อมูลเช่น รูปแบบแจ้งตำแหน่งพิกัดจีพีเอส รูปแบบข้อมูลตรวจวัดอากาศ รูปแบบข้อความ รูปแบบข้อความสถานะ เป็นต้น ซึ่งแสดงตัวอย่างภาพรวมของระบบในรูปที่ 2.25 โดยที่จะแสดงตำแหน่งและข้อความของ อุปกรณ์ APRS ได้ทั่วโลกผ่านเว็บไซต์ APRS.fi ซึ่งแสดงตัวอย่างอุปกรณ์ APRS ที่ใช้งานในประเทศไทยในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.25 ภาพรวมของระบบ APRS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 ตำแหน่งของสถานีและอุปกรณ์ APRS ผ่านเว็บไซต์ APRS.fi

2.3.11.1 โพรโทคอล AX.25

Protocol AX.25 เป็นโพรโทคอลซึ่งที่นิยมใช้งานในการส่งข้อมูล Packet ผ่านเครือข่ายวิทยุสมัครเล่น (Amateur Radio) โดยเป็นลักษณะโพรโทคอลที่อยู่ในชั้น Data-link ใน OSI Model โดยโพรโทคอล AX.25 ไม่ได้จำกัดการส่งข้อมูลในชั้น Physical layer แต่ในทางปฏิบัตินิยมใช้งานในการส่งข้อมูล 1200 baud ผ่านทางของสัญญาณวิทยุในช่วงความถี่ HF VHF หรือ UHF โดยแสดงโครงสร้างของเฟรมข้อมูล AX.25 ในรูปที่ 2.27

First Bit Sent						
Flag	Address	Control	PID	Info.	FCS	Flag
01111110	112/560 Bits	8 Bits	8 Bits	N*8 Bits	16 Bits	01111110

รูปที่ 2.27 เฟรมโครงสร้างข้อมูลของโพรโทคอล AX.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สถานีภาคพื้นดินสำหรับรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA

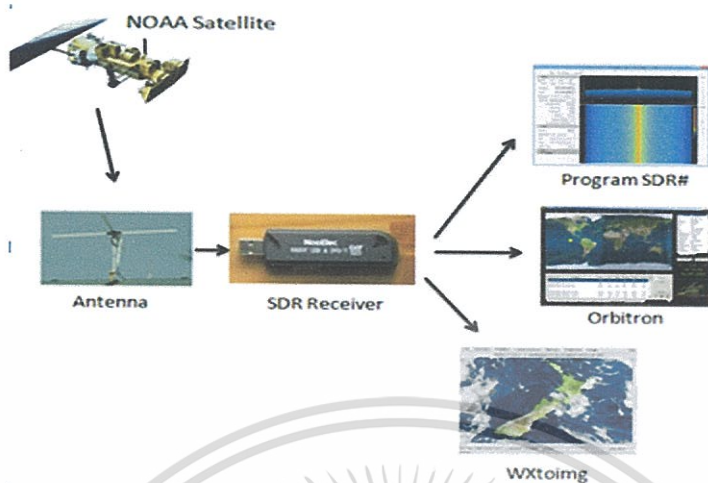
ในส่วนของการจัดตั้งสถานีภาคพื้นดินเพื่อใช้สำหรับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งเพื่อนำภาพถ่ายดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ผลและศึกษาเพิ่มเติมจะอธิบายดังต่อไปนี้

2.4.1 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA จัดตั้งขึ้นโดยองค์กร NOAA ย่อมาจาก National Oceanic and Atmospheric Administration ซึ่งทำหน้าที่ตรวจวัดและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมทั้งในมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศโลกซึ่งได้จัดสร้างดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (meteorological satellite) ขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจวัดสภาพแวดล้อมของโลกที่เปลี่ยนแปลงไปโดยที่ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA โคจรที่ระดับความสูงประมาณ 850 km โคจรผ่านพื้นที่ประเทศไทยประมาณ 2 ครั้งต่อวันโดยที่ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA จะทำการถ่ายภาพพื้นผิวโลกและส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นดินโดยที่ข้อมูลผ่านจะถูกส่งผ่าน Frame Apt Mode (Automatic picture transmission) ซึ่งจะทำให้การนำข้อมูลภาพจะถูกแบ่งออกเป็นสองช่องคือ Channel A และ Channel มาจัดเรียงข้อมูลและถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณ amplitude modulated 2400Hz subcarrier

2.4.2 สถานีภาคพื้นดินสำหรับรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียม NOAA

จากการศึกษาการรับสัญญาณจากดาวเทียม NOAA ซึ่งเป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา และ Remote Sensing ซึ่งจะส่งข้อมูลภาพกลับมายังบนโลกโดยใช้อุปกรณ์รับสัญญาณวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ (SDR) ร่วมกับโปรแกรม SDR SHARP โดยที่สามารถรู้ตำแหน่งของดาวเทียมที่โคจรได้ด้วยโปรแกรม Orbitron ซึ่งจะบอกตำแหน่งของดาวเทียม NOAA และในการถอดรหัสจากสัญญาณวิทยุสู่สัญญาณภาพทำได้ด้วยโปรแกรม Wxtoimg ซึ่งทั้งหมดคือส่วนสถานีภาคพื้นดินที่สามารถรับสัญญาณภาพจากดาวเทียม NOAA ได้โดยตรงซึ่งจะแสดงภาพรวมโดยคร่าวในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ภาพรวมของระบบสถานีภาคพื้นดินเพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียม NOAA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

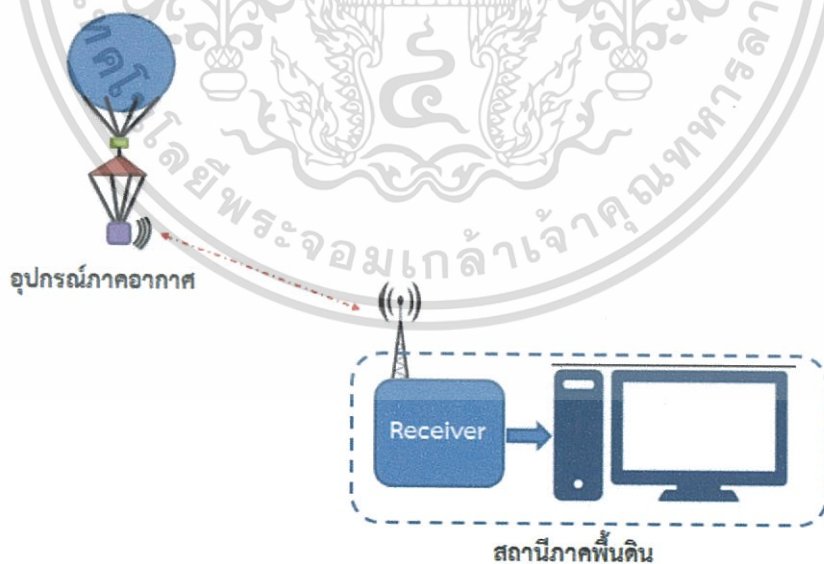
การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบระบบบอลลูนตรวจอากาศโดยศึกษาจากต้นแบบ

ในส่วนของระบบบอลลูนตรวจอากาศที่ใช้งานโดยหน่วยงานของกรมอุตุนิยมวิทยามีชื่อว่า ระบบวิทยุหึ่งอากาศ (Radiosonde) นั้นจะประกอบด้วยกันสองระบบแสดงในรูปที่ 3.1 คือ

1. ระบบอากาศซึ่งจะมีอุปกรณ์ซึ่งมีเซนเซอร์ตรวจวัดทางกายภาพของสภาวะอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ เป็นต้น รวมทั้งภายในระบบอากาศจะมีอุปกรณ์ส่งวิทยุสำหรับการส่งข้อมูลโดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะทำการติดตั้งกับบอลลูนแล้วปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศโลก
2. ระบบสถานีภาคพื้นดินซึ่งจะทำการรับข้อมูลจากระบบอากาศและแปรข้อมูลที่ได้รับเก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลตามที่ต้องการ

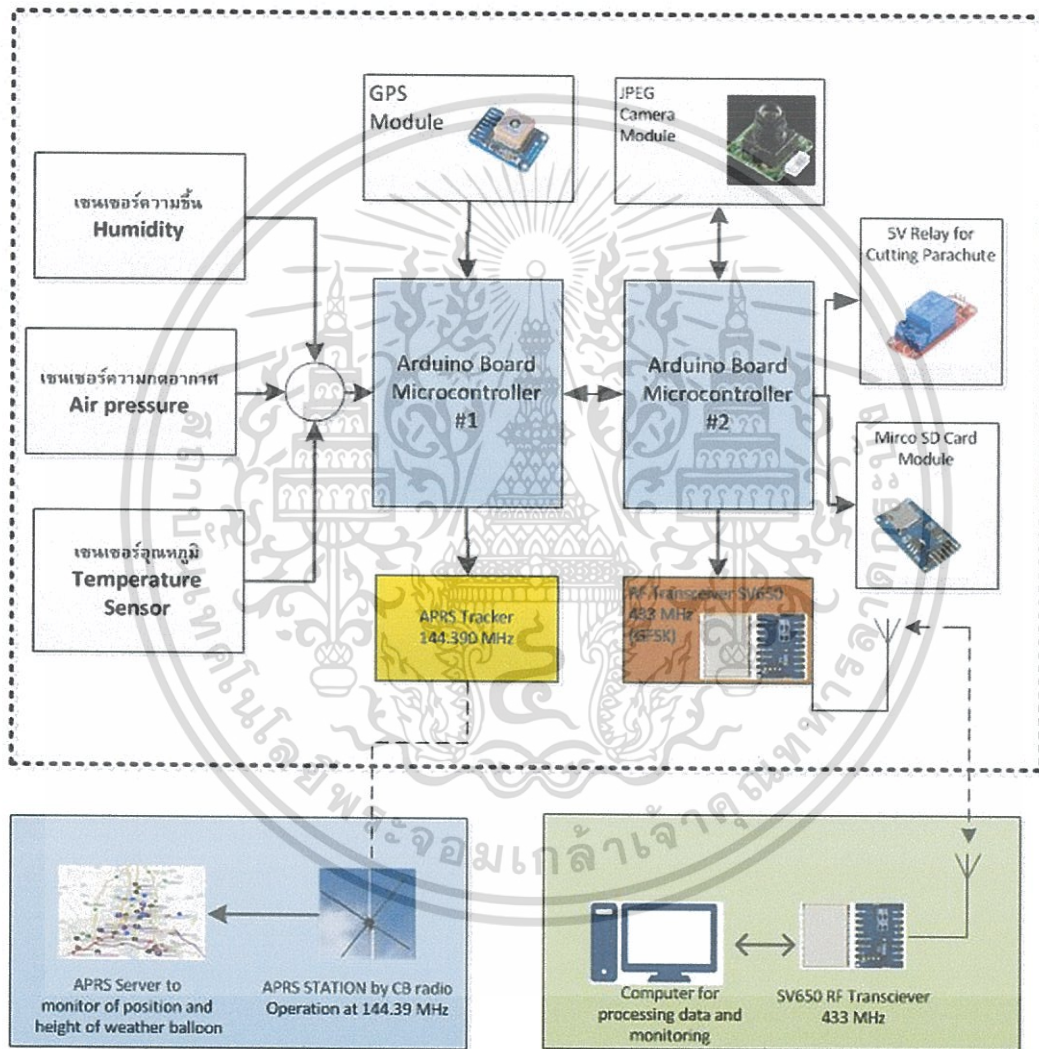


รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบวิทยุหึ่งอากาศที่ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบระบบบอลลูนตรวจอากาศ

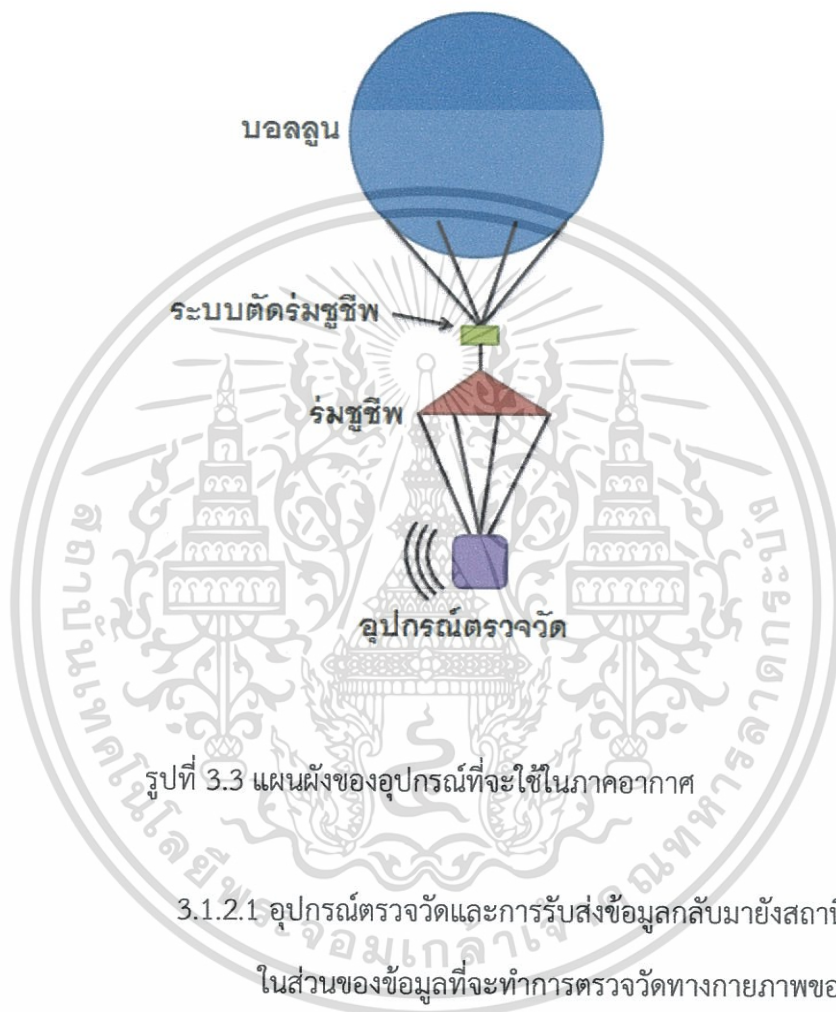
ในส่วนของการออกแบบระบบบอลลูนตรวจอากาศจะแบ่งด้วยกัน 2 ส่วน เช่นกันคือ ภาคอากาศ และ ภาคสถานีพื้นดินซึ่งในการออกแบบภาคอากาศจะทำการติดตั้งไปกับบอลลูนแล้วปล่อยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศและทำการส่งข้อมูลกลับมาที่สถานีฐานระหว่างนั้นสถานีภาคพื้นดินจะทำการรับข้อมูลและเก็บผลที่ได้ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ระบบบอลลูนตรวจอากาศทั้งในส่วนของภาคอากาศและสถานีภาคพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในภาคอากาศจะมีอุปกรณ์ติดตั้งหลายระบบซึ่งจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ ด้วยกันคือ บอลลูนที่จะลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ รั่มชูชีพ และระบบอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งแผนผังอุปกรณ์ทั้งหมดจะแสดงในรูป 3.3



รูปที่ 3.3 แผนผังของอุปกรณ์ที่จะใช้ในภาคอากาศ

3.1.2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดและการรับส่งข้อมูลกลับมายังสถานีฐาน

ในส่วนของข้อมูลที่จะทำการตรวจวัดทางกายภาพของอากาศบนบอลลูนตรวจอากาศจะประกอบด้วยกัน 3 ส่วนคือ

1. อุณหภูมิของอากาศ (Temperature)
2. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Humidity)
3. ความกดอากาศ (Pressure)

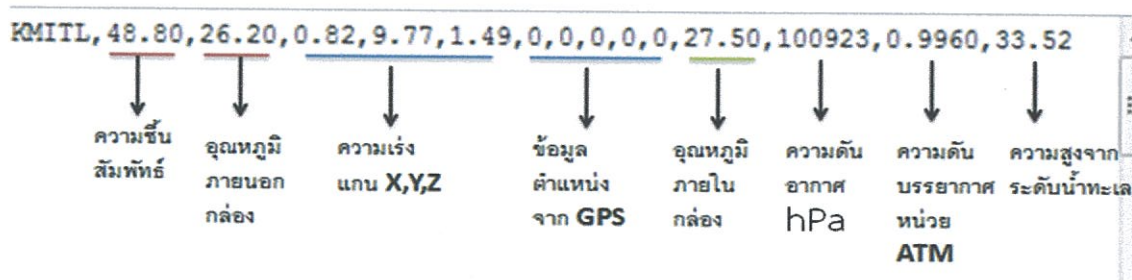
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทั้ง 3 พารามิเตอร์ดังกล่าวใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์สภาพอากาศเบื้องต้นดังนั้น ในระบบบอลลูนอากาศจำเป็นจะต้องมีเซนเซอร์ที่ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ทั้งสามค่านี้ซึ่งในอุปกรณ์ ตรวจวัดจะทำการติดตั้งเซนเซอร์เพื่อวัดค่าทางกายภาพเหล่านี้ นอกเหนือจากนี้รวมถึงทำการติดตั้ง กล้องถ่ายภาพเพื่อสามารถให้เห็นสภาพแวดล้อมของเมฆผ่านภาพถ่าย , เซนเซอร์ความเร่งเพื่อ สำหรับการวิเคราะห์แรงที่โมดูลทั้งหมดถูกกระทำซึ่งสามารถไปคำนวณหาแรงลมได้ และโมดูลจีพีเอสเพื่อใช้สำหรับระบุตำแหน่งและความสูงของอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดนั้นจะถูกควบคุมผ่านโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีจำนวน 2 ตัว โดยที่บอร์ดอาร์ดูโนตัวที่ 1 จะทำการอ่านค่าจากเซนเซอร์ ต่างๆและจะรวบรวมข้อมูลตำแหน่งจากโมดูลจีพีเอสและส่งข้อมูลไปยัง Arduino ตัวที่ 2 โดยที่ Arduino ตัวที่ 2 ทำหน้าที่รับค่าเซนเซอร์จากตัวที่ 1 พร้อมทั้งจัดเรียงข้อมูลให้อยู่ในเฟรมข้อมูลที่ กำหนดไว้จากนั้นส่งข้อมูลดังกล่าวกลับไปยังสถานีภาคพื้นดินผ่านทางโมดูลสื่อสารไร้สาย นอกจากนี้ อาร์ดูโนตัวที่ 2 จะทำหน้าที่เชื่อมต่อกับโมดูลกล้องถ่ายภาพซึ่งจะถ่ายภาพและส่งกลับไปยังสถานี ฐานอีกทั้งเชื่อมต่อกับรีเลย์เพื่อใช้ในการจ่ายไฟให้ขดลวดนิโครมเพื่อที่จะปลดร่มชูชีพแยกอุปกรณ์ ออกจากบอลลูนในกรณีสถานีภาคพื้นดินส่งคำสั่งเพื่อปลดร่มชูชีพซึ่งจะแสดงบล็อกแกดโดะแกรมดัง ในรูป 3.2 ก่อนหน้านี้แล้ว

ในส่วนการรับส่งข้อมูลของภาคอากาศจะแบ่งชนิดการส่งข้อมูลเป็น 2 ส่วนคือ

- 1) เฟรมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดซึ่งในภาคอากาศจะทำการ ส่งข้อมูลกลับไปยังสถานีฐานโดยจะมีการกำหนดเฟรมในการส่งข้อมูลกลับไปยังสถานีฐานซึ่งจะถูก กำหนดให้เริ่มต้นด้วย KMITL ตามด้วยข้อมูลเซนเซอร์และคั่นด้วยตัวอักษร “;” ดังรูปที่ 3.5
- 2) ส่งข้อมูลไฟล์ภาพ JPEG ซึ่งหากภาคอากาศได้รับรหัสสั่งถ่ายภาพ จะทำการถ่ายภาพและอ่านข้อมูลไฟล์ภาพผ่านโมดูลกล้องโดยไฟล์ภาพที่ได้จะเป็นชนิด JPEG ซึ่งจะ ถูกส่งกลับมายังสถานีฐานผ่านโมดูลรับส่งวิทยุเช่นเดียวกัน

ดังนั้นเวลาในการรับส่งข้อมูลในรูปแบบคนละช่วงเวลาหากในกรณีระบบทำงาน ปกติภาคอากาศจะส่งเฟรมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดทุก 15 วินาที แต่ถ้าหากภาค อากาศได้รับคำสั่งถ่ายภาพจากสถานีฐานก็จะหยุดส่งเฟรมข้อมูลที่ตรวจวัดก่อนหลังจากนั้นส่ง ภาพถ่ายและทำการอ่านค่าไฟล์ภาพ JPEG จากโมดูลกล้องและทำการส่งไฟล์ภาพดังกล่าวไปยัง สถานีฐานเมื่อข้อมูลไฟล์ภาพถูกส่งเรียบร้อยแล้ว ภาคอากาศจะเริ่มทำการส่งเฟรมข้อมูล พารามิเตอร์ใหม่โดยที่จะกำหนดเฟรมข้อมูลในรูปที่ 3.4 ดังต่อไปนี้



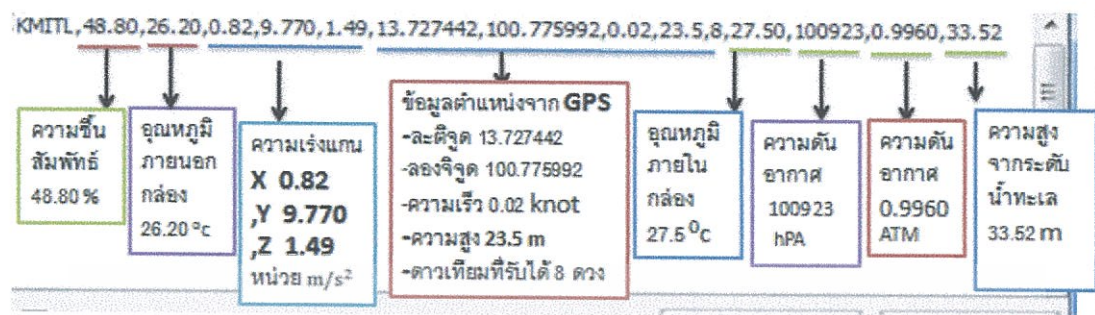
รูปที่ 3.4 เฟรมข้อมูลที่กำหนดขึ้นในการส่งค่ากลับมายังสถานีฐาน

จากรูปที่ 3.4 เฟรมข้อมูลค่าพารามิเตอร์จะประกอบไปด้วย

- 1) Header KMITL เพื่อใช้สำหรับแสดงจุดเริ่มต้นของเฟรม
- 2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งจะค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทำการตรวจวัดได้จากโมดูล DHT22
- 3) อุณหภูมิภายนอกกล่อง ซึ่งเป็นอุณหภูมิของอากาศที่ทำการตรวจวัดได้จากโมดูล DHT22 ซึ่งจะติดตั้งไว้ภายนอกกล่องที่บรรจุอุปกรณ์ตรวจวัด
- 4) ความเร่ง ซึ่งเป็นค่าความเร่งที่วัดในแนวแกน X,Y,Z ตามลำดับโดยค่าที่ได้วัดจากโมดูล ADXL345
- 5) ตำแหน่ง GPS ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับจากโมดูล GPS ซึ่งประกอบด้วย ละติจูด (Latitude) ลองจิจูด (longitude) ความเร็ว (Speed) ความสูง (Altitude) และจำนวนดาวเทียมที่สามารถรับสัญญาณได้ (Satellite)
- 6) อุณหภูมิภายในกล่อง ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากโมดูล BMP180 ซึ่งถูกติดตั้งไว้ภายในกล่องที่บรรจุอุปกรณ์ตรวจวัด
- 7) ความดันบรรยากาศหน่วย hPa ซึ่งเป็นค่าความดันบรรยากาศที่วัดได้จากโมดูล BMP180 แสดงในหน่วย hPa
- 8) ความดันบรรยากาศหน่วย Atm ซึ่งเป็นค่าความดันบรรยากาศที่วัดได้จากโมดูล BMP180 แสดงในหน่วย Atm
- 9) ความสูงจากระดับน้ำทะเล ซึ่งวัดได้จากโมดูล BMP180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะอธิบายแต่ละค่าพารามิเตอร์ในเฟรมข้อมูลที่ถูกจัดเรียงในรูปแบบที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ข้อมูลต่างๆในเฟรมข้อมูลที่ถูกจัดเรียงก่อนจะถูกส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นดิน

นอกเหนือจากที่อุปกรณ์ตรวจวัดจะส่งข้อมูลกลับมายังสถานีภาคพื้นดิน ในส่วนของสถานีภาคพื้นดินสามารถส่งคำสั่งเป็นตัวอักษรกลับไปยังบอลูนตรวจอากาศในสามารถทำงานได้ตามคำสั่งที่ถูกกำหนดไว้โดยที่ได้มีการกำหนดเป็นคำสั่งดังในตารางที่ 3.1 ไว้ดังต่อไปนี้คือ

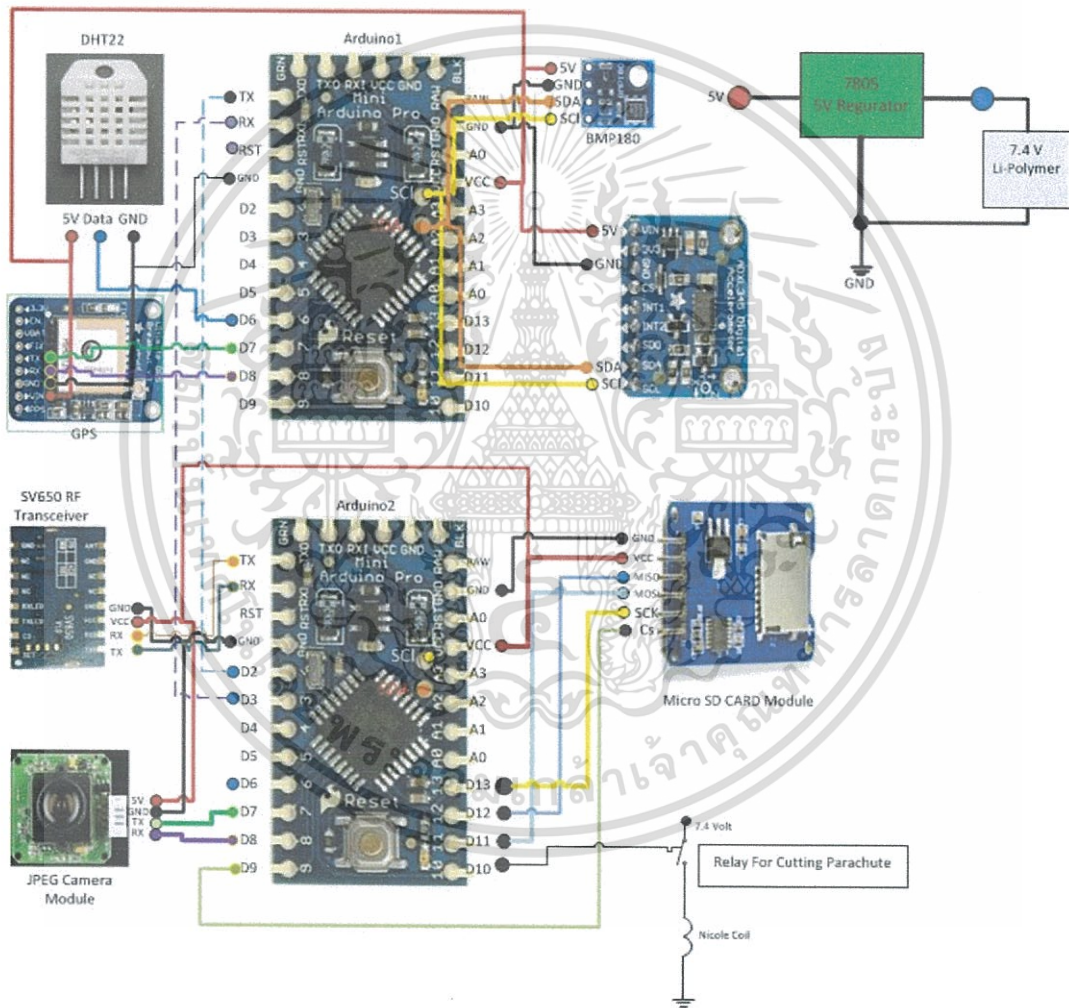
ตารางที่ 3.1 รหัสคำสั่งที่ภาคอากาศได้รับและการทำงานของแต่ละคำสั่ง

รหัสที่ได้รับจากสถานีฐาน	การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์บนระบบอุปกรณ์ตรวจวัด
100	อ่านค่าจากเซนเซอร์และส่งข้อมูลกลับไปยังสถานีฐาน
200	ส่งถ่ายภาพและส่งข้อมูลภาพไปยังสถานีฐาน
201	ปรับขนาดภาพถ่ายให้มีขนาด 320×240
202	ปรับขนาดภาพถ่ายให้มีขนาด 640×480
203	ปรับขนาดภาพถ่ายให้มีขนาด 160×120
300	สั่งให้ Relay ทำงานเพื่อที่จะสั่งตัดร่มชูชีพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 การออกแบบการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับเซนเซอร์ และโมดูลสื่อสารไร้สาย

สำหรับการออกแบบของการเชื่อมต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนรุ่น Pro mini กับเซนเซอร์ต่างๆรวมทั้งโมดูลรับส่งข้อมูลวิทยุโดยอุปกรณ์ที่ใช้งานซึ่งจะแสดงการเชื่อมต่อในรูปที่ 3.6 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อวงจรระหว่างบอร์ดอาร์ดูโนและอุปกรณ์ต่างๆ

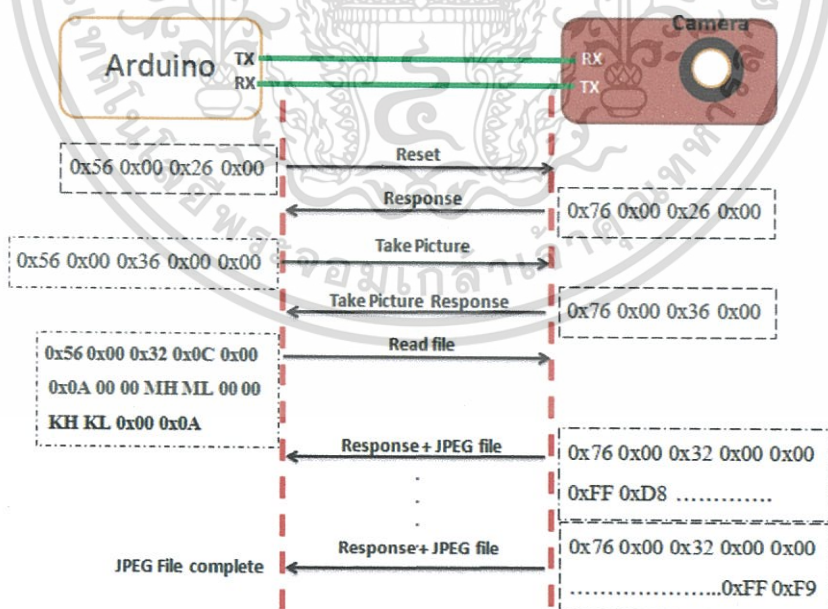
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 จะแสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน่ตัวที่ 1 กับอุปกรณ์เซนเซอร์ ซึ่งในส่วนการเชื่อมต่อบอร์ดอาดูโน่กับอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้ Protocol I²C ในการสื่อสารข้อมูลประกอบด้วย เซนเซอร์วัดความเร่ง 3 แกน (ADXL345) และโมดูล BMP180 ซึ่งวัดค่าความกดอากาศและอุณหภูมิโดยที่ขา SDA และขา SCL จะเชื่อมต่อกับขา Analog Input A4 และ A5 ของบอร์ดอาดูโน่ตามลำดับ สำหรับในส่วนเซนเซอร์อื่นๆที่ใช้ Protocol UART ในการเชื่อมต่อข้อมูลประกอบด้วย โมดูล DHT22 ซึ่งเป็นโมดูลที่สามารถทำการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและอุณหภูมิโดยที่ บอร์ดอาร์ดูโน่ตัวที่ 1 จะเชื่อมต่อกับบอร์ดอาร์ดูโน่ตัวที่สองผ่านการเชื่อมต่อแบบ Serial UART โดยที่บอร์ดอาร์ดูโน่ตัวที่ 2 จะเชื่อมต่อกับโมดูลสื่อสารไร้สาย SV650 RF Transceiver โมดูลถ่ายภาพ JPEG Camera และโมดูล Relay ในกรณีสั่งตัดร่มซูชิพโดยที่แหล่งจ่ายพลังงานของอุปกรณ์ทั้งหมดมาจากแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์แรงดัน 7.4 โวลต์โดยมีไอซีปรับแรงดัน 5 volts ทำหน้าที่แปลงแรงจ่ายไฟจากแบตเตอรี่เป็นแรงดัน 5 โวลต์ ซึ่งจะจ่ายให้อุปกรณ์

3.1.2.3 การติดต่อระหว่างโมดูลกล้อง กับไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน่

สำหรับการเชื่อมต่อโมดูลกล้องกับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นใช้

การติดต่อสื่อสารผ่าน UART ซึ่งมีแผนผังการทำงานการทำงานดังรูปที่ 3.7

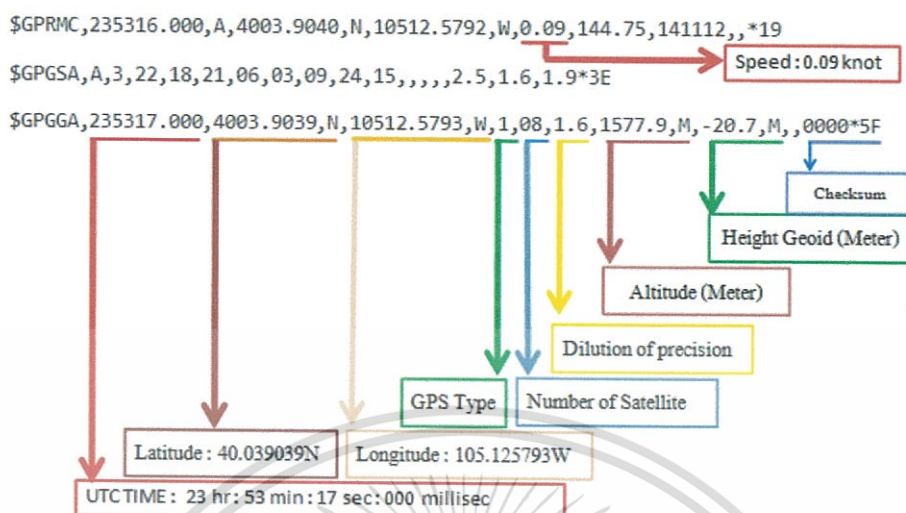


รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานระหว่างบอร์ดอาร์ดูโน่กับโมดูลกล้องถ่ายภาพ

จากรูปที่ 3.8 ซึ่งในขั้นตอนการถ่ายภาพนั้นเริ่มต้นที่บอร์ดอาดูโนส่งข้อมูล Reset ซึ่งเป็นชนิดข้อมูล Hex (0x56 0x00 0x26 0x00) ไปยังโมดูลกล้อง หากโมดูลกล้องสามารถใช้งานได้จะส่งข้อมูลตอบกลับมาเป็น (0x76 0x00 0x26 0x00) หลังจากนั้นบอร์ดอาดูโนส่งข้อมูล (0x56 0x00 0x36 0x00 0x00) ซึ่งเป็นคำสั่งถ่ายภาพหากโมดูลกล้องสามารถถ่ายภาพได้สำเร็จก็จะส่งข้อมูลตอบกลับมาเป็น (0x76 0x00 0x36 0x00) หลังจากนั้นบอร์ดอาดูโนจะทำการส่งคำสั่งเพื่ออ่านไฟล์ภาพ JPEG จากโมดูลกล้องโดยส่ง (0x56 0x00 0x32 0x0C 0x00 0x0A 0x00 0x00 0xMH 0xML 0x00 0x00 0xKH 0xKL 0x00 0x0A) ไปยังโมดูลกล้องซึ่งค่าตัวแปร MH ML จะเป็น address เริ่มต้นในการอ่านไฟล์ซึ่งกำหนดไว้คือ 0x00 0x00 และค่าตัวแปร KH KL เป็นจำนวนไบต์ที่ต้องการอ่านค่าในหนึ่งรอบโดยที่กำหนดไว้ที่ 20 ไบต์ กำหนดให้ค่า KH KL เป็น 0x00 0x20 หลังจากนั้นโมดูลกล้องจะตอบกลับมาด้วยข้อมูล 0x76 0x00 0x32 0x00 0x00 และตามด้วยไฟล์ JPEG จำนวน 20 ไบต์ โดยปกติแล้วไฟล์ภาพ JPEG จะขึ้นต้นด้วยบิตข้อมูลฐาน 16 คือ 0xFF 0xF8 โดยที่นั้นบอร์ดอาดูโนจะทำการรับข้อมูลไฟล์ภาพ JPEG จำนวน 20 ไบต์ และส่งต่อไปยังสถานีฐาน หลังจากนั้นเริ่มอ่านข้อมูลไฟล์ภาพ 20 ไบต์ถัดไปจากโมดูลกล้องเรื่อยๆจนกว่าจะได้รับข้อมูลไบต์ 0xFF 0xF9 ซึ่งเป็นข้อมูลไบต์สุดท้ายที่ปิดไฟล์ภาพ JPEG ซึ่งเป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการการถ่ายภาพและรับส่งข้อมูลไฟล์ภาพ JPEG

3.1.2.4 การใช้งานโมดูลจีพีเอสกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน

ในส่วนการเชื่อมต่อบอร์ดอาดูโนกับโมดูลจีพีเอสซึ่งทำการรับข้อมูลตำแหน่งบนพื้นผิวโลกความสูงเพื่อใช้ในการติดตามตำแหน่งของบอลสูนตรวจอากาศซึ่งโมดูลจีพีเอสจะทำการส่งข้อมูลเป็นลักษณะข้อความมายังบอร์ดอาดูโนโดยที่มี format ของชนิดข้อมูลที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างข้อความที่บอร์ดอาตุโนได้รับจากโมดูล GPS

จากรูปที่ 3.8 แสดงให้เห็นถึงข้อความที่โมดูลจีพีเอสส่งมายังบอร์ดอาตุโนซึ่งประกอบด้วยข้อความชนิด \$GPRMC \$GPGLL และ \$GPGLL ซึ่งแต่ละข้อความจะมีฟอร์แมตที่แตกต่างกันไปโดยในระบบบอลูนที่นำเสนอจะเลือกใช้ใช้งานรูปแบบข้อความชนิด \$GPGLL และ \$GPRMC โดยรายละเอียดของข้อมูลแสดงในรูป 3.7 เช่นกันซึ่งจะประกอบด้วย

- 1) UTC Time (Coordinated Universal Time) เป็นเวลามาตรฐานที่ดาวเทียม GPS ส่งมายังโมดูลรับสัญญาณ GPS ซึ่งระบุเวลาเป็น 23 นาฬิกา 53 นาที 17 วินาที 0 มิลลิวินาที
- 2) Latitude เป็นตำแหน่งละติจูดของโมดูลรับสัญญาณ GPS ซึ่งจากตัวอย่างข้อมูลจะระบุตำแหน่งที่ 40.039039 องศาเหนือ
- 3) Longitude เป็นตำแหน่งลองจิจูดของโมดูลรับสัญญาณ GPS ซึ่งจากตัวอย่างข้อมูลจะระบุตำแหน่งที่ 105.125793 องศาตะวันตก
- 4) GPS Type จะระบุชนิดของโมดูล GPS ที่ใช้งานซึ่งจะแสดงตัวเลขคือ
 - 0 : ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้
 - 1 : GPS FIX รับสัญญาณข้อมูลจากดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว
 - 2 : DGPS (Differential GPS) ซึ่งจะรับข้อมูลจากดาวเทียมและรับสัญญาณค่าแก้ความผิดพลาดของตำแหน่งผ่านคลื่น VHF ควบคู่กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) Number of Satellite จะระบุจำนวนดาวเทียม GPS ที่สามารถรับสัญญาณได้ซึ่งจากตัวอย่างข้อมูลแสดงให้เห็นว่าโมดูลสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียม GPS จำนวน 8 ดวง

6) Dilution of precision ค่าประมาณความถูกต้องในแนวแกน Horizontal

7) Altitude แสดงให้เห็นความสูงของโมดูลรับสัญญาณ GPS ซึ่งจากตัวอย่างข้อมูลจะระบุความสูงที่ 1557.9 เมตร

8) Geoid Height แสดงให้เห็นถึงความสูงเมื่อเทียบกับรัศมีของโลกในอุดมคติ

9) Speed ซึ่งแสดงความเร็วของโมดูลรับสัญญาณ GPS สำหรับตัวอย่างข้อมูลนี้ระบุความเร็วของที่ 0.09 knot

สำหรับข้อมูลบอร์ดอาดูโน้จะทำการเลือกข้อมูลที่ต้องได้แก่ Latitude Longitude Speed Altitude และ Number of Satellite ซึ่งข้อมูลทั้ง 5 ชนิดจะถูกจัดอยู่ในรูปเฟรมข้อมูลซึ่งแสดงในหัวข้อ 3.1.2.1 ซึ่งจะถูกส่งไปยังสถานีฐานซึ่งสามารถจะระบุตำแหน่งและติดตามของอุปกรณ์ภาคอากาศได้

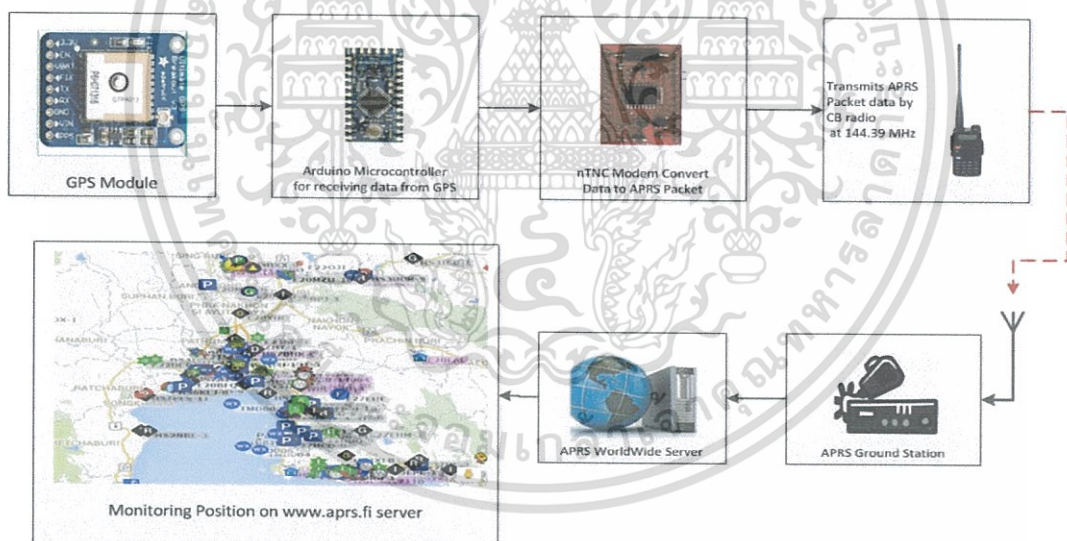
3.1.2.5 ระบบติดตามตำแหน่งผ่านเครือข่ายวิทยุสมัครเล่น (APRS)

ในส่วนระบบที่ใช้ติดตามบอลลูนอีกระบบหนึ่งซึ่งใช้งานร่วมคือระบบติดตามตำแหน่งอัตโนมัติผ่านเครือข่ายวิทยุสมัครเล่น (APRS : Automatic Packet Reporting System) ซึ่งจะทำการส่งข้อมูลตำแหน่งของบอลลูนตรวจอากาศผ่านทางเครือข่ายวิทยุสมัครเล่นและโดยมีสถานีรับสัญญาณกระจายอยู่ทั่วประเทศ ซึ่งหากสถานีวิทยุสมัครเล่น APRS ได้รับข้อมูลตำแหน่งที่ส่งมาจากบอลลูนตรวจอากาศ สถานีเหล่านั้นส่งข้อมูลดังกล่าวเข้าไปยัง server APRS.fi ซึ่งเป็น server กลางในการรับข้อมูล APRS ซึ่งใช้งานได้ทั่วโลก โดยที่จะทำการเก็บข้อมูลตำแหน่งของบอลลูนตรวจอากาศรวมทั้งแสดงตำแหน่งและความสูงลงบนแผนที่ ซึ่งในการออกแบบจะนำอุปกรณ์ APRS Tracker ติดตั้งไปกลับบอลลูนด้วยโดยที่ชุดอุปกรณ์จะประกอบด้วยโมดูล GPS ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน้ โมดูลแปลงข้อมูล nTNC และวิทยุสื่อสาร โดยที่ขั้นตอนการทำงานเริ่มต้นที่บอร์ดอาดูโน้จะเชื่อมต่อกับโมดูลจีพีเอสเพื่อทำการรับข้อมูลเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.2.3 ซึ่งจะเลือกข้อมูลเพียง 3 ชนิด คือ Latitude Longitude และ Altitude ซึ่งกรณีสมมุติให้โมดูล GPS อยู่ ณ ตำแหน่งที่ Latitude: 40.03903N Longitude: 105.125793W และ Altitude

= 500 feet โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกจัดอยู่ในรูปเฟรมข้อมูลในรูปแบบของ APRS Message ซึ่งในที่นี้ได้รับชื่อเรียกขานว่า E29AJP-11 ดังนั้นจะกำหนด APRS Message ได้เป็น

E29AJP-11>wide1-1,wide2-1:! 40.03903N/105.125793W/A=000500

โดยที่ข้อมูลดังกล่าวถูกจัดเรียงด้วยบอร์ดอาตูดูโน่ก่อนที่จะส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังโมดูล nTNC Modem ซึ่งจะทำหน้าที่การแปลง APRS Message ให้อยู่ใน APRS Packet Radio โดยใช้ Protocol Ax.25 และส่งข้อมูลดังกล่าวผ่านทางวิทยุสื่อสารที่ความถี่ 144.390 MHz โดยที่จะมีสถานีรับสัญญาณกระจายอยู่ทั่วประเทศโดยที่สถานีต่างๆจะรับค่าและส่งข้อมูล APRS ไปเก็บยัง server กลาง และสามารถเปิดเว็บไซต์ aprs.fi เพื่อดูตำแหน่งของอุปกรณ์ได้ สำหรับแผนผังการทำงานแสดงในรูปที่ 3.19 ซึ่งข้อดีของระบบติดตามตำแหน่งแบบ APRS คือสามารถส่งข้อมูลได้ระยะไกลรวมทั้งในกรณีที่บอลูนตกลงสู่พื้นโลกสามารถส่งข้อมูลไปยังสถานีรับสัญญาณ APRS ใกล้เคียงในจุดที่บอลูนตรวจอากาศตก ซึ่งสถานีมีกระจายอยู่ทั่วประเทศ อันจะช่วยอำนวยความสะดวกในการติดตามอุปกรณ์กลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งผ่านเครือข่ายวิทยุสมัครเล่น (APRS)

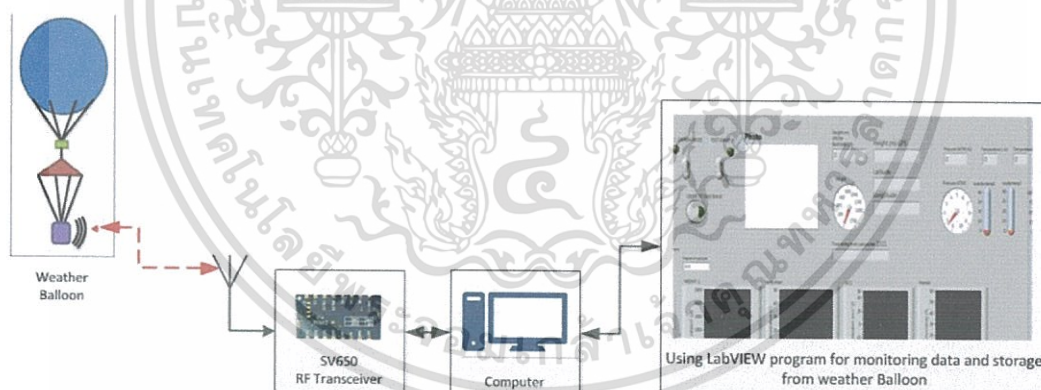
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สถานีภาคพื้นดินในการรับข้อมูลและควบคุมระบบบอลลูนตรวจอากาศ

ในส่วนของระบบสถานีภาคพื้นดินซึ่งจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากภาคอุปกรณ์อากาศยานรวมทั้งจะต้องทำการควบคุมเช่นคำสั่งถ่ายภาพและคำสั่งปลดร่มชูชีพซึ่งในส่วนนี้ของสถานีภาคพื้นดินแสดงแผนผังการทำงานในรูปที่ 3.10 จะประกอบด้วย 2 ส่วน ด้วยกันคือ

1) โมดูลรับส่งข้อมูลผ่านวิทยุ (RF Transceiver) ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถรับส่งข้อมูลผ่านวิทยุโดยในที่นี้ใช้งานโมดูล SV650 ที่ความถี่ 433 MHz มีความเร็วในการส่งข้อมูล 9600 baud per second โดยจะทำการรับข้อมูลจากบอลลูนตรวจอากาศและส่งข้อมูลผ่านทาง Serial UART ไปยังคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อซึ่งจะใช้โปรแกรม Labview

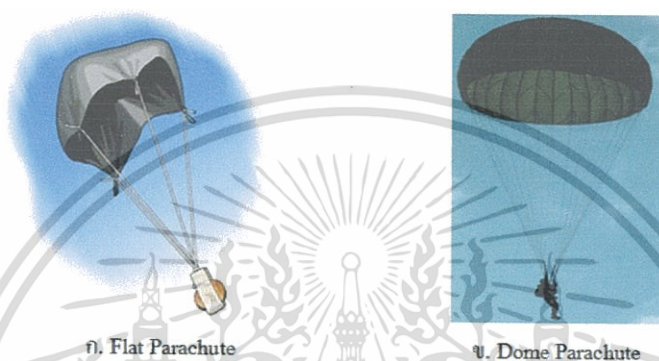
2) คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำการรับเฟรมข้อมูลผ่านทางโมดูล RF Transceiver โดยที่โปรแกรม Labview จะทำการนำเฟรมข้อมูลดังกล่าวมาประมวลผลและแยกข้อมูลออกเป็นค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามที่กำหนดไว้เพื่อเก็บผลและแสดงผล รวมทั้งสามารถส่งคำสั่งไปยังบอลลูนตรวจอากาศเช่นสั่งถ่ายภาพหรือสั่งตัดร่มชูชีพ ซึ่งในส่วนโปรแกรม Labview สามารถออกแบบให้มีอินเตอร์เฟซที่สวยงามและสามารถใช้งานง่าย รวมทั้งในส่วนการทำงานของโปรแกรมสามารถออกแบบทำงานด้วยบล็อกไดอะแกรม



รูปที่ 3.10 รูปแบบการทำงานของสถานีภาคพื้นดิน

3.1.3 ออกแบบร่มชูชีพ

ในส่วนของร่มชูชีพซึ่งจะถูกติดตั้งไปกลับบอลลูนตรวจอากาศเพื่อวัตถุประสงค์ที่กรณีบอลลูนตกสู่พื้นโลกพร้อมกับอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยความปลอดภัยซึ่งแบ่งประเภทร่มชูชีพเป็นสองชนิดคือ Flat Parachute และ Dome Parachute จาก [2] ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 รูปแบบร่มชูชีพที่จัดสร้างเพื่อใช้ในบอลลูนตรวจอากาศ

จากรูปที่ 3.11 ข้อแตกต่างระหว่างร่มชูชีพแบบ Flat มีข้อดีคือ จัดสร้างได้ง่าย เพราะวัสดุมาตัดให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือวงกลมแต่มีประสิทธิภาพให้การสร้างแรงต้านน้อยกว่าร่มชูชีพแบบ Dome ซึ่งสามารถสร้างแรงอากาศได้ดี แต่จัดทำได้ยากกว่า เพราะต้องตัดวัสดุผ้าให้ตามตามที่กำหนดแล้วนำมาเย็บให้ได้เป็นรูปโดม

ซึ่งสมการสำหรับการหาเส้นผ่านศูนย์กลางของร่มชูชีพใช้สมการคำนวณจาก [6] ดังต่อไปนี้ซึ่งสมการที่ 3.1 คำนวณหาได้แก่

$$D = \sqrt{\frac{8 \times m \times g}{\pi \times \rho \times C_d \times V^2}} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D : เส้นผ่านศูนย์กลางของร่มชูชีพ (meter)

m : มวลของอุปกรณ์รวม (kg)

g : ความเร่งโน้มถ่วงของโลก ($9.81 \frac{m}{s^2}$)

π : ค่าคงที่ (3.14)

ρ : ความหนาแน่นของอากาศ ($1.22 \frac{kg}{m^3}$)

C_d : ค่าสัมประสิทธิ์ร่มชูชีพ (0.75 for Flat or 1.5 for dome)

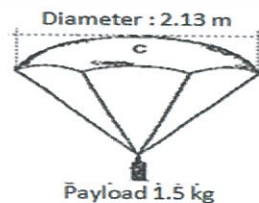
V : ความเร็วเมื่อร่มชูชีพตกลงสู่พื้นโลก ($\frac{m}{s}$)

ทั้งนี้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆโดยที่ประมาณน้ำหนักของอุปกรณ์ตรวจวัดรวมกันประมาณ 1.5 กิโลกรัมและกำหนดความเร็วในการตกประมาณ 3 m/s ซึ่งเป็นความเร็วที่อุปกรณ์จะตกลงมาอย่างปลอดภัยโดยที่จะทำการสร้างร่มชูชีพในรูปแบบ Flat Parachute ซึ่งจัดสร้างได้ง่ายดังนั้นนำค่าพารามิเตอร์ข้างต้นแทนในสมการที่ 3.2 จะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่มชูชีพ

$$D = \sqrt{\frac{8 \times 1.5 \text{ kg} \times 9.81 \frac{m}{s^2}}{\pi \times 1.22 \frac{m}{s^3} \times 0.75 \times 3 \frac{m}{s}}} \quad (3.2)$$

$$D = 2.13 \text{ m}$$

ดังนั้นในการจัดสร้างร่มชูชีพจำเป็นจะต้องทำให้ร่มชูชีพมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 2.13 เมตรเพื่อที่จะให้อุปกรณ์ตรวจวัดตกลงมาสู่พื้นโลกอย่างปลอดภัยโดยที่ร่มชูชีพโดยลักษณะการออกแบบร่มชูชีพแสดงดังในรูปที่ 3.12

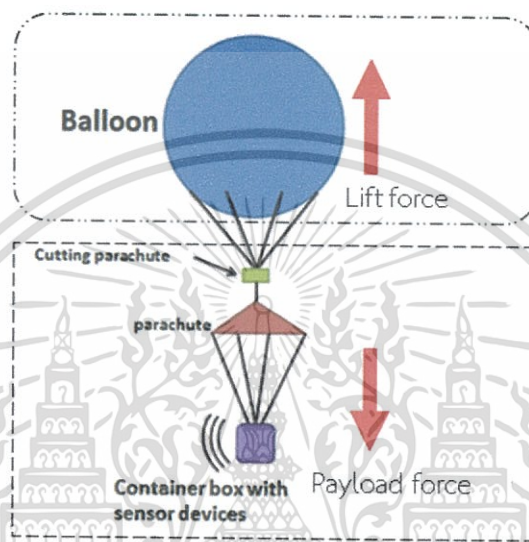


รูปที่ 3.12 ลักษณะร่มชูชีพที่จะใช้งานบอลลูนตรวจอากาศที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การหาขนาดของบอลลูนบรรจุฮีเลียม

ในส่วนของการหาขนาดของบอลลูนฮีเลียมเนื่องจากจะต้องนำอุปกรณ์ตรวจวัดติดตั้งไปกับบอลลูนแล้วลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศซึ่งจำเป็นจะต้องใช้บอลลูนบรรจุก๊าซฮีเลียมในการสร้างแรงยกอุปกรณ์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 บอลลูนบรรจุก๊าซฮีเลียมเพื่อสร้างแรงยกอุปกรณ์

โดยที่สามารถคำนวณหาแรงยกตัวของบอลลูนได้จากสมการที่ 3.3 ซึ่งอยู่ใน [3] ดังนี้

$$F = (\rho_{air} - \rho_{gas}) \times g \times V \quad (3.3)$$

F = แรงยกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ (N)

ρ_{air} = ความหนาแน่นของอากาศ $\left(1.292 \frac{kg}{m^3}\right)$

ρ_{gas} = ความหนาแน่นของก๊าซฮีเลียม

g : ความเร่งโน้มถ่วงของโลก $\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$

V = ปริมาตรบอลลูนที่บรรจุ (m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการจัดหาบอลลูนภายในประเทศสามารถหาได้มีขนาดใหญ่ที่สุดที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 36 นิ้ว ซึ่งบอลลูนขนาด 36 นิ้ว หรือ 0.914 เมตร ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาตรของบอลลูนได้จากสมการที่ 3.3 ดังนี้

$$V_{\text{balloon}} = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad (3.3)$$

$$V_{\text{balloon}} = \frac{4}{3} \times \pi \times \left(\frac{0.9144}{2} \right)^3 \quad (3.4)$$

$$V_{\text{balloon}} = 0.400 \text{ m}^3 \quad (3.5)$$

ดังนั้นบอลลูนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 นิ้ว จะมีปริมาตร 0.400 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถคำนวณหาแรงยกตัวต่อบอลลูนหนึ่งลูกได้ดังนี้จากสมการที่ 3.6

จาก

$$F = (\rho_{\text{air}} - \rho_{\text{gas}}) \times g \times V \quad (3.6)$$

$$F = (1.292 - 0.178) \times 9.81 \times 0.400 \quad (3.7)$$

$$F = 4.01 \text{ Newton} \quad (3.8)$$

$$m = 4.01 / 9.81 = 0.407 \text{ kg} \quad (3.9)$$

จากสมการที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่าบอลลูน 1 ลูกสามารถแรงยกน้ำหนักได้ 0.407 กิโลกรัม ซึ่งหากประมาณน้ำหนักรวมของดั่งนั้นบอลลูน อุปกรณ์ภาคอากาศและร่มชูชีพแล้วประมาณ 1.5 กิโลกรัม สามารถคำนวณหาจำนวนบอลลูนที่ใช้งานจากสมการที่ 3.10

$$\text{จำนวนบอลลูนที่ใช้งาน} = \frac{1.5 \text{ kg}}{0.407 \text{ kg / 1balloon}} = 3.68 \approx 4 \text{ ลูก} \quad (3.10)$$

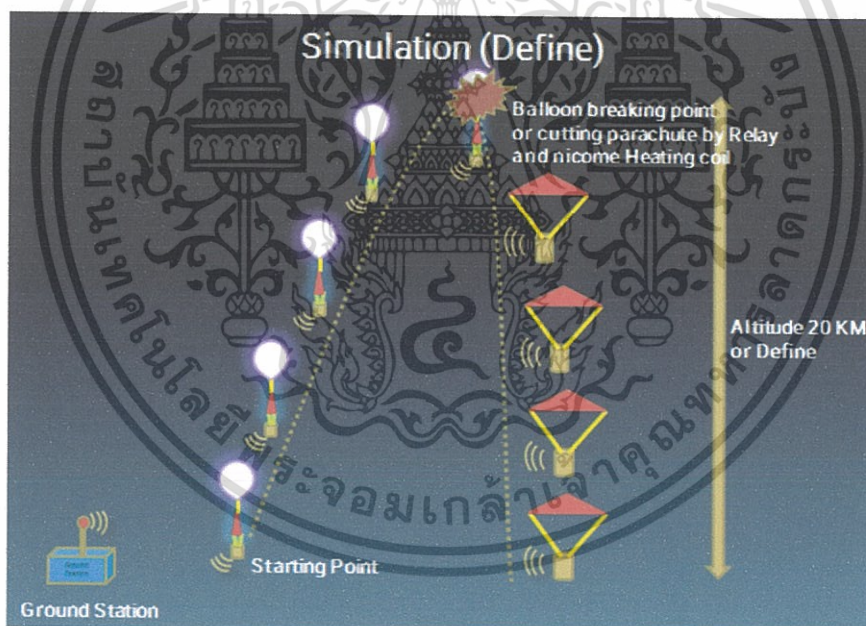
จากสมการที่ 3.10 จะต้องใช้บอลลูนจำนวน 4 ลูกเพื่อที่จะใช้สร้างแรงยกอุปกรณ์ภาคอากาศของระบบบอลลูนตรวจอากาศนำเสนอข้างต้นขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศโลกได้อย่างไรก็แล้วแต่แรงที่เกิดขึ้นเป็นแรงยกเพื่อให้ยกน้ำหนักเทียบเท่าซึ่งหมายความว่า บอลลูนจะทำได้แค่เพียงยกวัตถุให้อยู่นิ่งได้

เท่านั้น ซึ่งในการใช้งานจริงจำเป็นจะต้องใช้บอลูนมากกว่า 4 ลูกเพื่อสร้างแรงยกที่มีมากกว่าแรงสมดุลสำหรับทำให้บอลูนสามารถยกอุปกรณ์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศได้

3.1.5 การกำหนดภารกิจของบอลูนตรวจอากาศ

ในการกำหนดภารกิจของบอลูนตรวจอากาศโดยที่บอลูนจะถูกผูกติดกับบอลูนฮีเลียมลอยขึ้น ณ จุดเริ่มต้น (Starting Point) บอลูนจะลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศระหว่างนั้นอุปกรณ์จะส่งข้อมูลที่ตรวจวัดกลับมายังสถานีฐาน จนถึงความสูงที่กำหนดซึ่งสามารถกำหนดได้ สถานีภาคพื้นดินจะส่งคำสั่งต่อร่มชูชีพ อุปกรณ์จะสั่งให้รีเลย์ทำงานซึ่งจ่ายไฟให้กับขดลวดนิโคมซึ่งจะสร้างความร้อนจนเชือกที่ผูกระหว่างบอลูนกับอุปกรณ์ขาดออกจากกันโดยที่อุปกรณ์จะร่วงลงสู่พื้นโลกโดยมีร่มชูชีพช่วยลดความเร็วซึ่งจะแสดงภาพรวมของการทำงานในรูปแบบที่

3.14



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการทำงานในภารกิจของบอลูนตรวจอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 ระยะเวลาส่งข้อมูลด้วยโมดูลสื่อสาร SV650

ในการวิเคราะห์ผลระยะรับส่งสัญญาณระยะไกลโดยข้อมูลจาก datasheet[8] กำหนดให้ค่ากำลังส่งมีค่า 500mW หรือ -3 dBW มีค่า Sensitivity -150 dBW โดยการคำนวณระยะรับส่งข้อมูลกำหนดให้ มี link budget 20 dB ดังนั้นกำหนดให้มีค่า Sensitivity ต่ำสุด -130 dBW อัตราขยายของสายอากาศส่งและรับเท่ากับ 0 dB ใช้งานที่ความถี่ 433 MHz สามารถหาค่าสูญเสียเชิงวิถี (path loss) ได้จากสมการที่ 3.11

$$Path\ loss = 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad (3.11)$$

จาก

$$C = \lambda f \quad (3.12)$$

$$\lambda = \frac{C}{f} = \frac{3 \times 10^8}{433 \times 10^6} = 0.69\ m \quad (3.13)$$

คำนวณค่า maximum path loss ได้จาก Power out – sensitivity ในสมการที่ 3.14

$$Pathloss_{max} = Power_{out} - Sensitivity \quad (3.14)$$

$$Pathloss_{max} = -3dBW - (-130dBW) \quad (3.15)$$

$$Pathloss_{max} = 127dB \quad (3.16)$$

ดังนั้นสามารถคำนวณหาระยะทางที่ไกลที่สุดที่สามารถรับสัญญาณได้โดยแทนค่าจาก สมการ 3.13 และ 3.16 ลงในสมการ 3.11

$$127dB = 20\log\left(\frac{4\pi d}{0.69}\right) \quad (3.17)$$

$$d = \frac{10^{\frac{127}{20}}}{4\pi} \times 0.69 = 122.29\ km \quad (3.18)$$

จากสมการที่ 3.18 แสดงให้เห็นระยะที่โมดูลสื่อสารสามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลสูงสุด 122 กิโลเมตร ซึ่งทั้งนี้ยังไม่มี การสูญเสียอื่นซึ่งอาจจะส่งผลต่อระยะรับส่งสัญญาณ

3.1.7 การออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ภาคอากาศ

ในการติดตั้งอุปกรณ์ภาคอากาศซึ่งได้ออกแบบมาให้อุปกรณ์ติดตั้งบนชั้นแผ่น PCB จำนวน 4 ชั้นซึ่งจะช่วยประหยัดพื้นที่ให้การวางอุปกรณ์โดยที่จะแสดงอุปกรณ์เซนเซอร์ในรูปที่ 3.15ก และรูปที่ 3.15ข และอุปกรณ์ดังกล่าวจะอยู่ในโครงสร้างแบบกล่องซึ่งสร้างด้วยโลหะอลูมิเนียมซึ่งมีความแข็งแรงขนาดความสูง 11.35 cm ความยาว 10 cm และความกว้าง 10 ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.16 รูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18 แสดงให้เห็นการติดตั้งชั้น PCB ลงในกล่องอลูมิเนียม

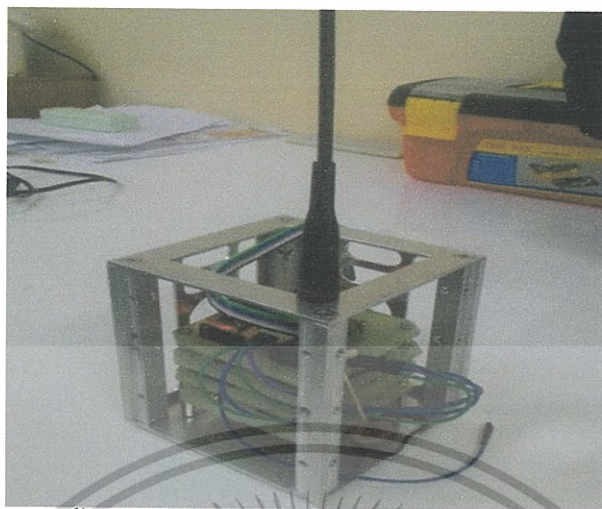


ก ข
รูปที่ 3.15 ชั้น PCB ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์ทั้งบอร์ดอาร์ดูโน้และเซนเซอร์



รูปที่ 3.16 ชั้นอุปกรณ์บนแผ่น PCB ซึ่งกำลังจะถูกติดตั้งลงในโครงสร้างกล่องอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ชั้นแผ่น PCB ที่ถูกติดตั้งลงในโครงสร้างกล่องอลูมิเนียม



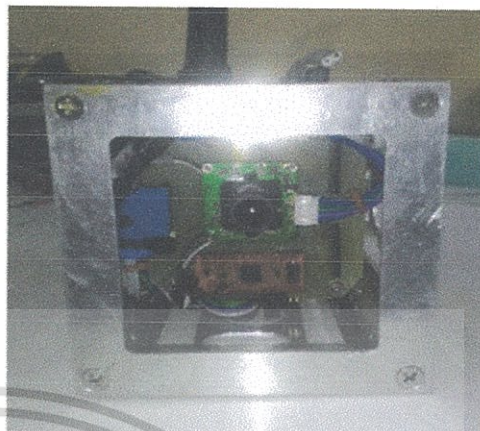
รูปที่ 3.18 อุปกรณ์ที่ติดตั้งลงในกล่องอลูมิเนียมเรียบร้อยแล้ว

โดยในรูปที่ 3.19ก แสดงอุปกรณ์ทั้งบอร์ดอาดูโน่ เซนเซอร์ โมดูลจีพีเอส แบตเตอรี่และสายอากาศที่ใช้รับส่งข้อมูลไร้สาย และรูปที่ 3.19ข แสดงให้เห็นโมดูลกล้องถ่ายภาพที่ติดตั้งภายในกล่องอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก



ข

รูปที่ 3.19 กล่องอุปกรณ์ตรวจวัดที่ทำการติดตั้งโมดูลต่างๆ เรียบร้อยแล้ว

3.1.8 สถานีภาคพื้นดินสำหรับรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียม อุตุนิยมวิทยา NOAA

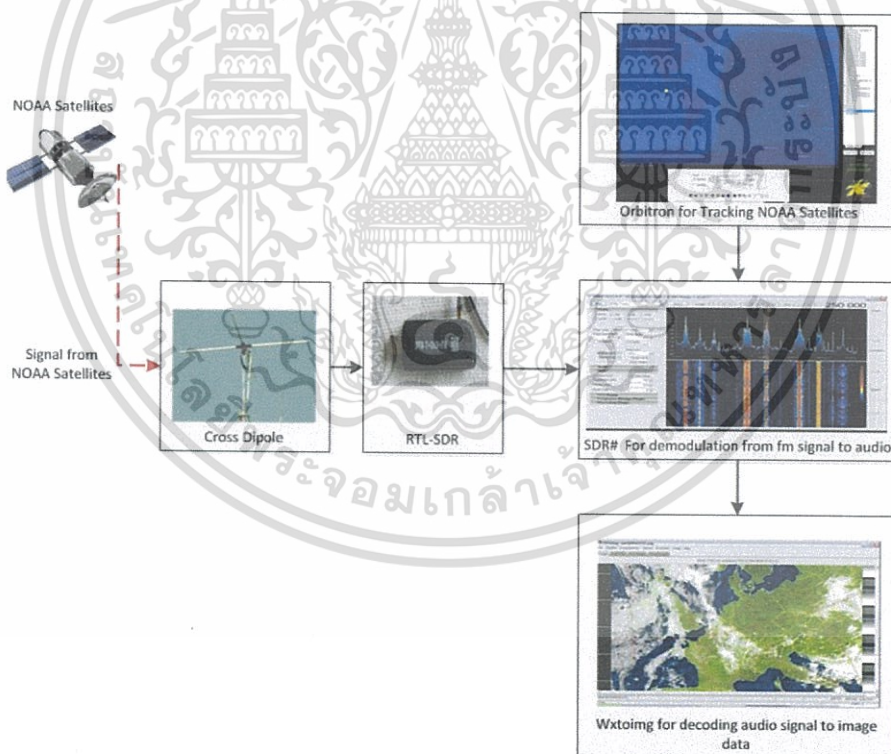
ในส่วนนี้สถานีภาคพื้นดินประกอบด้วย สายอากาศไดโพลซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณเข้ามาโดยใช้ RTL-SDR ซึ่งเป็นอุปกรณ์วิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ (Software define radio : SDR) ทำหน้าที่รับสัญญาณวิทยุและแปลงให้เป็นสัญญาณเสียงโดยเชื่อมกับคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมประมวลผล SDR# ซึ่งดาวเทียม NOAA ที่สามารถใช้งานได้มี 3 ดวงและความถี่ในการรับสัญญาณแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 ความถี่ที่ใช้รับสัญญาณจากดาวเทียม NOAA แต่ละดวง

ดาวเทียม	ความถี่ที่ใช้รับสัญญาณ
NOAA-15	137.35 MHz
NOAA-18	137.77 MHz
NOAA-19	145.00 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในส่วนนี้จะใช้โปรแกรม Orbitron ทำหน้าที่ติดตามดาวเทียม NOAA ในแต่ละดวง ซึ่งหากดาวเทียมดวงใดมีรีซีมมีการแพร่กระจายสัญญาณที่อยู่ในช่วงสถานีภาคพื้นดินที่จะรับสัญญาณได้จะโปรแกรมจะทำการปรับ SDR# ให้ความถี่ตรงกับความถี่ดาวเทียมดวงนั้นซึ่งจะใช้โปรแกรม Wxtoimg สำหรับการแปลงสัญญาณเสียงที่ demodulate ให้เป็นสัญญาณภาพซึ่งจะแสดงบล็อกไดอะแกรมทำงานในรูปที่ 3.20 โดยที่ทำการติดตั้งสายอากาศไว้บริเวณตาดฟ้าตึกภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมซึ่งแสดงในรูป 3.21 โดยที่ทำการติดตั้งคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลไว้บริเวณชั้น 3 ห้องแลปภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยที่สายอากาศ Cross Dipole มีวงจรขยายอยู่ภายในดังนั้นจำเป็นต้องสร้างวงจร BIAS TREE เพื่อใช้สำหรับการจ่ายพลังงานให้ Amplifier อีกทั้งเนื่องจากสายอากาศ Cross Dipole มี impedance 50 ohms แต่อุปกรณ์ RTL-SDR มี impedance 75 ohms ดังนั้นต้องมีอุปกรณ์ Matching impedance ภายในวงจรด้วยซึ่งจะแสดงวงจรทั้งหมดในรูปที่ 3.20

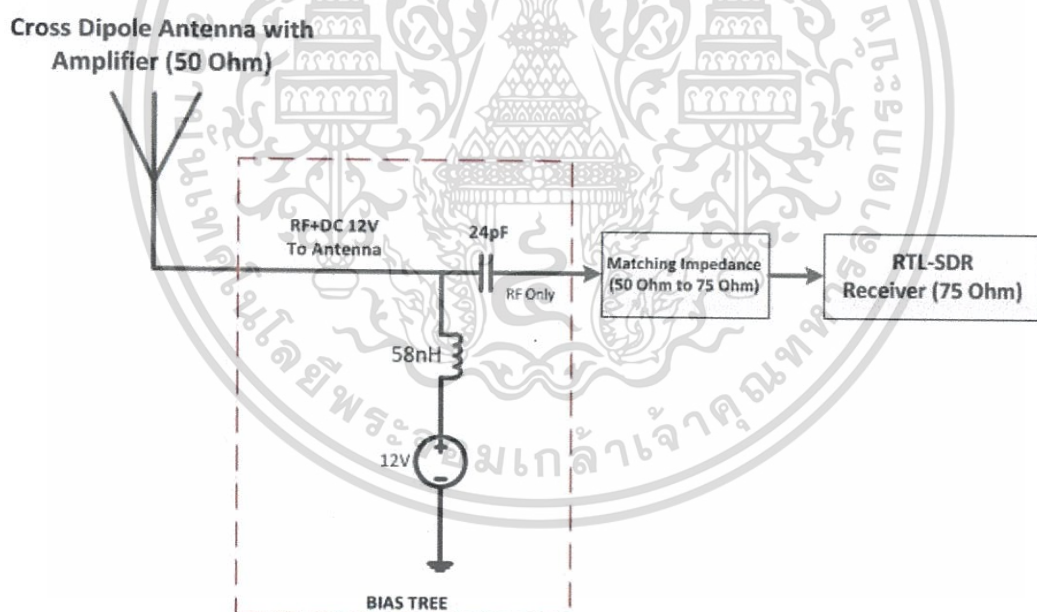


รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรมของสถานีรับภาพถ่ายดาวเทียม NOAA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 สายอากาศชนิด Cross dipole ของสถานีรับภาพถ่ายดาวเทียม NOAA ที่ถูกติดตั้งไว้ บริเวณคาดฟ้าของภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม



รูปที่ 3.22 ภาพรวมของวงจร BIAS TREE ที่ใช้งานวงจรจ่ายไฟให้กับสายอากาศและอุปกรณ์ Matching impedance ที่ใช้เชื่อมต่อวงจรกับ RTL-SDR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Pro mini	1 ชุด
3.2.2 วงจรรีเลย์	1 ชุด
3.2.3 โมดูล GPS Receiver	1 ชุด
3.2.4 โมดูลรับส่งไร้สายRF Transceiver SV650	2 ชุด
3.2.5 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22	1 ชุด
3.2.6 เซนเซอร์วัดความดันบรรยากาศ BMP180	1 ชุด
3.2.7 เซนเซอร์วัดความเร่ง 3 แกน ADXL345	1 ชุด
3.2.8 โมดูล nTNC APRS Tracker	1 ชุด
3.2.9 วิทยุสื่อสาร CB Radio	1 ชุด
3.2.10 บอลลูนเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 นิ้ว	10 ชุด
3.2.11 รัมซูชิฟ	1 ชุด
3.2.12 ลวดนิโครม	1 ชุด
3.2.13 โมดูล JPEG Camera	1 ชุด
3.2.14 แบตเตอรี่ลิเทียม-โพลีเมอร์	1 ชุด
3.2.15 คอมพิวเตอร์	1 เครื่อง
3.2.16 โมดูล UART USB	1 ชุด
3.2.17 โปรแกรม LabVIEW	1 ชุด
3.2.18 สายอากาศ yagi antenna	1 ชุด
3.3.19 ก๊าซฮีเลียมบรรจุถัง	1 ถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลองระบบบอลูนตรวจอากาศโดยจะทำการทดลองผลเป็นส่วนย่อยๆดังต่อไปนี้

3.3.1 ทดสอบการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับเซนเซอร์ต่างๆ

ซึ่งในการทดลองนี้จะทดสอบการทำงานของระหว่างบอร์ดอาร์ดูโน้เพื่อใช้ในการอ่านค่าจากเซนเซอร์และรวบรวมข้อมูลและจัดให้อยู่ในเฟรมข้อมูลเพื่อที่จะทำการส่งข้อมูลซึ่งบอร์ดอาร์ดูโน้ตัวที่ 1 จะต้องทำการอ่านค่าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22 , เซนเซอร์วัดความเร่ง 3 แกน AXDL345 , เซนเซอร์วัดความดันบรรยากาศ BMP180 ซึ่งเชื่อมต่อกับบอร์ดอาร์ดูโน้ตัวที่ 2 โดยที่บอร์ดอาร์ดูโน้ 2 จะเชื่อมต่อกับโมดูลกล้องถ่ายภาพ JPEG Camera โมดูลสื่อสารไร้สาย SV650 และรีเลย์สำหรับสั่งตัดรุ่มซูชิพ รวมทั้งเชื่อมต่อกับโมดูลเก็บข้อมูล microSD ซึ่งจะเก็บผลข้อมูลที่ทั้งค่าจากเซนเซอร์และรูปภาพที่ถูกส่งถ่ายจากสถานีฐานไว้ภายใน micro sd card ในการทดสอบจะนำอุปกรณ์เซนเซอร์เชื่อมต่อกับบอร์ดอาร์ดูโน้ตัวที่ 1 กับเซนเซอร์ต่างๆ และทำการเขียนโปรแกรมควบคุมเพื่อที่จะให้อ่านค่าจากเซนเซอร์ซึ่งเพื่อเป็นการทดสอบว่าเซนเซอร์มีปัญหาหรือไม่ รวมทั้งอาร์ดูโน้ตัวที่สองจะต้องสามารถเชื่อมต่อและทำงานรวมทั้งบอร์ดอาร์ดูโน้ตัวที่ 1 และโมดูลทั้งหมดได้

3.3.2 ทดสอบการรับส่งข้อมูลผ่านทางโมดูล Transceiver

ในส่วนของการทดลองการรับข้อมูลผ่านทางโมดูลสื่อสารไร้สาย RF Transceiver ระหว่างภาคอากาศและสถานีภาคพื้นดินซึ่งเพื่อเป็นการทดสอบว่าสามารถรับส่งข้อมูลได้หรือไม่โดยจะนำ RF Transceiver ติดตั้งกับบอร์ดอาร์ดูโน้ และทำการเขียนโปรแกรมให้บอร์ดอาร์ดูโน้ส่งเฟรมข้อมูลเซนเซอร์ผ่านทาง RF Transceiver ซึ่งสถานีฐานจะมีโมดูล RF Transceiver ติดตั้งอยู่ซึ่งในทางฝั่งสถานีฐานจะทำการตรวจสอบเฟรมข้อมูลที่ส่งมาจากบอร์ดอาร์ดูโน้ว่ามีเฟรมข้อมูลผิดพลาดหรือไม่ รวมทั้งทดสอบระยะทางการส่ง สิ่งกีดขวางและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกรรับส่งข้อมูล

3.3.3 ทดสอบการรับส่งข้อมูลภาพจากอุปกรณ์ตรวจวัด

ในส่วนของการทดสอบส่งข้อมูลภาพซึ่งโมดูลกล้องจะถูกติดตั้งไปกับบอลูนโดยที่จะควบคุมและส่งข้อมูลภาพผ่านทาง บอร์ดอาคูโน ซึ่งในการทดสอบนี้ทำการส่งสอบโดยที่ให้ส่งข้อมูลภาพเป็นบิตผ่านทางโมดูลไร้สายกับมายังสถานีฐานซึ่งจะทำการรับบิตข้อมูลภาพและทำการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวเพื่อแปลงให้เป็นไฟล์ภาพซึ่งในส่วนนี้ข้อมูลที่รับส่งค่อนข้างจะเยอะดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบส่งข้อมูลภาพผ่านทางโมดูล RF Transceiver และทดสอบว่าสถานีฐานจะสามารถรับข้อมูลได้ครบถ้วนหรือไม่ รวมทั้งเพื่อตรวจสอบว่า ข้อมูลภาพที่ได้รับมีการผิดเพี้ยนหรือไม่เช่น เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในภาพ ข้อมูลหายระหว่างการส่งและปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

3.3.4 ทดสอบการรับแยกเฟรมข้อมูลของสถานีภาคพื้นดินและแสดงผล

ในส่วนของการทดสอบนี้จะทดสอบโดยที่ภาคอากาศจะทำการส่งเฟรมข้อมูลเซนเซอร์ซึ่งสถานีภาคพื้นดินจะได้รับเฟรมข้อมูลดังกล่าวข้างต้นซึ่งในภาคพื้นดินจะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการแยกข้อมูลเซนเซอร์แต่ละตัวออกจากเฟรมข้อมูลดังกล่าวและทำการจัดเก็บกลุ่มข้อมูลของแต่ละเซนเซอร์ไว้ซึ่งจะเป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรม LabVIEW ว่าทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่ สามารถแยกข้อมูลเซนเซอร์ออกจากกลุ่มข้อมูลได้หรือไม่

3.3.5 ทดสอบการรวบรวมข้อมูลบิตภาพของสถานีภาคพื้นดิน

ในส่วนการรวบรวมข้อมูลบิตภาพซึ่งจะถูกส่งมาจากระบบภาคอากาศซึ่งข้อมูลที่ส่งมานั้นมีลักษณะบิตข้อมูลเรียงต่อกัน ขณะที่ฝั่งสถานีฐานจะได้รับบิตข้อมูลภาพเช่นเดียวกันซึ่งในการทดลองนี้จะทดสอบโดยใช้โปรแกรม LabVIEW รับบิตข้อมูลภาพที่ถูกส่งต่อเนื่องกันมาและจะทำการรวบรวมบิตเพื่อสร้างเป็นไฟล์ภาพดังกล่าวขึ้นซึ่งเพื่อทดสอบว่า ข้อมูลภาพที่ส่งมาจากภาคอากาศ สถานีภาคพื้นดินจะสามารถรวบรวมให้เป็นไฟล์ภาพที่ต้องการได้หรือไม่โดยจะต้องทำการปรับช่วงระยะเวลาการส่ง (interval time) ให้เหมาะสม

3.3.6 ทดสอบการส่งข้อมูลระยะไกลเพื่อทดสอบเสถียรภาพของการส่งข้อมูล

ในส่วนนี้ทำการทดสอบการส่งข้อมูลระยะไกลผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายโดยติดตั้งอุปกรณ์ไว้ที่มีความสูง เช่น ตึกสูง จากนั้นทดสอบตั้งสถานีรับให้มีระยะห่างจากอุปกรณ์ประมาณ 5 กิโลเมตรแล้วทดสอบรับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์บอลลูนตรวจอากาศทั้งนี้เพื่อทดสอบเสถียรภาพของการส่งข้อมูลระยะไกล

3.3.7 ทดสอบการระบุตำแหน่งของบอลลูนตรวจอากาศโดยใช้ APRS Tracker

การทดลองใช้ระบบติดตามตำแหน่งบอลลูนตรวจอากาศโดยใช้ระบบ APRS Tracker ซึ่งทดสอบโดยที่นำอุปกรณ์ดังกล่าวไปติดตั้งในสถานีที่มีความสูงเช่น ตึก 12 ชั้นและทำการเปิดให้ระบบทำงาน ซึ่งโมดูล APRS Tracker จะทำการรับข้อมูลตำแหน่งจากโมดูล GPS และจะทำการแปลงข้อมูลให้เป็น APRS Packet radio และส่งออกผ่านทางวิทยุสื่อสาร (CB radio) ซึ่งจะมีสถานีรับกระจายตัวอยู่ตามพื้นที่ต่างๆซึ่งสถานีดังกล่าวหากได้รับข้อมูลตำแหน่งที่ส่งออกมาจากบอลลูนตรวจอากาศจะทำการเก็บข้อมูลดังกล่าวไว้ใน Server กลางซึ่งจะรวบรวมข้อมูล APRS ทั้งในส่วน of สถานี ระบบติดตามยานพาหนะ ระบบสถานีวัดอากาศ อื่นๆไว้ทั่วโลกซึ่งหากข้อมูลตำแหน่งของบอลลูนตรวจอากาศส่งไปอย่างถูกต้องและสถานี APRS อื่นๆสามารถรับได้ ข้อมูลจะแสดงลงบนแผนที่ผ่านทางเว็บไซต์ APRS.fi

3.3.8 ทดลองปล่อยบอลลูนตรวจอากาศขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ

ในส่วนของการทดสอบปล่อยบอลลูนตรวจอากาศโดยที่จะทำการตั้งค่าให้ความสูงที่กำหนดและทำการติดตั้งสถานีฐานไว้ในพื้นที่ที่จะทำการปล่อยโดยที่ทำการอัดก๊าซฮีเลียมเข้าไปในบอลลูน จากนั้นติดตั้งระบบภาคอากาศไว้กับบอลลูนซึ่งก่อนจะทำการปล่อยบอลลูนจะต้องมีการทดสอบระบบการเชื่อมต่อข้อมูลเบื้องต้นโดยจากนั้นจะทำการปล่อยบอลลูนขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศในระหว่างนั้นจะบันทึกผลข้อมูลเซนเซอร์ที่ทำการตรวจวัดรวมทั้งทดสอบการถ่ายภาพจากระยะไกลและทดสอบระบบติดตามตำแหน่งของโมดูล APRS Tracker ซึ่งในการทดลองนี้จะบันทึกผลข้อมูลภาพถ่ายของอากาศ ภาพถ่ายทางอากาศ รวมทั้งระบบติดตามตำแหน่ง APRS ซึ่งจะเป็นการ

ทดสอบว่าการใช้งานจริงของบอลูนตรวจอากาศทั้งภาคอากาศและภาคพื้นดินสามารถทำงานได้ที่กำหนดไว้หรือไม่

3.3.9 ทดสอบการรับสัญญาณภาพจากภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA

ในส่วนนี้ทำการทดสอบการติดตั้งสถานีภาคพื้นดินเพื่อใช้สำหรับการรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาโดยดูการทำงานรวมกันอุปกรณ์ตั้งแต่สายอากาศ Cross Dipole วงจร BIAS TREE และ RTL-SDR รวมทั้งดูการทำงานเริ่มกันระหว่างโปรแกรม Orbitron SDR# และ WXtoimg ซึ่งเพื่อเป็นการทดสอบองค์ประกอบทั้งหมดรวมทั้งทดสอบว่าสามารถรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมได้หรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

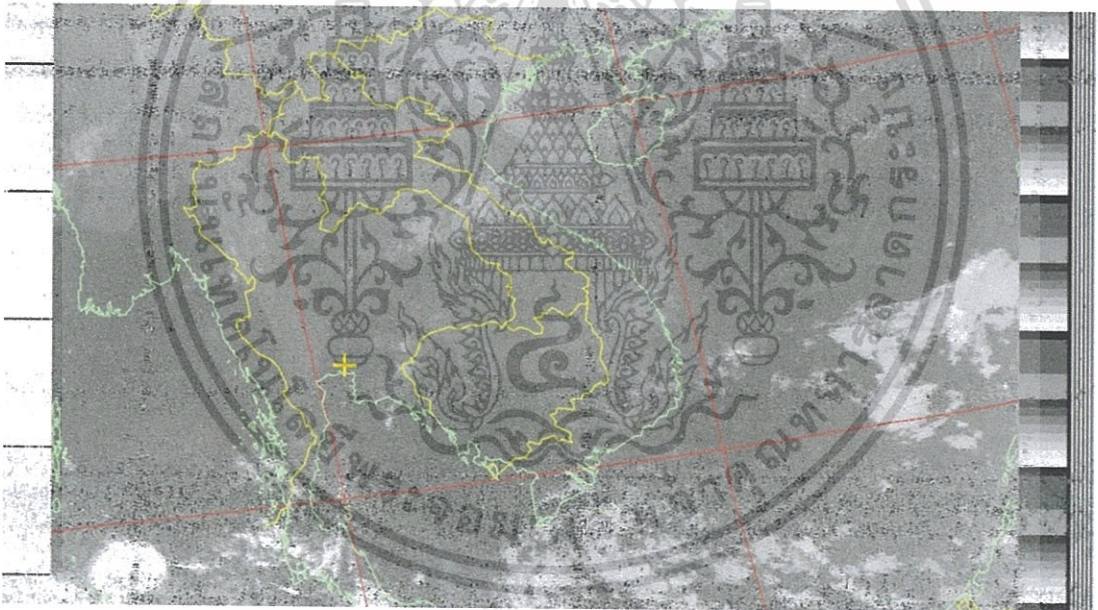
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบในการทำงานรับสัญญาณจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA

สำหรับการทดสอบในส่วนนี้จะทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์และโปรแกรมจะถูกติดตั้งในสถานีภาคพื้นดินเพื่อใช้สำหรับดาวเทียม NOAA ซึ่งจะประกอบด้วยกันส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

4.1.1 ทดสอบการรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียม NOAA ในช่วงเวลาต่างๆ

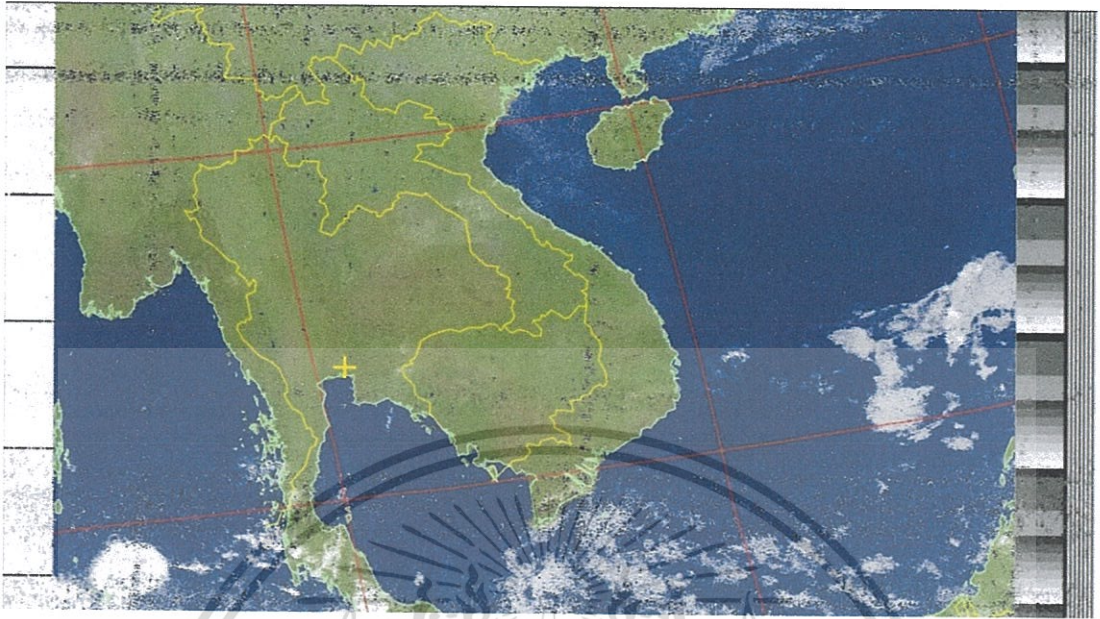
ในส่วนนี้ทำการทดสอบรับข้อมูลภาพจากดาวเทียม NOAA ซึ่งมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 ดวงคือ NOAA-15 18 และ 19 ซึ่งผลการทดสอบได้ผลดังต่อไปนี้



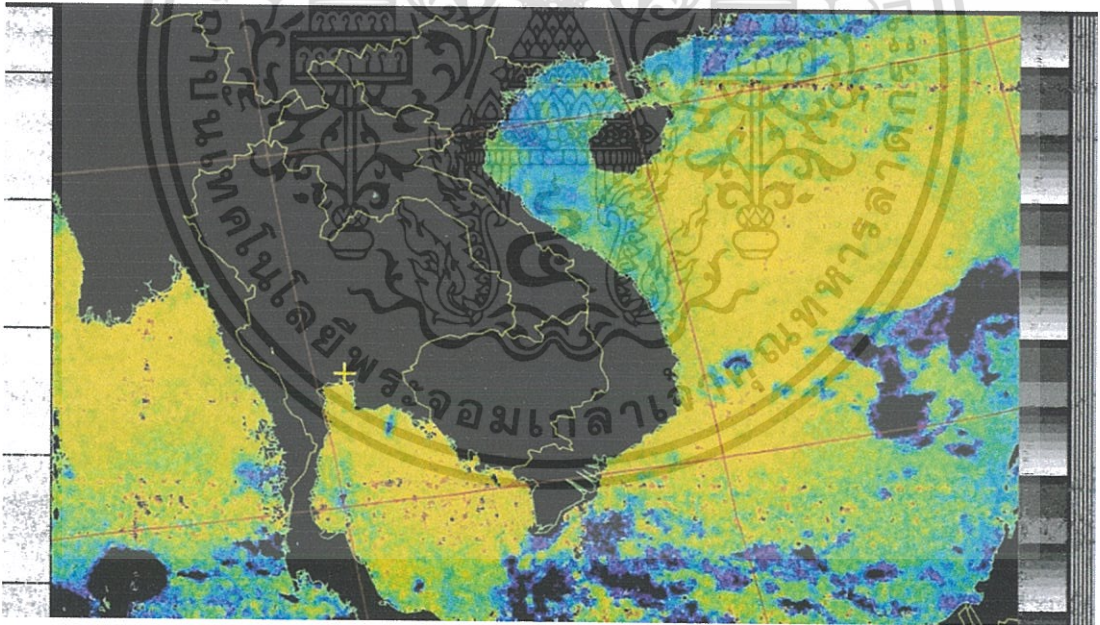
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA-15 วันที่ 14 ม.ค 2559 เวลา 22:40 UTC time

จากรูปที่ 4.1 เป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่ทำการทดสอบรับจากดาวเทียม NOAA-15 ในวันที่ 14 ม.ค 2559 เวลา 22.40 UTC time ซึ่งพบว่าสามารถรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมได้ โดยภาพที่แสดงนั้นแสดงเป็นในรูปแบบ Contrast แต่อาจจะมีสัญญาณรบกวนซึ่งแสดงให้เห็นถึงจุดดำบริเวณที่เป็นแถบอย่างไรก็ดีเมื่อนำภาพมาทำการ Processing สามารถประมวลผลให้เป็นสัญญาณภาพได้ 4 ชนิดคือ Contrast mcir sea และ therm ดังรูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

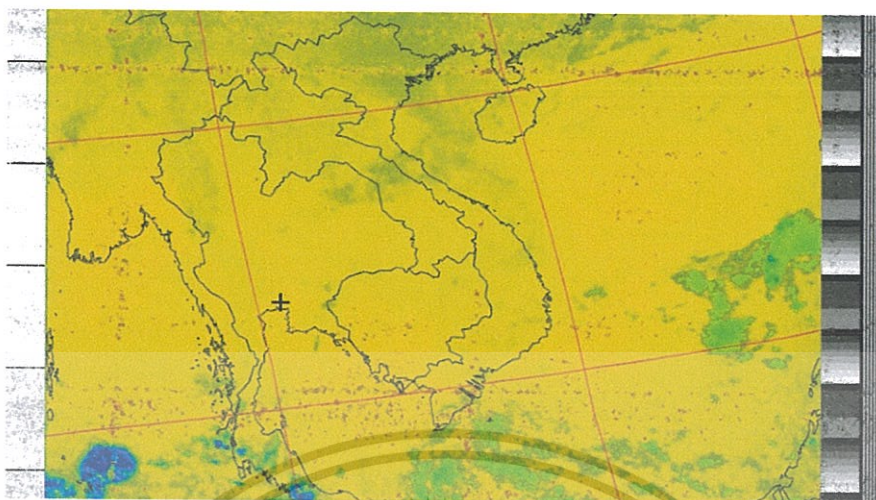


รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA-15 วันที่ 14 ม.ค 2559 เวลา 22:40 UTC time (MCIR)



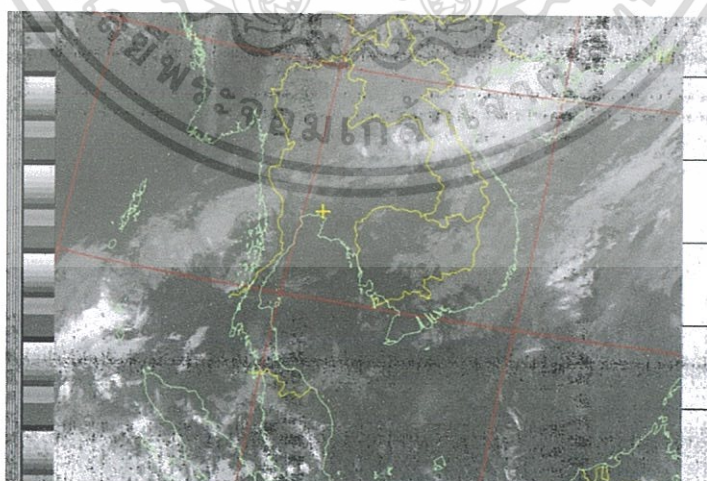
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA-15 วันที่ 14 ม.ค 2559 เวลา 22:40 UTC time (Sea)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



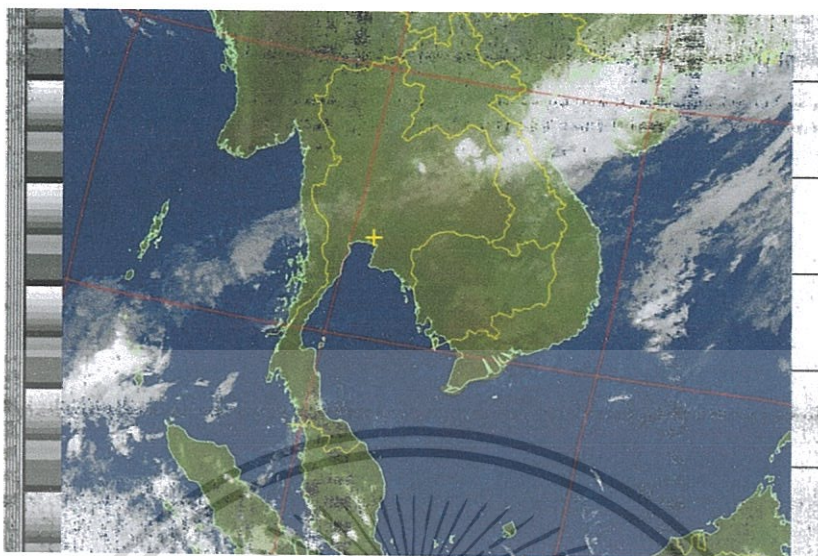
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA-15 วันที่ 14 ม.ค 2559 เวลา 22:40 UTC time (Sea)

จากรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงเป็นภาพถ่ายที่ประมวลในโหมด MCIR จะแสดงผลให้เห็นพื้นที่ของพื้นดินและพื้นน้ำ รูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงเป็นภาพถ่ายที่ประมวลในโหมด Sea จะแสดงผลให้เห็นพื้นที่ของทะเลและอุณหภูมิของพื้นที่ทะเลด้วยความแตกต่างของสี และรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงเป็นภาพถ่ายที่ประมวลในโหมด thermal ซึ่งแสดงภาพถ่ายที่ประมวลผลเป็นระดับอุณหภูมิที่ทำการตรวจวัดได้ในพื้นที่ต่างๆซึ่งภาพถ่ายทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงการรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมจาก NOAA-15 ซึ่งในรูปที่ 4.5 4.6 4.7 จะแสดงการรับภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA-18 วันที่ 27 ม.ค 2559 เวลา 10.30 UTC

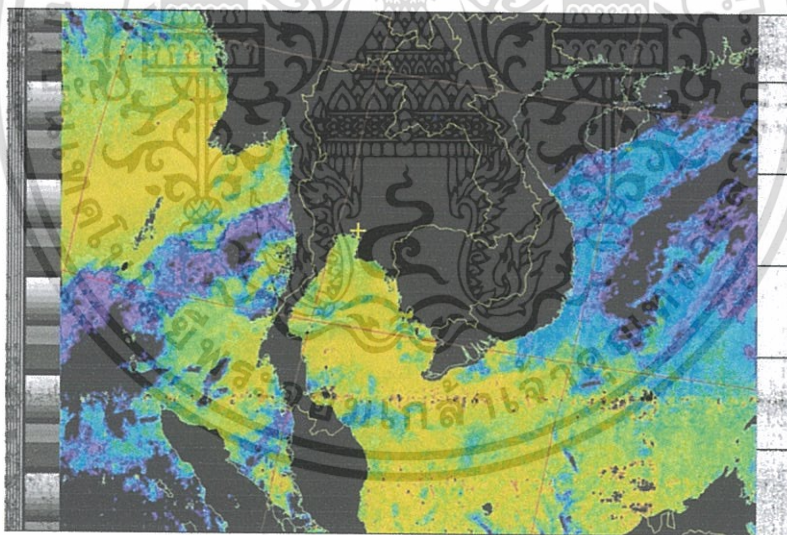


รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายจาก NOAA-18 วันที่ 27 ม.ค 2559 เวลา 10:30 UTC time (Contrast)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

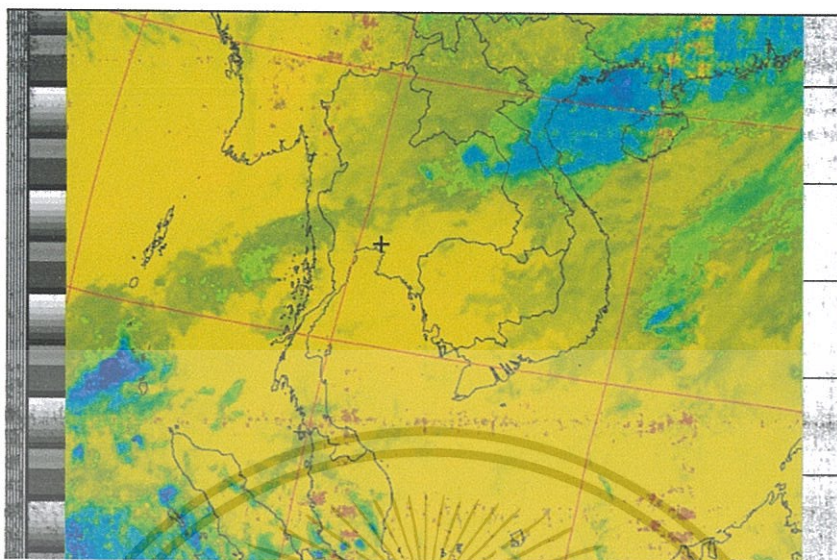


รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายจาก NOAA-18 วันที่ 27 ม.ค 2559 เวลา 10:30 UTC time (MCIR)



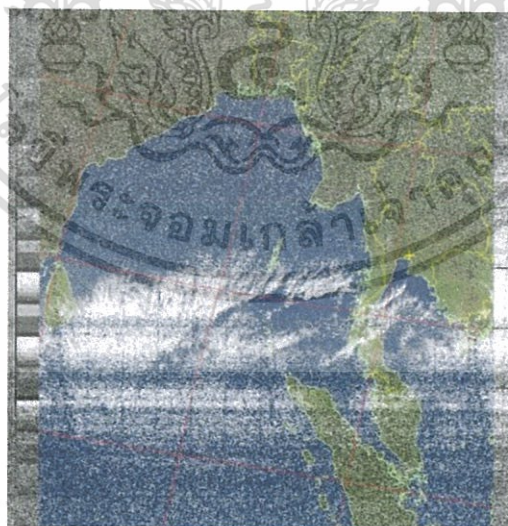
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายจาก NOAA-18 วันที่ 27 ม.ค 2559 เวลา 10:30 UTC time (Sea)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



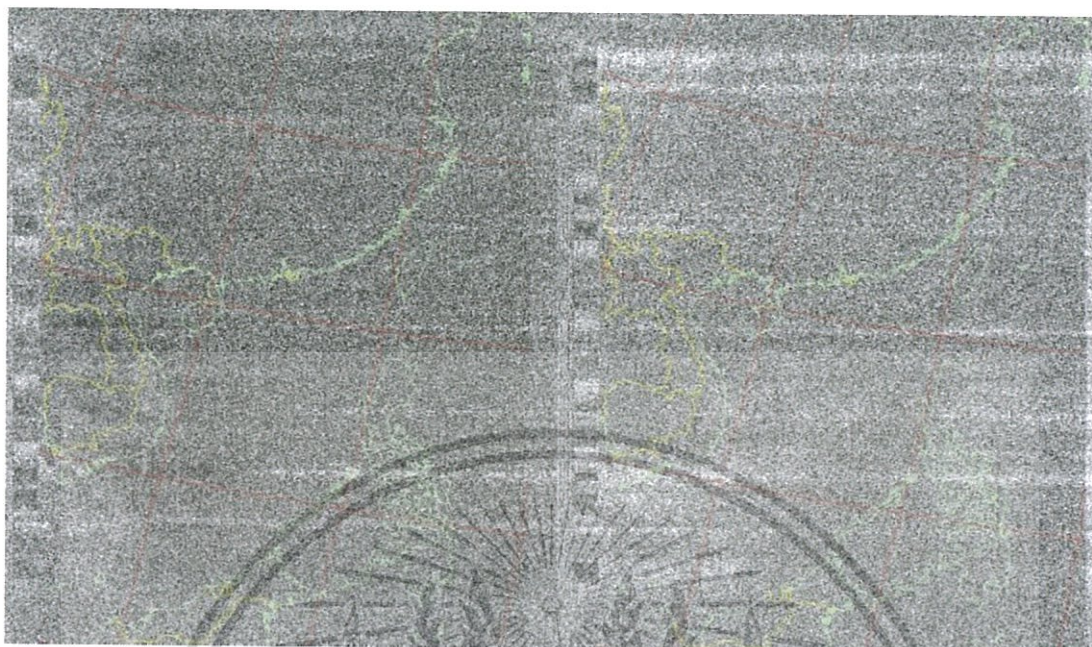
รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายจาก NOAA-18 วันที่ 27 ม.ค 2559 เวลา 10:30 UTC time (Thermal)

หากในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนมากอาจจะทำให้สามารถรับสัญญาณได้น้อยหรือว่ารับไม่ได้เลยโดยจะแสดงตัวอย่างของข้อมูลภาพที่ได้รับแล้วมีสัญญาณรบกวนมากในรูปที่ 4.9 และรับสัญญาณไม่ได้เลยในรูปที่ 4.10 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิ มุมบดบังจากตึกสูง ตำแหน่งของดาวเทียมที่โคจรผ่านสถานีภาคพื้นดิน รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายจาก NOAA-18 วันที่ 12 ก.พ 2559 เวลา 21:56 UTC time ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีสัญญาณรบกวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายจาก NOAA-18 วันที่ 9 ก.พ 2559 เวลา 09:42 UTC time ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีสัญญาณรบกวนมากจนเกือบที่จะรับสัญญาณภาพไม่ได้

ซึ่งจากผลเบื้องต้นทำให้สามารถพิจารณาได้ว่า สถานีภาคพื้นดินสามารถทำงานได้ตรงตามที่กำหนดไว้อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับตำแหน่งดาวเทียมที่โคจรผ่านสถานีภาคพื้นดินซึ่งจะมีผลต่อการรับสัญญาณภาพจากดาวเทียม NOAA ทั้ง 3 ดวง

4.2 ทดสอบการทำงานของระบบบอลลูนตรวจอากาศ

ในส่วนนี้ทำการทดสอบการทำงานของระบบบอลลูนตรวจอากาศจะแบ่งการทดสอบเป็นส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

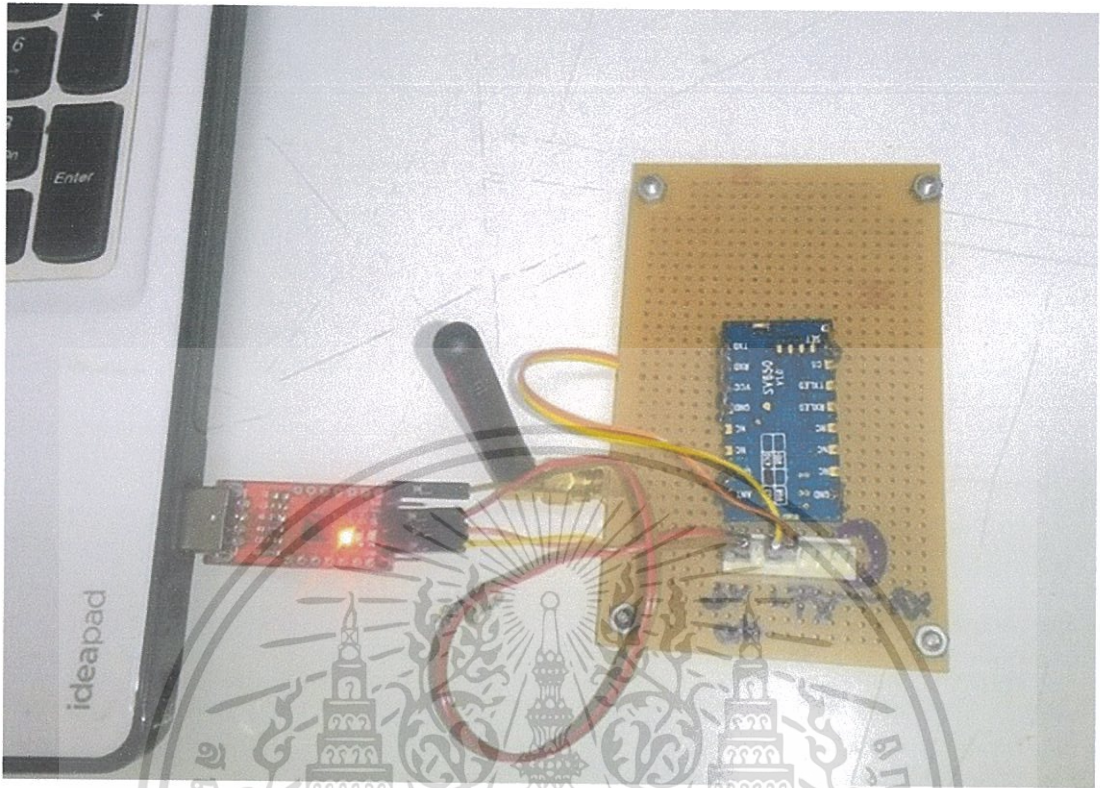
4.2.1 ทดสอบการทำงานภายในอุปกรณ์ตรวจวัดและสถานีภาคพื้นดิน

ในส่วนนี้ทำการทดสอบการทำงานภายในอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน้กับเซนเซอร์อุณหภูมิ เซนเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์ เซนเซอร์ความกดอากาศ โมดูลกล้องถ่ายภาพ โมดูลจีพีเอส โมดูลรับส่งข้อมูลไร้สายซึ่งในการทดสอบนี้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อให้โมดูลต่างๆสามารถทำงานร่วมกันได้อีกในส่วนนี้ทดสอบการส่งข้อมูลระยะไกลระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 อุปกรณ์ตรวจวัดและสถานีภาคพื้นดินในการทดสอบส่งข้อมูล

ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้จะเปิดระบบให้อุปกรณ์ภาคอากาศให้ทำงานตามปกติแล้วทดสอบตั้งสถานีโดยใช้โมดูล SV650 เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง USB-Serial ซึ่งแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ SV650 กับคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 4.12



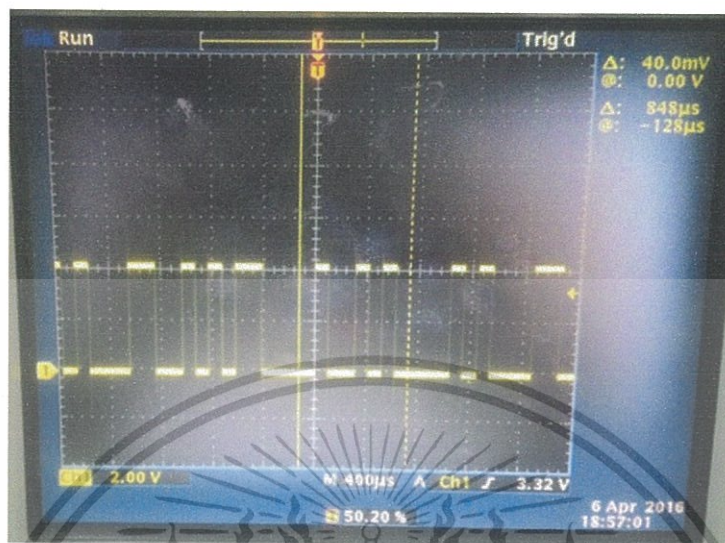
รูปที่ 4.12 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูล SV650 กับคอมพิวเตอร์

4.2.1.1 ทดสอบรับส่งเฟรมข้อมูลระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับอุปกรณ์

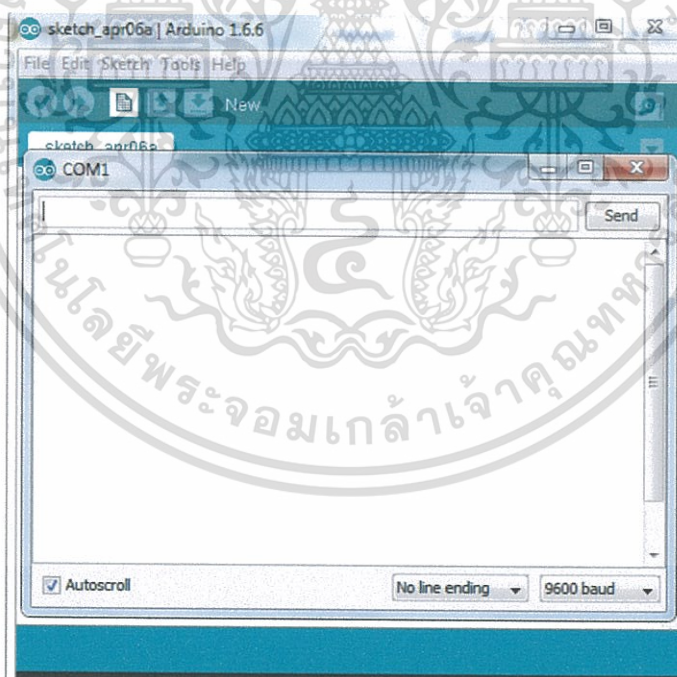
ตรวจวัด

ในส่วนนี้ทำการทดสอบโดยการใช้งาน Serial monitor ของโปรแกรม Arduino เพื่อดูข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งจากการทดลองทำการเปิดโปรแกรม Arduino และเปิดหน้าต่าง Serial Monitor เพื่อดูข้อมูลถูกส่งมาอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งรูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณข้อมูลที่โมดูลรับส่งข้อมูล SV650 ที่สถานีรับได้รับจากอุปกรณ์ภาคอากาศ กำหนดให้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 9600 baud per second หลังจากนั้นดูค่าพารามิเตอร์ที่ถูกส่งมาจากกลุ่มอุปกรณ์ตรวจวัดเซนเซอร์ซึ่งผลที่ได้คือ ข้อมูลที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์ภาคอากาศซึ่งจะแสดงในรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 สัญญาณข้อมูลที่วัดหา RX จากโมดูล SV650 ที่ถูกใช้งานในสถานีฐาน



รูปที่ 4.14 หน้าต่าง Serial Monitor ของโปรแกรม Arduino

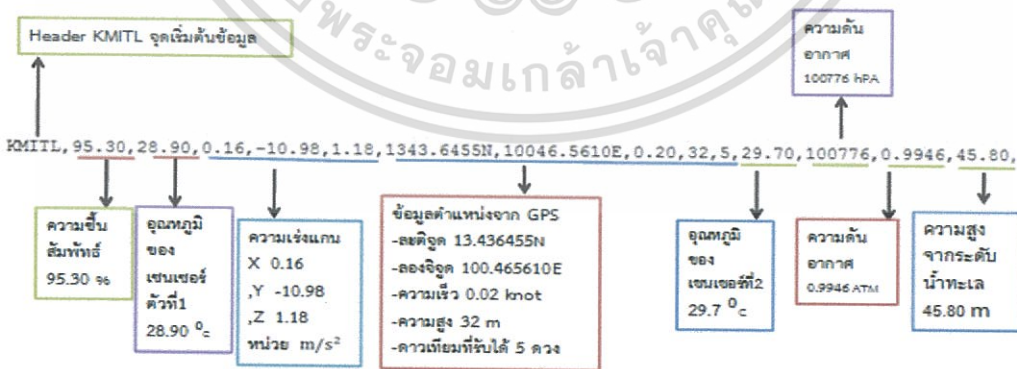
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

KMITL,68.60,28.60,-1.45,-9.38,-4.67,0,0,0,0,29.50,100791,0.9947,44.55,22h:12m:56s:5D/4Mn/2016
KMITL,92.40,28.70,-2.08,-10.98,-3.37,0,0,0,0,29.60,100752,0.9943,47.81,22h:13m:11s:5D/4Mn/2016
KMITL,95.20,28.80,-2.47,-12.36,-1.02,0,0,0,0,29.80,100746,0.9943,48.31,22h:13m:26s:5D/4Mn/2016
KMITL,95.50,28.80,-0.08,-11.02,0.98,0,0,0,0,29.70,100758,0.9944,47.31,22h:13m:40s:5D/4Mn/2016
KMITL,95.20,28.80,0.20,-10.98,1.10,0,0,0,0,29.60,100767,0.9945,46.56,22h:13m:55s:5D/4Mn/2016
KMITL,95.20,28.80,0.20,-10.98,1.14,0,0,0,0,29.60,100770,0.9945,46.30,22h:14m:10s:5D/4Mn/2016
KMITL,95.30,28.90,0.16,-10.94,1.22,1343.6538N,10046.5350E,0.44,177,3,29.60,100758,0.9944,47.31,22h:14m:20s:5D/4Mn/2016
KMITL,95.30,28.90,0.16,-10.94,1.10,1343.6454N,10046.5600E,0.17,30,5,29.60,100767,0.9945,46.56,22h:14m:35s:5D/4Mn/2016
KMITL,95.30,28.90,0.16,-10.94,1.26,1343.6458N,10046.5600E,0.02,32,5,29.60,100767,0.9945,46.56,22h:14m:50s:5D/4Mn/2016
KMITL,95.20,28.90,0.20,-10.98,1.22,1343.6456N,10046.5600E,0.08,32,5,29.70,100767,0.9945,46.56,22h:15m:4s:5D/4Mn/2016
KMITL,95.30,28.90,0.16,-10.98,1.18,1343.6455N,10046.5610E,0.20,32,5,29.70,100776,0.9946,45.80,22h:15m:19s:5D/4Mn/2016
KMITL,95.00,29.00,0.16,-10.94,1.18,1343.6453N,10046.5610E,0.16,32,5,29.70,100767,0.9945,46.56,22h:15m:34s:5D/4Mn/2016
KMITL,95.30,29.00,0.16,-10.98,1.14,1343.6450N,10046.5610E,0.12,32,5,29.60,100767,0.9945,46.56,22h:15m:48s:5D/4Mn/2016
KMITL,95.30,28.90,0.16,-10.98,1.14,1343.6449N,10046.5610E,0.10,32,5,29.60,100755,0.9944,47.56,22h:16m:3s:5D/4Mn/2016
    
```

รูปที่ 4.15 ข้อมูลที่สถานีภาคพื้นดินได้รับจากอุปกรณ์ตรวจวัดผ่านหน้าต่าง Serial Monitor

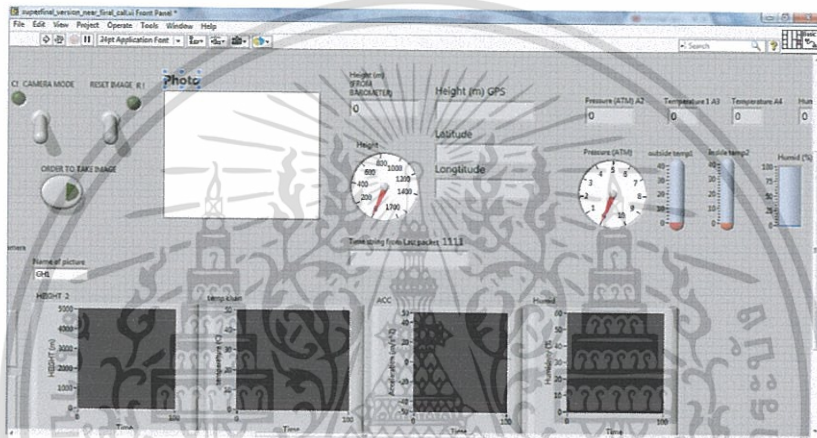
จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นเฟรมข้อมูลที่รับจากอุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ตรวจวัดสามารถอ่านค่าจากเซนเซอร์ต่างๆพร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลดังกล่าวให้จัดอยู่ในเฟรมข้อมูลกลับมายังสถานีภาคพื้นดินตามที่กำหนดโดยที่รูปที่ 4.16 จะแสดงเฟรมข้อมูลในแต่ละส่วนพร้อมทั้งอธิบายค่าพารามิเตอร์ที่ อยู่ภายในเฟรมซึ่งแสดงให้เห็นโดยเริ่มต้นเฟรมข้อมูลด้วยข้อความ “KMITL” ตามด้วยข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลอุณหภูมิตัวจากเซนเซอร์ที่ 1 ซึ่งอ่านค่าจาก DHT22 ข้อมูลความเร่งสามแกนซึ่งอ่านจากโมดูล ADXL345 ข้อมูลตำแหน่งพิกัดและความสูงซึ่งอ่านค่าจาก Module GPS ข้อมูลอุณหภูมิจากเซนเซอร์ตัวที่ 2 รวมทั้งข้อมูลความกดอากาศและความสูงที่คำนวณจากความกดอากาศ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวอ่านค่าจากโมดูล BMP180 โดยจากข้อมูลที่สถานีภาคพื้นดินได้รับแสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์ตรวจวัดสามารถทำงานร่วมกันได้ตามปกติ



รูปที่ 4.16 ตัวอย่างและอธิบายข้อมูลภายในเฟรมข้อมูลที่สถานีภาคพื้นดินได้รับจากการทดสอบรับส่งข้อมูล

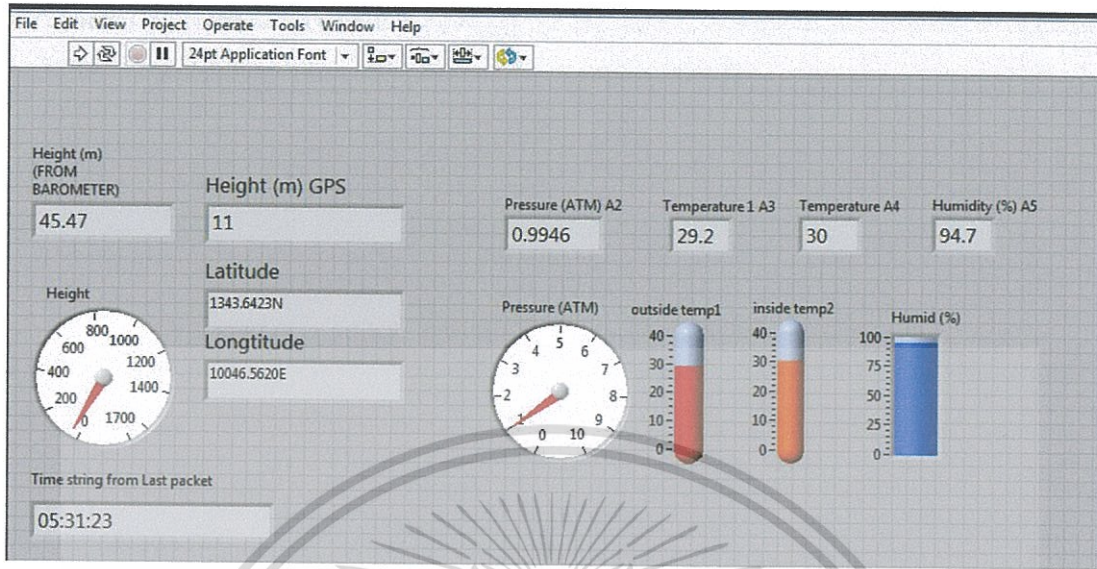
4.2.1.2 ทดสอบการแยกเฟรมด้วยโปรแกรม LabVIEW ในสถานีภาคพื้นดิน

หลังจากที่ทดสอบการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์วัดภาคอากาศกับสถานีภาคพื้นดินแล้วขั้นต่อไปทดสอบการทำงานของโปรแกรม LabVIEW ในส่วนของการรับค่าเฟรมข้อมูลซึ่งหน้าทีของโปรแกรม LabVIEW จะได้รับค่าเฟรมข้อมูลและทำการแยกแยะข้อมูลต่างๆให้อยู่ภายใต้ตารางที่กำหนดไว้เบื้องต้นรวมทั้งใช้โปรแกรม LabVIEW ในการส่งคำสั่งถ่ายภาพไปยังอุปกรณ์ตรวจวัดและทำการรวบรวมข้อมูลภาพที่ส่งมาจากอุปกรณ์ภาคอากาศให้เป็นไฟล์ภาพ JPEG ซึ่งในรูปที่ 4.17 จะแสดงให้เห็นหน้าต่างของโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการทำงาน



รูปที่ 4.17 หน้าต่างของโปรแกรม labVIEW ที่ใช้งานภายในสถานีภาคพื้นดิน

โดยในการทดสอบจะทำการเปิดการทำงานให้อุปกรณ์ทำงานตามปกติโดยที่สถานีภาคพื้นดินจะทำการเปิดโปรแกรม labVIEW ทำงานซึ่งในการทำงานจะต้องตรวจสอบว่าโปรแกรม labVIEW สามารถแยกข้อมูลได้หรือไม่ซึ่งพบว่าโปรแกรม labVIEW สามารถทำการแยกข้อมูลเป็นค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ทำการแยกออกจากเฟรมข้อมูลจะแสดงในหน้าต่างของโปรแกรม labVIEW ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.18



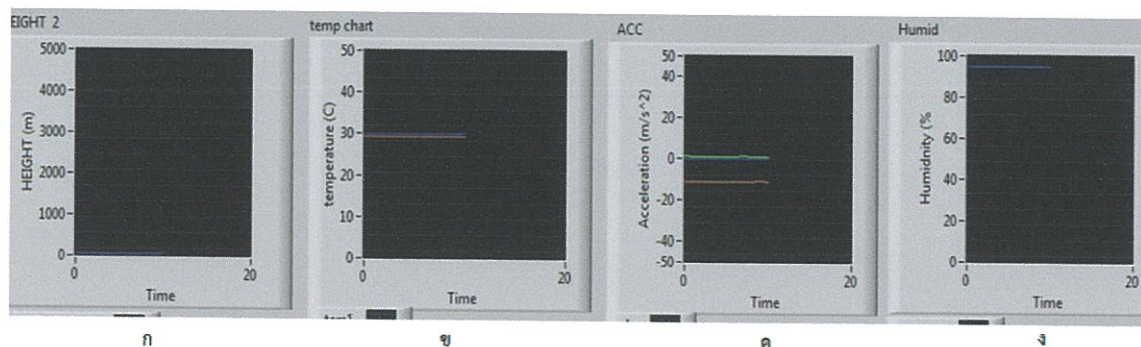
รูปที่ 4.18 หน้าต่างของโปรแกรม labVIEW ซึ่งแสดงข้อมูลที่แยกออกเฟรมข้อมูล

ซึ่งข้อมูลค่าพารามิเตอร์จะทำการแยกด้วยอักษรลูกน้ำ โดยที่โปรแกรม LabVIEW นอกจากจะแยกข้อมูลแล้วแสดงค่าพารามิเตอร์บนหน้าต่างของโปรแกรมแล้วค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะถูกจัดเรียงไว้ในตารางซึ่งอยู่ภายในโปรแกรม LabVIEW ซึ่งแสดงอยู่ภายในรูปที่ 4.19 โดยที่จากรูปดังกล่าวจะแสดงให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์ตั้งแต่วันที่เวลาที่สถานีภาคพื้นดินได้รับ อุณหภูมิ ความเร่ง พิกัดตำแหน่ง ความสูงและความกดอากาศ ซึ่งทั้งหมดถูกแยกออกจากเฟรมข้อมูลมาเก็บไว้ในตาราง โดยที่สามารถนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวไปใช้งานนอกจากมีกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการตรวจวัดโดยที่รูปที่ 4.20ก แสดงกราฟเปลี่ยนแปลงความสูง รูปที่ 4.20ข แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ รูปที่ 4.20ค แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเร่ง และรูปที่ 4.20ง แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์

Date	Time	humid%	temp1 (C)	Gx(m/s ²)	Gy(m/s ²)	Gz(m/s ²)	latitude	longitude	V(m/s)	altitude	sat2	temp2 (C)	pressure (hPA)	pressure (ATM)	height(m)
06-04-16	05:27:55	94.40	29.20	0.20	-10.98	1.22	1343.6423N	10046.5620E	0.02	30	10	29.90	100773	0.9946	46.05
06-04-16	05:28:11	94.40	29.20	0.20	-10.98	1.18	1343.6423N	10046.5620E	0.01	30	11	29.90	100777	0.9946	45.72
06-04-16	05:28:25	94.30	29.20	0.16	-10.94	1.14	1343.6423N	10046.5620E	0.01	30	11	29.90	100776	0.9946	45.80
06-04-16	05:28:41	94.60	29.20	0.16	-10.98	1.18	1343.6423N	10046.5620E	0.02	30	11	29.80	100785	0.9947	45.05

รูปที่ 4.19 ค่าพารามิเตอร์ที่แยกจากเฟรมข้อมูลที่ได้รับจัดเก็บไว้ในตารางในโปรแกรม LabVIEW

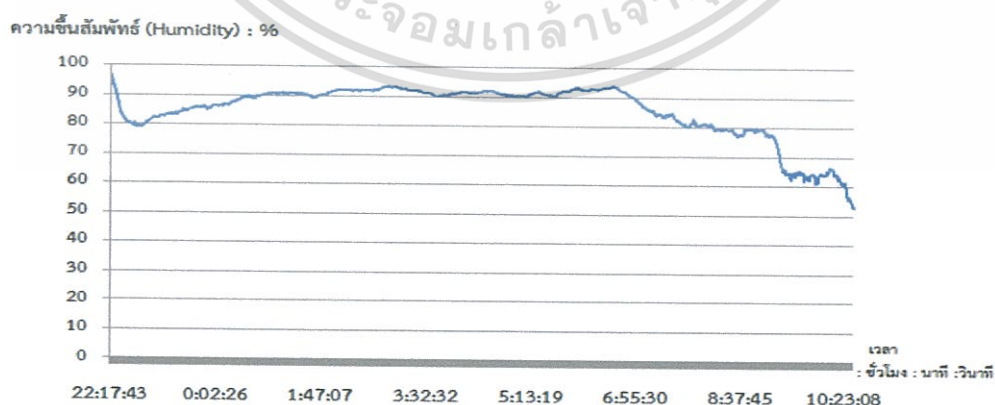
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 หน้าต่างของกราฟของโปรแกรม labVIEW แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้

4.2.1.3 ทดสอบวัดค่าพารามิเตอร์ของ Sensor ของอุปกรณ์ภาคอากาศ

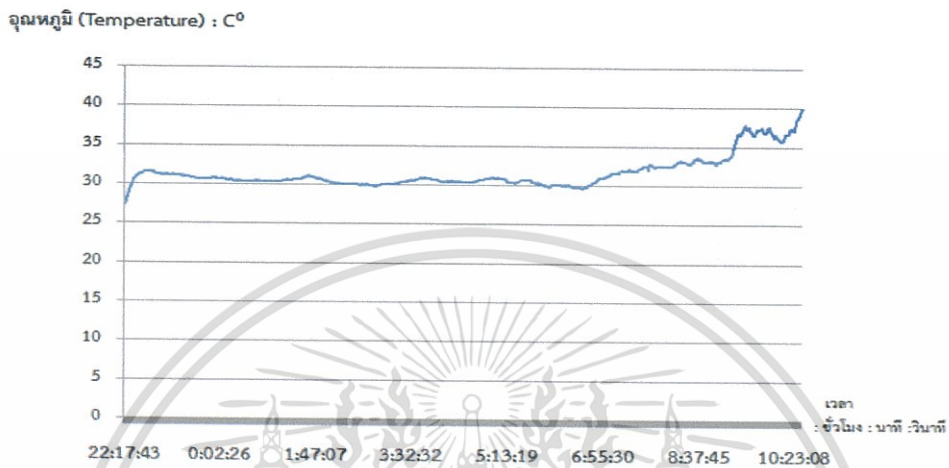
ในส่วนนี้ทดสอบด้วยการนำอุปกรณ์ภาคอากาศไปติดตั้งไว้บนดาดฟ้าของตึกภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมในวันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2559 ตั้งแต่ช่วงเวลา 22.47 น จนถึงวันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2559 เวลา 10.31น โดยทำการเปิดให้ระบบทำงานตามปกติโดยที่ทำการติดตั้งสถานีภาคพื้นดินไว้บริเวณใกล้เคียงกันโดยที่ปล่อยให้ระบบทำงานด้วยระยะเวลาช่วงหนึ่งเพื่อทดสอบการอ่านค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพด้วยโมดูลเซนเซอร์ต่างๆโดยในรูปที่ 4.21 จะแสดงกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งอ่านค่าจากโมดูล DHT22 โดยมีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ โดยจากรูปที่ 4.21 จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของอากาศกับช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงไปซึ่งดูจากแนวโน้มเบื้องต้นพบว่ายิ่งหากอยู่ในช่วงเวลาที่ที่มีแสงอาทิตย์ (พระอาทิตย์ขึ้น) ความชื้นจะมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในขณะที่ช่วงเวลากลางคืนความชื้นสัมพัทธ์มีค่าที่เปลี่ยนแปลงไม่มาก



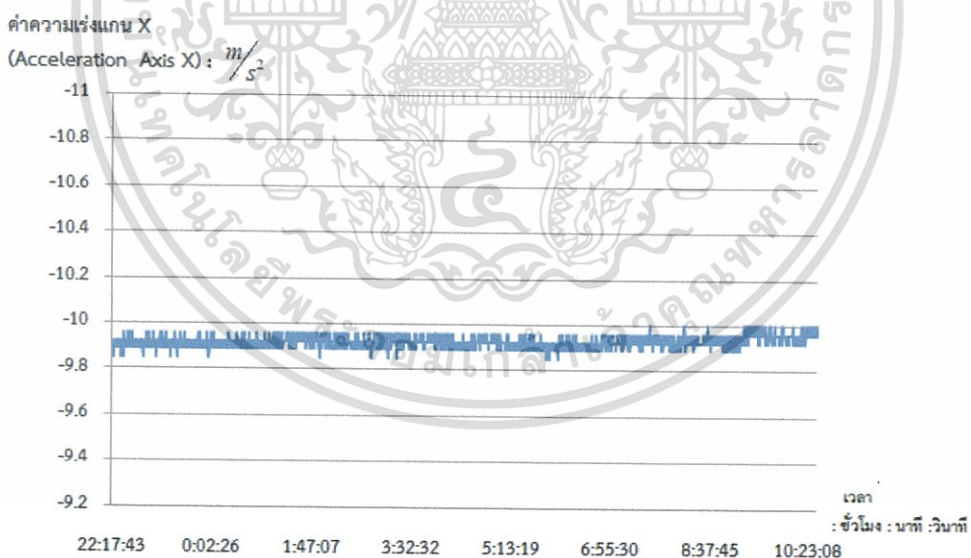
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของอากาศและช่วงเวลาที่ยำการตรวจวัดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในรูปที่ 4.22 จะแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดค่าจากโมดูล DHT22 เปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่ทำการวัดค่าโดยจะแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นค่าอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นเมื่อเข้าใกล้ช่วงเวลาเที่ยงวัน



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงอุณหภูมิที่วัดค่าได้จาก DHT22 เปรียบเทียบกับช่วงเวลาการวัด

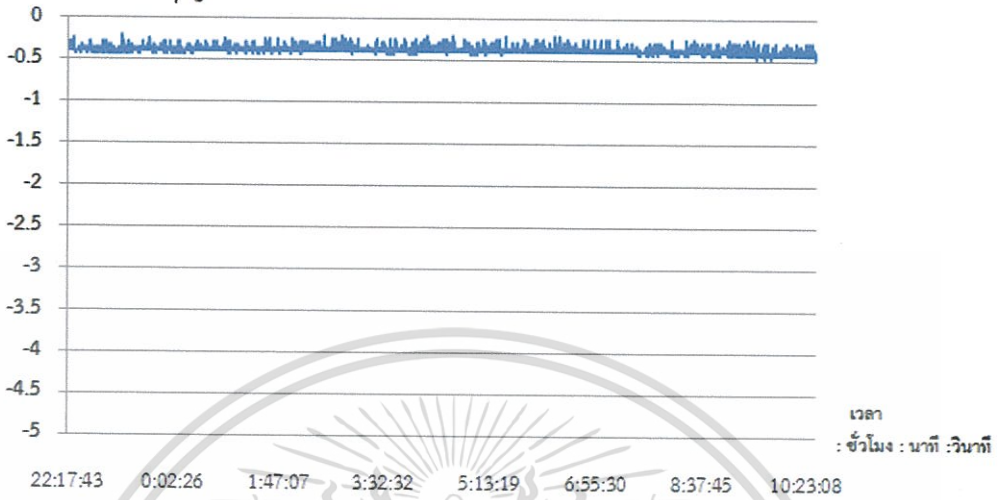


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความเร่งแกน x ที่วัดค่าได้จาก ADXL345 เปรียบเทียบกับช่วงเวลาการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเร่งแกน Y

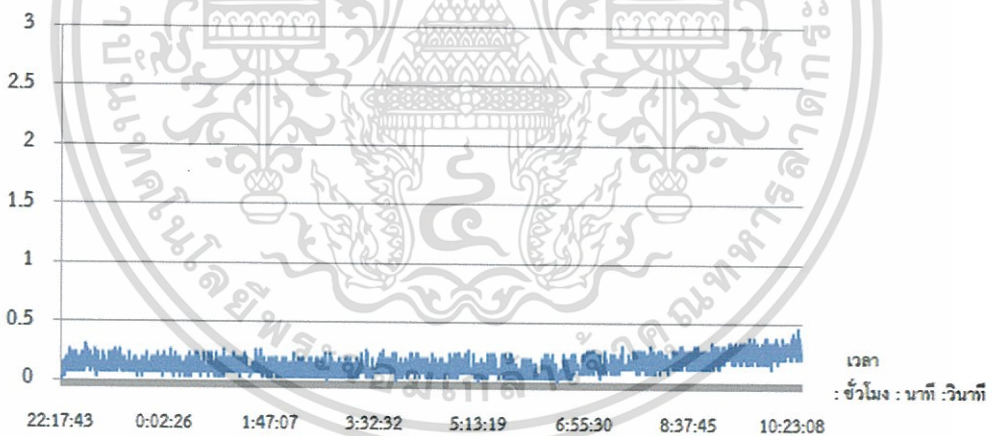
(Acceleration Axis Y) : m/s^2



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความเร่งแกน Y ที่วัดค่าได้จาก ADXL345 เปรียบเทียบกับช่วงเวลาการวัด

ค่าความเร่งแกน Z

(Acceleration Axis Z) : m/s^2

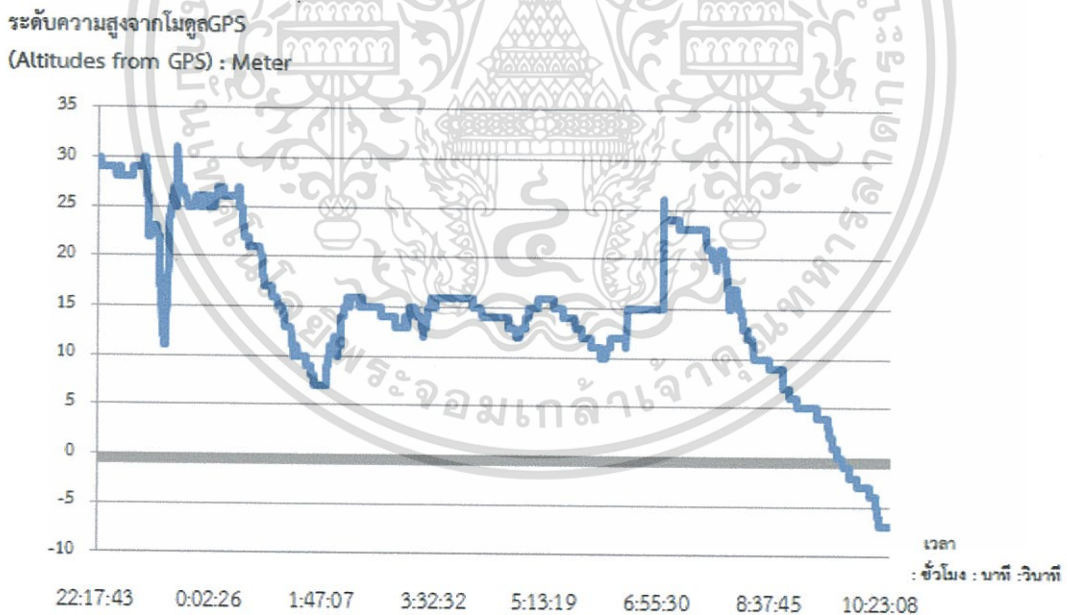


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความเร่งแกน Z ที่วัดค่าได้จาก ADXL345 เปรียบเทียบกับช่วงเวลาการวัด

โดยในรูปที่ 4.23 4.24 และ 4.25 แสดงกราฟความเร่งที่ทำการวัดจากค่าจาก ADXL345 ทั้งแกน x , y , z เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจวัดไม่ได้มีการเคลื่อนไหวส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการวัดค่าความสูงที่วัดจากโมดูล GPS แสดงในรูปที่ 4.26 พบว่าค่าความสูงที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเห็นดูได้จากกราฟรูปที่ 4.26 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความสูงตั้งแต่ระดับ 32 เมตร(อ้างอิงจากระดับพื้นดิน) จนถึงค่าติดลบซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ความสูงของ GPS มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้ส่วนในรูปที่ 4.27 แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงของความสูงที่คำนวณจากค่าความกดอากาศจากโมดูล (BMP180) โดยอ้างอิงจากระดับน้ำทะเล (Sea Level) ซึ่งพบที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยมีค่าระดับความสูงสูงสุด 56 เมตรและต่ำสุด 16 เมตร โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างชัดเจนโดยพบว่ายิ่งช่วงเวลาเช้าใกล้เที่ยงวันหรือช่วงเวลาที่มိုးตกสูงขึ้นไประดับความสูงจะลดลง (ความกดอากาศมากขึ้น) โดยจะสอดคล้องกับรูปที่ 4.28 ซึ่งจะแสดงค่าความกดอากาศในหน่วย (ATM) โดยพบว่าค่าความกดอากาศ (Air-Pressure) มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาไม่หยุดนิ่ง ซึ่งผลที่ได้จากการวัดค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าโมดูลเซนเซอร์ที่ใช้วัดค่าต่างๆสามารถทำงานได้ตามปกติโดยแสดงให้เห็นคุณสมบัติของค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพที่ทำการตรวจวัดได้แต่ละตัวซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

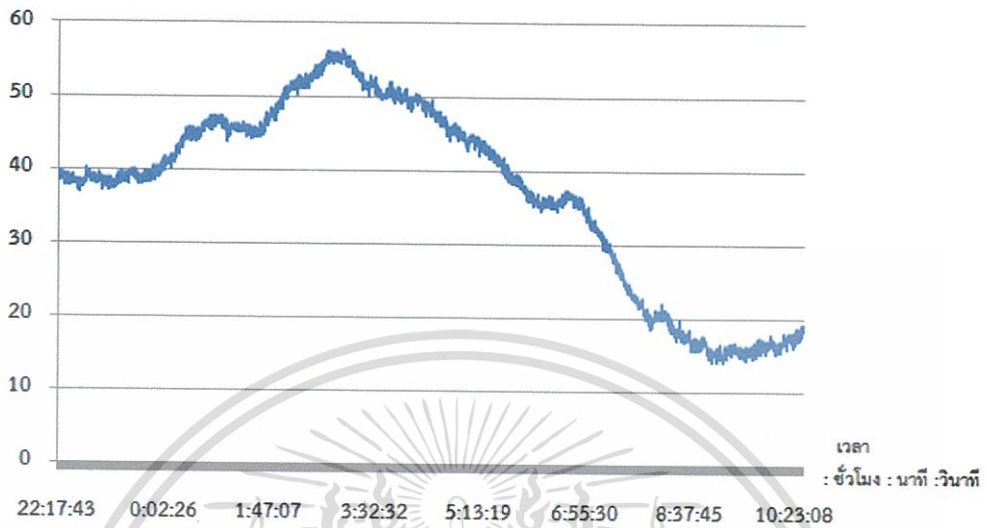


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสูง (Altitudes) ที่วัดค่าได้จาก GPS เปรียบเทียบกับช่วงเวลาการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความสูงจากโมดูล BMP180

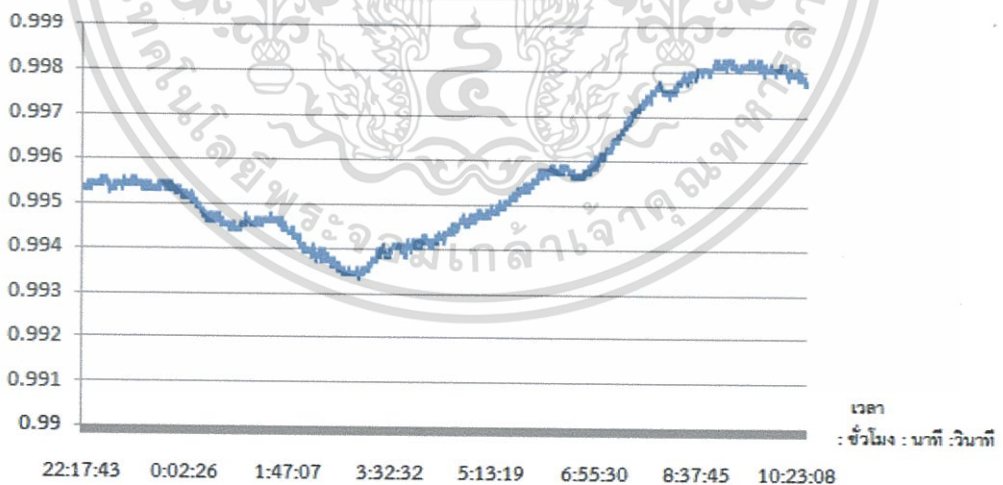
(Altitudes from BMP180) : Meter (Reference from sea level)



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสูง (Altitudes) ที่วัดค่าได้จากโมดูล BMP180 เปรียบเทียบกับช่วงเวลาการวัด

ค่าความกดอากาศที่วัดจาก BMP180

(Air-Pressure from BMP180) : ATM (standard atmosphere)

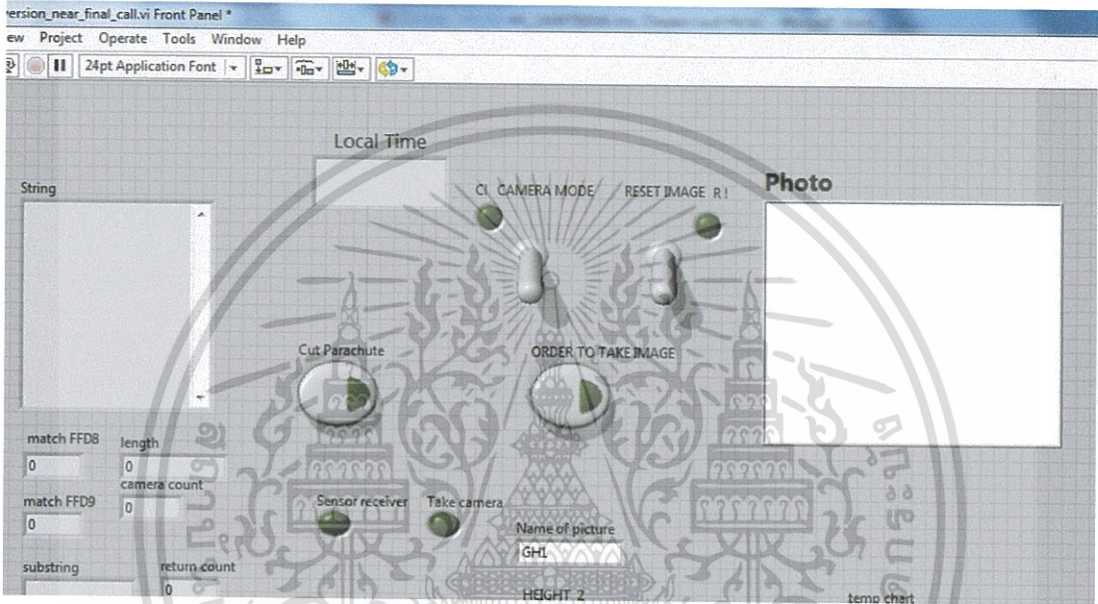


รูปที่ 4.28 กราฟความกดอากาศ (Air-Pressure) ที่วัดค่าได้จากโมดูล BMP180 เปรียบเทียบกับช่วงเวลาการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

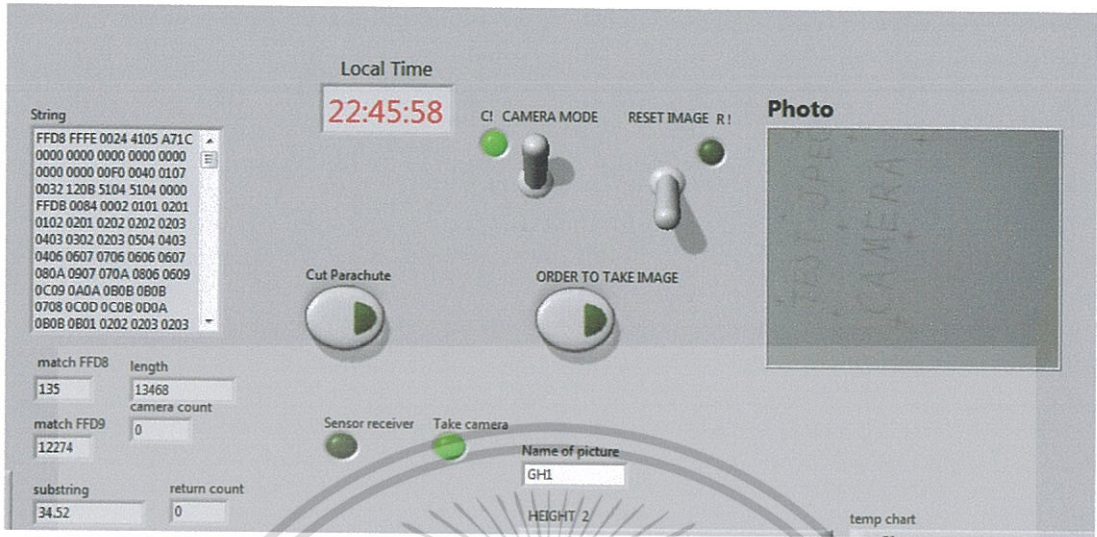
4.2.1.4 ทดสอบการส่งข้อมูลภาพจากอุปกรณ์ภาคอากาศกับสถานีฐาน

ในส่วนนี้ทำการทดสอบการส่งคำสั่งถ่ายภาพจากสถานีฐานไปยังอุปกรณ์ภาคอากาศโดยใช้โปรแกรม LabVIEW โดยกดปุ่มสั่งถ่ายซึ่งอยู่บนหน้าต่างของโปรแกรม LabVIEW รวมทั้งรูปถ่ายที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์ภาคอากาศจะแสดงบนหน้าต่างของโปรแกรม LabVIEW เช่นกันซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.29



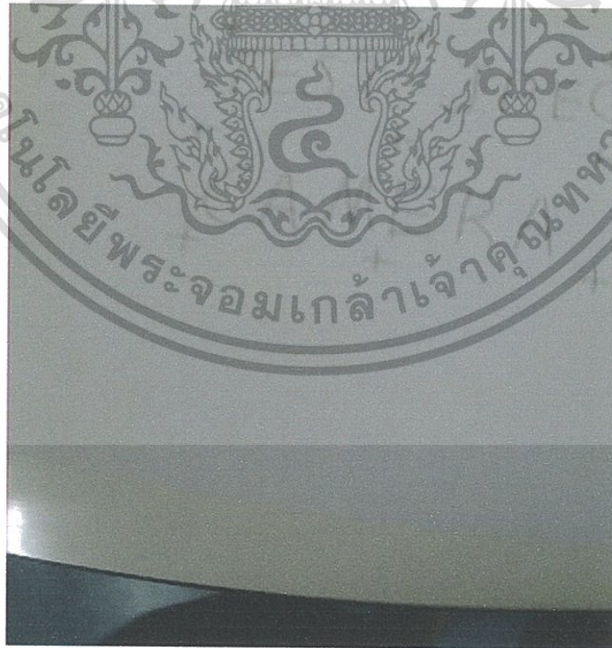
รูปที่ 4.29 หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW ในส่วนของโปรแกรมรับข้อมูลภาพถ่าย

จากนั้นทำการทดสอบด้วยการส่งคำสั่งถ่ายภาพซึ่งอุปกรณ์ภาคอากาศได้ถ่ายภาพและส่งข้อมูลภาพถ่ายกลับมายังสถานีฐานซึ่งในรูปที่ 4.30 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม LabVIEW ที่ทำการส่งคำสั่งถ่ายภาพไปยังอุปกรณ์ภาคอากาศและรับข้อมูลภาพถ่ายได้มาครบถ้วนแล้วโดยที่ขนาดภาพถ่ายมีขนาดภาพถ่ายที่ได้รับมีขนาด 320×240 pixel



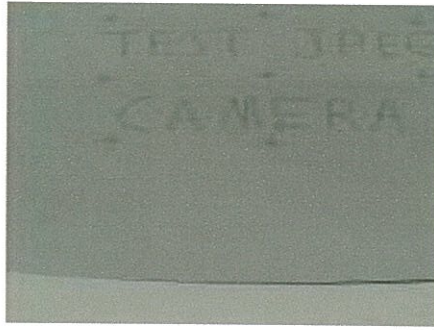
รูปที่ 4.30 หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW หลังจากรับภาพถ่าย

ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าสถานีภาคพื้นดินสามารถส่งคำสั่งถ่ายภาพไปยังอุปกรณ์ภาคอากาศและสามารถรับข้อมูลภาพถ่ายได้ครบตามที่กำหนดซึ่งแสดงภาพที่ส่งกลับมาโดยในรูปที่ 4.31 ซึ่งภาพที่รับได้มีขนาด 320×240 pixel และรูปที่ 4.32 แสดงภาพถ่ายที่ได้รับจากอุปกรณ์ภาคอากาศที่มีขนาดภาพ 160×120 pixel



รูปที่ 4.31 ภาพถ่ายที่ได้สถานีฐานได้รับที่มีขนาด 320×240 pixel

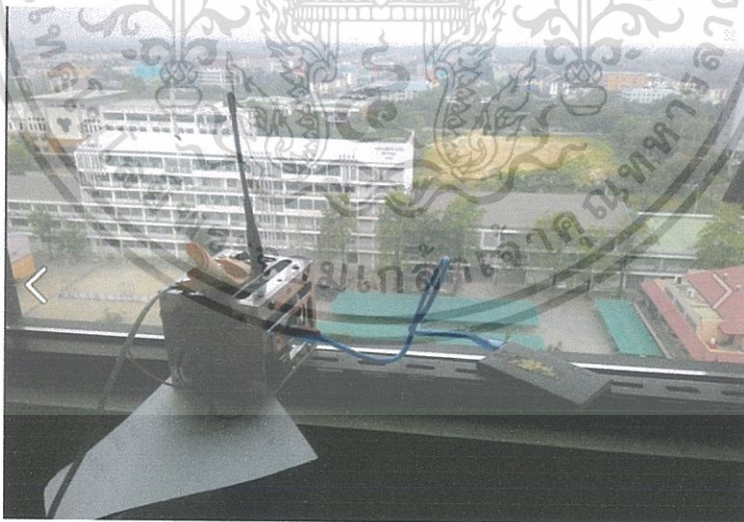
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ภาพถ่ายที่ได้สถานีฐานได้รับที่มีขนาด 160×120 pixel

4.2.2 ทดสอบการส่งข้อมูลระยะไกลระหว่างอุปกรณ์

ในส่วนนี้ทำการทดสอบการส่งข้อมูลระยะไกลระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศกับสถานีภาคพื้นดินโดยในการทดสอบจะจำลองสถานการณ์โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศไว้ที่ตึกที่มีความสูงซึ่งในที่นี้ติดตั้งอุปกรณ์ไว้บริเวณชั้น 11 ตึก 12 ชั้น หรือตึก E-12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังโดยซึ่งแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวในรูปที่ 4.33 และรูปที่ 4.34 โดยที่ทำการหันกล้องถ่ายภาพไปทางสนามบึงสุวรรณภูมิ



รูปที่ 4.33 อุปกรณ์ภาคอากาศถูกติดตั้งไว้บริเวณชั้น 11 ตึก E12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



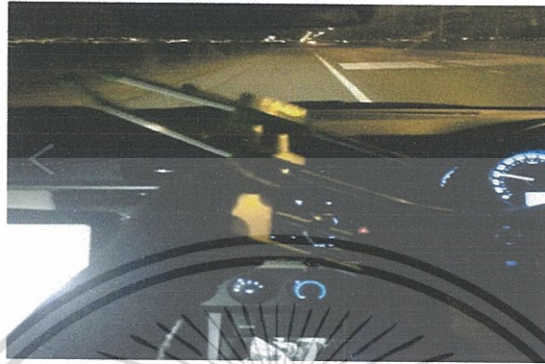
รูปที่ 4.34 อุปกรณ์ภาคอากาศหันท้องถ่ายภาพไปทางสนามบึงสุวรรณภูมิ
หลังจากที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ภาคอากาศเรียบร้อยแล้วทำการติดตั้งสถานีฐานไว้ภายในรถยนต์ซึ่งขับไป
ทางบริเวณสนามบึงสุวรรณภูมิโดยในที่นี้สายอากาศที่ใช้รับส่งสัญญาณใช้สายอากาศชนิดยาคีซึ่ง
แสดงในรูปที่ 4.35 เพื่อให้มีกำลังส่งสัญญาณได้มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.35 สายอากาศยาคีที่ใช้สำหรับสถานีภาคพื้นดิน

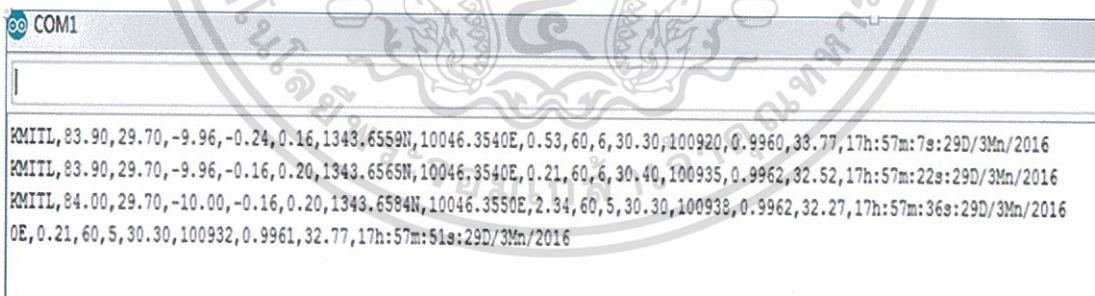
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่สถานีฐานติดตั้งไว้ภายในรถยนต์แล้วทำการเดินทางไปยังสนามบินสุวรรณภูมิซึ่งเป็นพื้นที่เปิดโล่งมีระยะห่างจากตีก E-12 ขึ้นประมาณ 5-10 กิโลเมตรตามระยะพิสัยที่สามารถทำการรับส่งสัญญาณได้ซึ่งในรูปที่ 4.36 แสดงการทดสอบการรับสัญญาณภายในพื้นที่สนามบินสุวรรณภูมิ

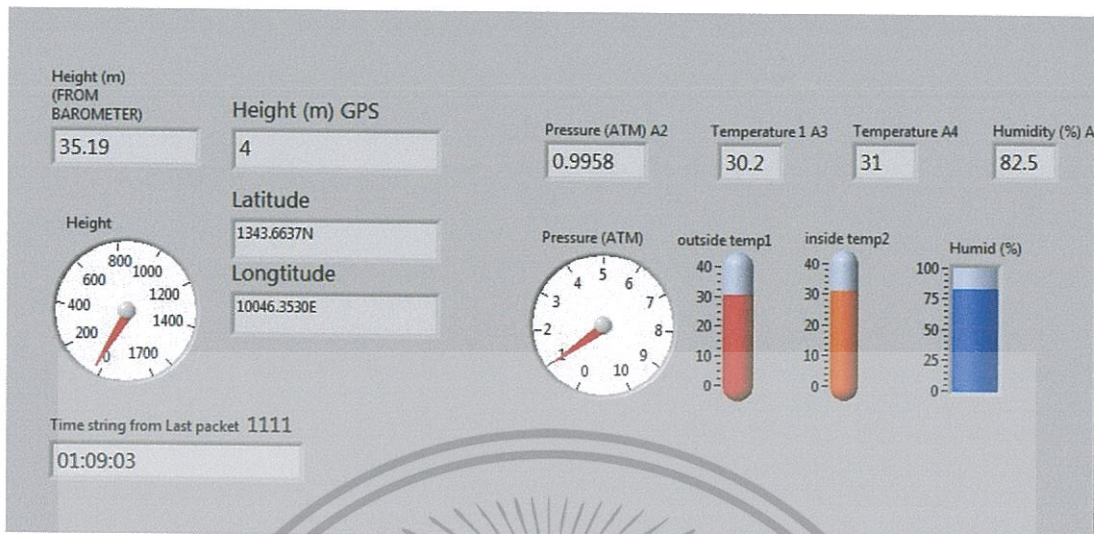


รูปที่ 4.36 ทดสอบรับส่งข้อมูลบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

เมื่อเริ่มต้นทดสอบโดยการรับสัญญาณพบว่า สถานีฐานสามารถรับเฟรมข้อมูลเซนเซอร์ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.37 โดยการเปิดหน้าต่าง Serial Monitor ของโปรแกรม arduino แสดงให้เห็นถึงเฟรมข้อมูลที่ได้รับซึ่งพบว่า ข้อมูลที่ได้รับมีความถูกต้องค่าพารามิเตอร์ของเซนเซอร์แต่ละตัวถูกต้องรวมทั้งโปรแกรม labVIEW สามารถรับเฟรมข้อมูลกลับมาทำการแยกและแสดงผลซึ่งแสดงในรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.37 เฟรมข้อมูลที่สถานีภาคพื้นดินได้รับจากอุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศในการทดสอบรับส่งข้อมูลระยะไกล



รูปที่ 4.38 หน้าต่างของโปรแกรม labVIEW แสดงให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์ของเซนเซอร์ที่ทำการตรวจวัดในการทดสอบการรับส่งข้อมูลระยะไกล

หลังจากทดสอบรับเฟรมข้อมูลเซนเซอร์เรียบร้อยแล้วทดสอบในขั้นตอนต่อไปทำการทดสอบคำสั่งถ่ายภาพซึ่งหลังจากสถานีภาคพื้นดินส่งคำสั่งถ่ายภาพเรียบร้อยแล้ว สถานีภาคพื้นดินได้รับข้อมูลภาพได้ซึ่งข้อมูลภาพถ่ายที่ได้รับแสดงในรูปที่ 4.39 โดยที่ระยะกระจัดระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับอุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศที่ถูกติดตั้งไว้บนตึก E-12 อยู่ที่ประมาณ 8 กิโลเมตรดังแสดงในรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.39 ภาพถ่ายที่ได้รับจากอุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศในการทดสอบรับส่งข้อมูลระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 แผนที่อุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศในการทดสอบรับส่งข้อมูลระยะไกล

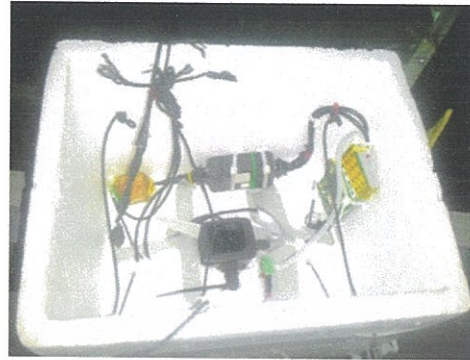
โดยรวมสรุปผลการทดสอบการส่งข้อมูลระยะไกลระหว่างสถานีภาคพื้นดินซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่กำหนดไว้โดยไม่มีการสูญเสียเฟรมข้อมูลพร้อมทั้งทดสอบการรับส่งข้อมูลภาพระยะไกลก็สามารถรับส่งข้อมูลภาพได้ตามวัตถุประสงค์กล่าวคือในการทดสอบการรับส่งข้อมูลระยะไกลระบบบอลูนตรวจอากาศสามารถทำการรับส่งข้อมูลระยะไกลได้ตามที่กำหนดไว้ให้ได้ตามที่วางแผนไว้

4.2.3 ทดสอบการทำงานของระบบติดตามตำแหน่ง APRS

ในส่วนของการทดสอบการทำงานติดตามตำแหน่งด้วยระบบ APRS ในขั้นต้นทำการติดตั้งอุปกรณ์ APRS Tracker ไว้บริเวณตึก E-12 พร้อมทั้งเปิดการทำงานของระบบติดตามตำแหน่ง APRS ให้ทำงานตามปกติซึ่งแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ APRS ในรูปที่ 4.41ก รวมทั้งในรูปที่ 4.41ข แสดงอุปกรณ์ภายในระบบ APRS

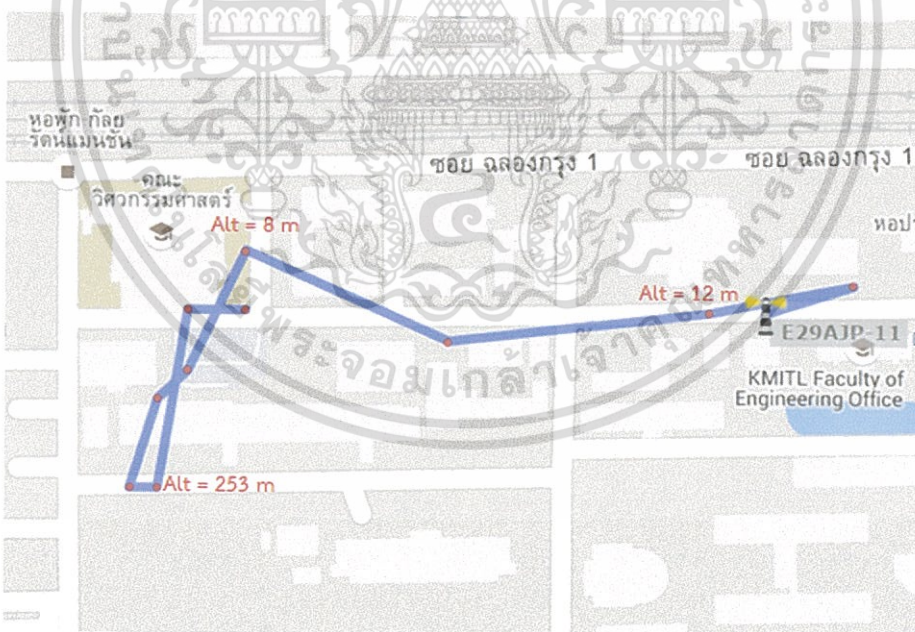


ก



ข

รูปที่ 4.41 การติดตั้งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง APRS และแสดงอุปกรณ์ภายใน หลังจากทำการเปิดการทำงานของระบบ APRS แล้วตรวจสอบว่าสามารถติดตามตำแหน่งโดยการเปิดเว็บไซต์ www.aprs.fi ซึ่งเป็นเว็บไซต์ที่ใช้ในการติดตามอุปกรณ์ APRS โดยที่ ชื่อ Call-sign ของอุปกรณ์คือ E29AJP-11 โดยพบว่าเจอระบบพิกัดตำแหน่งทำงานภายในบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งแสดงในเห็นในรูป 4.42



รูปที่ 4.42 ตำแหน่งที่ติดตามด้วยระบบ APRS

จากรูปที่ 4.42 พบว่าระบบติดตามตำแหน่งสามารถส่งข้อมูลไปยังสถานีรับอื่น เพื่อติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์ได้โดยที่จุดสีแดงแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งที่ติดตามพร้อมเส้นสีน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงินแสดงให้เห็นเส้นทางของอุปกรณ์โดยทั้งนี้ในภาพรวมระบบติดตามตำแหน่ง APRS สามารถติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์ได้

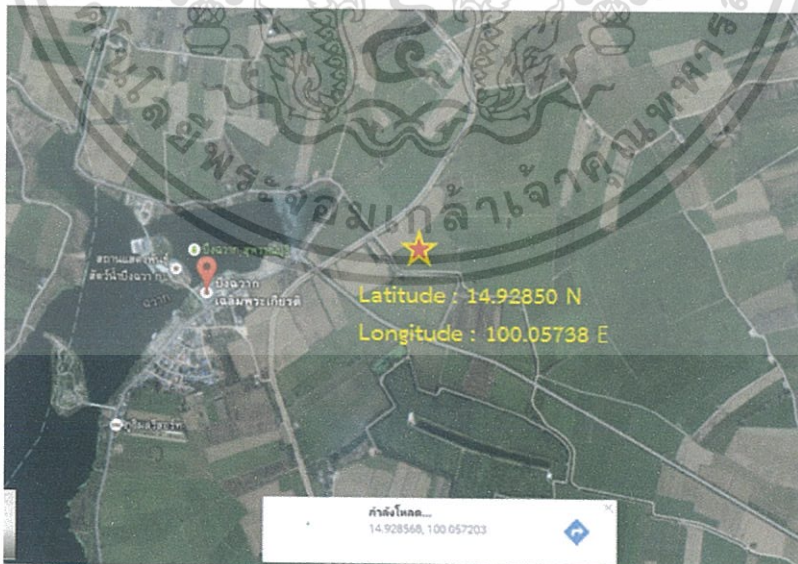
4.3 ผลการทดสอบในการปล่อยระบบบอลูนตรวจอากาศขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศโลก

ในส่วนของการทดสอบการนำระบบบอลูนไปทดสอบการใช้งานเบื้องต้นด้วยการนำอุปกรณ์ต่างๆไปปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศนั้นมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้คือ

4.3.1 ขั้นตอนการเตรียมการปล่อยบอลูนตรวจอากาศ

4.3.1.1 การเลือกสถานที่ที่จะทำการปล่อยบอลูนตรวจอากาศ

ในการเลือกสถานที่ที่จะทำการปล่อยบอลูนเพื่อใช้ในการทดลองได้ได้เลือกจุดปล่อยคือ ในพื้นที่ บึงฉวาก ต.เดิมบาง อ.เดิมบางนางบวช จ.สุพรรณบุรี เหตุผลที่เลือกสถานที่นี้เพราะอยู่ใกล้กับบ้านของผู้จัดปริญญานิพนธ์ทำให้ง่ายต่อการจัดการและสะดวกในการทำ ความเข้าใจกับชาวบ้านในละแวกนั้นโดยตำแหน่งที่เลือกจุดปล่อยคือละติจูดที่ 14.92850 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 100.05738 องศาตะวันออก ซึ่งแสดงแผนที่ตำแหน่งจุดไว้ในรูปที่ 4.43 และแสดงพื้นที่บริเวณที่จะทำการปล่อยบอลูนตรวจอากาศในรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.43 แผนที่ ณ ตำแหน่งจุดทดสอบปล่อยบอลูนตรวจอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 พื้นที่บริเวณที่จะทำการปล่อยบอลลู่นตรวจอากาศ

4.3.1.2 การทำนายจุดปล่อยและจุดตกของบอลลู่นตรวจอากาศ

ในส่วนของกำหนดวันและเวลาของการปล่อยบอลลู่นตรวจอากาศนั้นได้กำหนดไว้ที่ วันที่ 20 มีนาคม 2559 เวลาประมาณ 14.00 น โดยที่ทำการกำหนดความสูงของบอลลู่นตรวจอากาศก่อนที่จะตัดร่มชูชีพคือ 5 km เหนือพื้นผิวโลก ดังนั้นสามารถทำนายจุดตกของบอลลู่นตรวจอากาศโดยการคำนวณทิศทางลมผ่านเว็บไซต์ www.predict.habhub.org ซึ่งจากการทำนายพบว่าบอลลู่นตรวจอากาศจะลอยขึ้นชั้นบรรยากาศไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือจากจุดปล่อยและจุดตกจะอยู่ห่างจากจุดปล่อยประมาณ 15 km ซึ่งแสดงแผนที่การทำนายจุดตกในรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.45 แผนที่การทำงานนำทิศทางทางการเดินทางของบอลลูนตรวจอากาศและจุดตก

4.3.1.3 การติดตั้งสถานีภาคพื้นดิน

ในส่วนของการติดตั้งสถานีภาคพื้นดินเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการรับส่งข้อมูลในที่นี้ทำการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับสถานีภาคพื้นดินประกอบด้วยสายอากาศยาภิโมดูลสื่อสารไร้สาย SV650 และคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กซึ่งตั้งสถานีฐานไว้ตำแหน่งเดียวกับสถานที่ปล่อยบอลลูนโดยจะแสดงการติดตั้งสถานีภาคพื้นดินในรูปที่ 4.46 รูปที่ 4.47



รูปที่ 4.46 การติดตั้งสถานีภาคพื้นดินในบริเวณที่ปล่อยบอลลูนตรวจอากาศ



รูปที่ 4.47 การติดตั้งสายอากาศสำหรับสถานีภาคพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.4 ขั้นตอนการบรรจุก๊าซฮีเลียมลงในบอลูน

ในส่วนนี้ทำการบรรจุก๊าซฮีเลียมที่ได้เตรียมมา 1 ถังโดยขนาดถังมีขนาด 3 คิวซึ่งสามารถบรรจุก๊าซฮีเลียมได้จำนวน 3000 ลิตรโดยประมาณซึ่งทำการต่อท่อจากหัวจ่ายก๊าซฮีเลียมไปยังบอลูนซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 นิ้วจำนวน 10 ลูกแต่ในทางปฏิบัติสามารถบรรจุให้มีขนาดใหญ่ได้เพียง 30 นิ้วเท่านั้นโดยในรูปที่ 4.48 แสดงการบรรจุก๊าซฮีเลียมลงในบอลูน และรูปที่ 4.49 แสดงบอลูนหลังจากที่บรรจุก๊าซฮีเลียมแล้ว



รูปที่ 4.48 การบรรจุก๊าซฮีเลียมจากถังลงในบอลูน



รูปที่ 4.49 บอลูนที่ทำการบรรจุก๊าซฮีเลียมแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

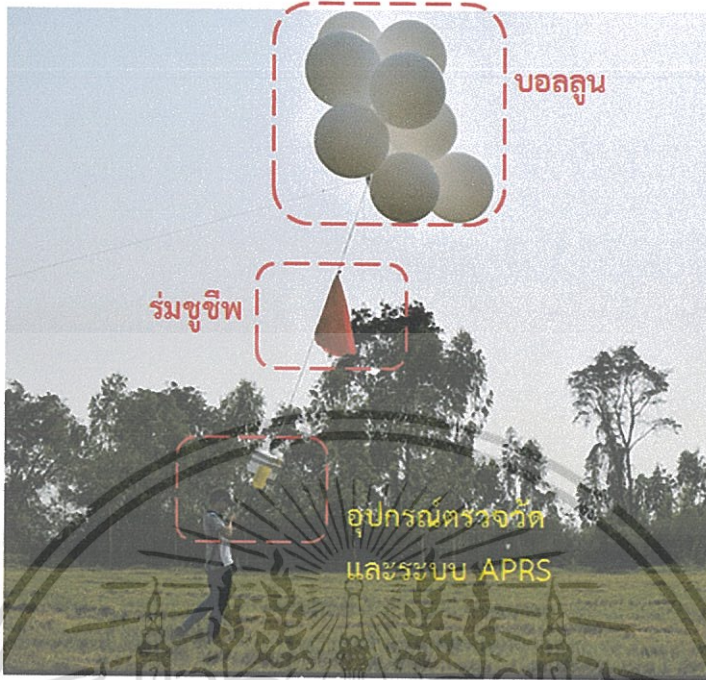
4.3.1.4 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศ อุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง และร่มชูชีพกับบอลลูนฮีเลียม

ในขั้นตอนนี้หลังจากที่ได้จัดการและเตรียมการไว้นำอุปกรณ์ทั้งหมดซึ่งจะประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศ ระบบติดตามตำแหน่ง APRS และร่มชูชีพไว้กับบอลลูนซึ่งจัดเตรียมไว้แล้วก่อนหน้านี้โดยที่รูปที่ 4.50ก ทำการจัดเตรียมร่มชูชีพที่ได้ออกแบบไว้ รูปที่ 4.50ข แสดงการติดตั้งร่มชูชีพกับอุปกรณ์ภาคอากาศ รูปที่ 4.50ค แสดงการติดตั้งร่มชูชีพกับบอลลูนตรวจอากาศและรูปที่ 4.50ง แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดไว้กับบอลลูน



รูปที่ 4.50 การติดตั้งอุปกรณ์ภาคอากาศ ระบบ APRS และร่มชูชีพกับบอลลูนบรรจุก๊าซฮีเลียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.51 การติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดกับบอลลูน

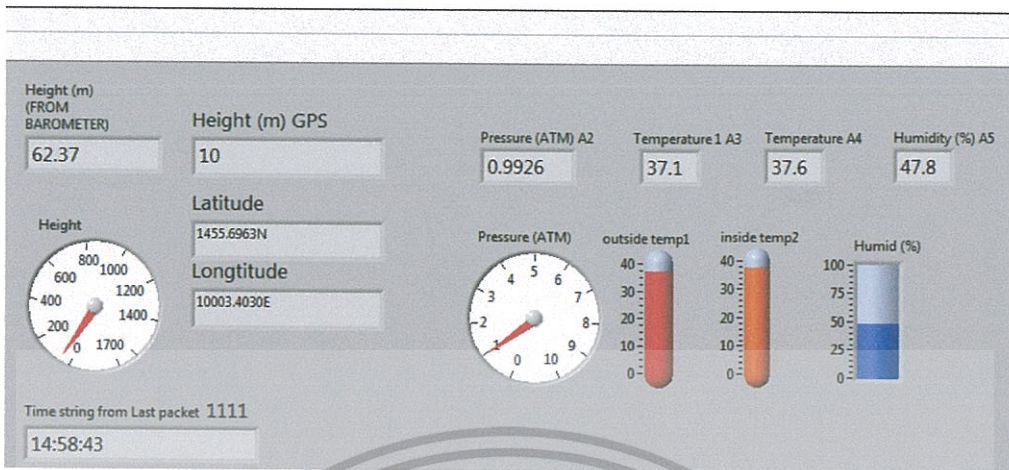
จากรูปที่ 4.51 แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ทั้งหมดถูกติดตั้งไว้กับบอลลูนเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในขั้นตอนจากนี้จะเป็นขั้นตอนทดสอบในระบบตัวร่มชูชีพและทดสอบการระบบส่งข้อมูล

4.3.2 การทดสอบระบบ

ในส่วนของการทดสอบระบบการทำงานของบอลลูนตรวจอากาศหลังจากติดตั้งระบบเสร็จสมบูรณ์แล้วมีขั้นตอนดังนี้

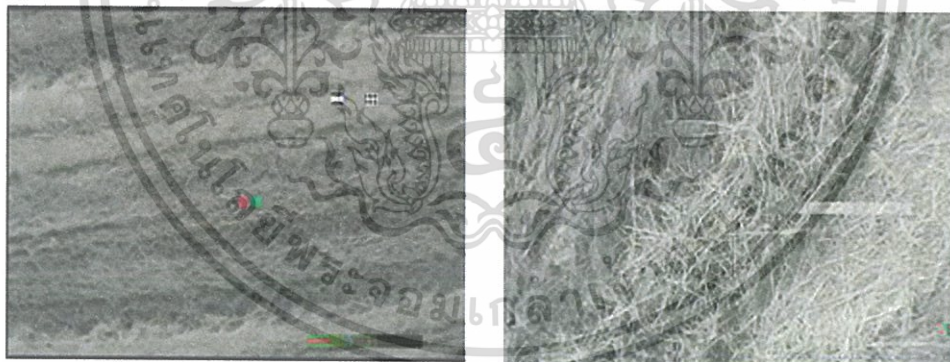
4.3.2.1 การทดสอบรับส่งข้อมูลของระบบบอลลูนตรวจอากาศ

ซึ่งในขั้นตอนการทดสอบนี้เพื่อทดสอบการรับส่งข้อมูลจากบอลลูนตรวจอากาศกับสถานีภาคพื้นดินซึ่งผลการทดสอบที่ได้คือสถานีภาคพื้นดินสามารถได้รับเฟรมข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดได้โดยที่จะแสดงหน้าต่างของโปรแกรม labVIEW ในขณะที่แสดงค่าพารามิเตอร์ที่เซนเซอร์ตรวจวัดในรูปที่ 4.52



รูปที่ 4.52 หน้าต่างของโปรแกรม labVIEW แสดงให้เห็นค่าพารามิเตอร์ที่สถานีภาคพื้นดินรับจาก บอลลูนตรวจอากาศในการทดสอบการรับส่งข้อมูล ณ สถานที่บอลลูน

จากนั้นทำการทดสอบรับส่งข้อมูลภาพโดยที่สถานีภาคพื้นดินส่งคำสั่งถ่ายภาพไปยังอุปกรณ์ตรวจวัด ซึ่งผลที่ได้คือ สถานีภาคพื้นดินได้รับข้อมูลภาพถ่าย JPEG จากอุปกรณ์ตรวจวัดได้ซึ่งแสดงภาพที่ได้รับจากในรูปที่ 4.53ก และรูปที่ 4.53ข



ก

ข

รูปที่ 4.53 ตัวอย่างภาพที่สถานีภาคพื้นดินได้รับจากอุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศในการทดสอบรับ ข้อมูลภาพ ณ สถานที่ปล่อยบอลลูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 การทดสอบระบบปลดรมซูชีพ

ในส่วนนี้ทำการทดสอบระบบสั่งตัดรมซูชีพโดยอาศัยความร้อนจากลวดนิโครมทำใช้เชื้อเพลิงที่ผูกบอลลูนกับอุปกรณ์ขาดออกจากกันซึ่งในการทดสอบให้สถานีภาคพื้นดินส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งผลที่ได้คืออุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศสามารถรับคำสั่งตัดเชื้อเพลิงซึ่งจะควบคุมให้รีเลย์ทำงานส่งผลให้แบตเตอรี่จ่ายไฟให้กับลวดนิโครมซึ่งจะมีกระแสไหลในขดลวดจนเกิดความร้อนซึ่งในรูปที่ 4.54 แสดงให้เห็นภาพของบอลลูนตรวจอากาศก่อนจะส่งคำสั่งปลดรมซูชีพออก และในรูปที่ 4.55 แสดงให้เห็นการทำงานหลังจากส่งคำสั่งปลดรมซูชีพแล้ว



รูปที่ 4.54 บอลลูนตรวจอากาศก่อนส่งคำสั่งปลดรมซูชีพ

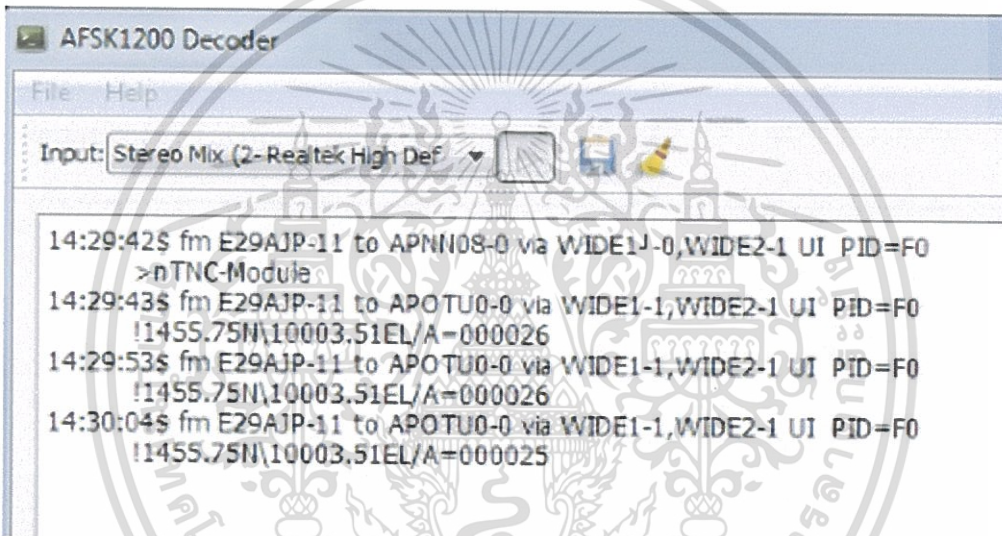


รูปที่ 4.55 บอลลูนตรวจอากาศหลังส่งคำสั่งปลดรมซูชีพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3 ทดสอบการทำงานของระบบติดตาม APRS

ในขั้นตอนนี้ทำการเปิดใช้งานระบบติดตามตำแหน่งอัตโนมัติ APRS โดยที่ใช้สถานีภาคพื้นดินในการตรวจสอบ Packet ว่าสามารถรับข้อมูลได้ถูกต้องหรือไม่ ซึ่งใช้โปรแกรม AFSK1200 ในการถอดรหัสข้อมูลที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์ APRS ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ข้อมูล APRS ที่ถูกส่งออกมาอุปกรณ์ APRS ที่ติดตั้งไปกับบอลูนสามารถทำงานได้ตามปกติ โดยที่ในรูปแบบที่ 4.56 แสดงให้เห็น packet ข้อมูล APRS ที่สถานีภาคพื้นดินได้รับจากอุปกรณ์ APRS ที่ถูกติดตั้งไว้กับบอลูนตรวจอากาศ



รูปที่ 4.56 Packet APRS ซึ่งแสดงข้อมูลตำแหน่งของบอลูนตรวจอากาศที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์ APRS ที่ติดตั้งกับบอลูน

4.3.3 ทดสอบปล่อยบอลูนขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ

สำหรับขั้นตอนสุดท้ายในการทดลองคือปล่อยบอลูนตรวจอากาศขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศโลกซึ่งพบว่า ในขั้นตอนของการทดลองระบบปลดร่มชูชีพซึ่งเชือกขาดแล้วกระเด็นไปโดนลูกโป่งแตก จำนวน 2 ลูก ทำให้เหลือบอลูนอีกแค่ 8 ลูกจาก 10 ลูกผลที่ตามมาคือ บอลูนที่บรรจุก๊าซฮีเลียมไม่สามารถยกอุปกรณ์ทั้งหมดขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศได้โดยที่บอลูนจะทำได้เพียงยกอุปกรณ์ให้ลอยอยู่นิ่งๆได้เท่านั้น ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงตัดสินใจไม่ปล่อยบอลูนตรวจอากาศขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศจริงซึ่งในรูปแบบที่ 4.57 แสดงให้เห็นคณะกรรมการทำงานในวันที่ปล่อยบอลูนตรวจ

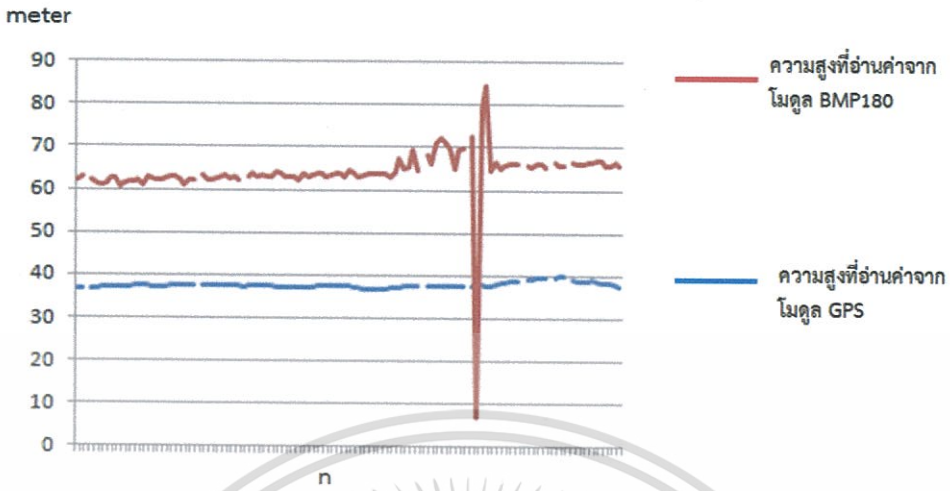
อากาศอย่างไรก็ดีค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวัดจะสามารถแสดงผลในกราฟซึ่งมีขั้นตอนวิเคราะห์ดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 4.57 คณะผู้จัดทำระบบบอลลูนตรวจอากาศ

4.3.3.1 ผลวิเคราะห์ความสูงจากโมดูล GPS และจากโมดูล BMP180

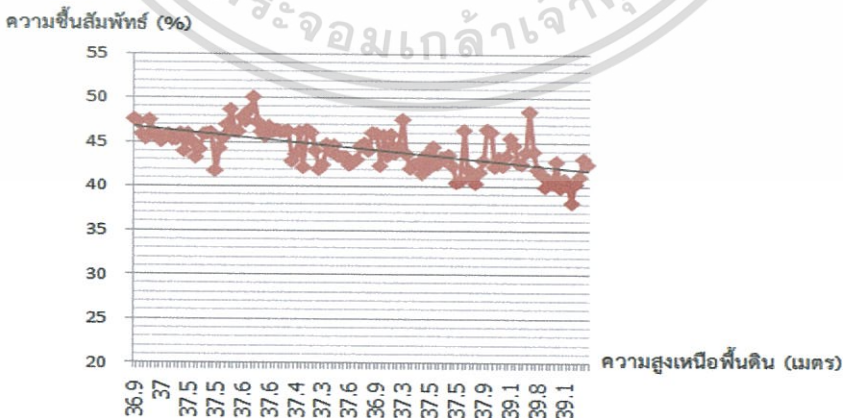
ในผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทำการตรวจวัดนั้นซึ่งแสดงกราฟที่อยู่ในรูปที่ 4.58 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสูงที่อุปกรณ์ตรวจวัดอ่านค่าจากโมดูล GPS แสดงในเส้นสีแดงซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 36 – 40 เมตรเหนือระดับพื้นดินและแสดงให้เห็นถึงความสูงที่อ่านค่าจากโมดูล BMP180 ซึ่งแสดงให้เห็นในกราฟรูปที่ 4.58 แทนด้วยเส้นสีน้ำเงินโดยความสูงที่ได้เป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางซึ่งความสูงทั้งสองค่าดังกล่าวสามารถทำการวัดได้ค่อนข้างคงที่ แต่ในบางกรณีที่มีความสูงที่วัดค่าได้จากโมดูล BMP180 มีความแตกต่างจากความสูงที่วัดค่าได้จาก GPS อยู่ในช่วงหนึ่ง อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบความสูงที่บอลลูนลอยขึ้นอยู่ชั้นบรรยากาศเหนือพื้นผิวโลกสามารถคำนวณได้จากความสูงจาก GPS และจากความกดอากาศดังนั้นบอลลูนจะลอยด้วยความสูงจากพื้นดินเฉลี่ยประมาณ 35.158 เมตรเท่านั้น



รูปที่ 4.58 กราฟเปรียบเทียบความสูงที่อ่านค่าจากโมดูล BMP180 และ โมดูล GPS

4.3.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และความสูง

จากผลการตรวจวัดระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับความสูงเหนือระดับพื้นผิวโลกซึ่งแสดงบนกราฟภายในรูปที่ 4.59 โดยจากกราฟแสดงให้เห็นถึงค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 38 -50 % หากพิจารณาแนวโน้มพบว่าเมื่อความสูงมากขึ้น ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลง ซึ่งสังเกตได้จากกราฟในรูปที่ 4.59 จากผลดังกล่าวทำให้พอสรุปในเบื้องต้นว่าในระดับความสูงมากขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าลดลง



รูปที่ 4.59 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์กับความสูงเหนือระดับพื้นผิวโลกจากอุปกรณ์ตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความสูง

จากข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งในส่วนนี้วิเคราะห์ผลค่าอุณหภูมิที่วัดได้เปรียบเทียบกับความสูงเหนือระดับพื้นดินซึ่งแสดงบนกราฟในรูปที่ 4.60 ซึ่งจากกราฟดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงระดับอุณหภูมิทำการตรวจวัดได้อยู่ในช่วงประมาณ 36 -39 องศาเซลเซียส โดยถ้าหากวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับระดับความสูงพบว่าเมื่อระดับความสูงมากขึ้น อุณหภูมิที่ทำการตรวจวัดมีค่ามากขึ้นซึ่งดูได้จากแนวโน้มจากกราฟในรูป 4.60 โดยที่สรุปผลในเบื้องต้นได้ว่า เมื่อระดับความสูงมากขึ้น ระดับอุณหภูมิมีค่ามากขึ้น จากผลการตรวจวัดเบื้องต้น



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงจากอุปกรณ์ตรวจวัด

จากการทดลองปล่อยบอลลู่นตรวจอากาศเบื้องต้นสามารถทดสอบการทำงานของระบบไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ภาคอากาศที่ทำงานปกติ ระบบติดตามตำแหน่ง APRS ระบบปลดترمชูชีพ ระบบการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศกับสถานีภาคพื้นดิน โดยทุกระบบสามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไว้ แต่ด้วยข้อผิดพลาดในการทดสอบจนทำให้บอลลู่นเกิดความเสียหายจนไม่สามารถยกอุปกรณ์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศได้ ทำให้ทดลองแต่ได้ตรวจวัดในระยะความสูงระดับหนึ่งเท่านั้นอย่างไรก็ตามค่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดได้นั้นมีข้อมูลเพียงเล็กน้อยอาจจะไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ผลทางอุตุนิยมวิทยาได้แต่อย่างไรก็ตามถือว่า ระบบบอลลู่นตรวจอากาศสามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

- ในส่วนของการทดสอบสถานีภาคพื้นดินเพื่อใช้สัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA ซึ่งสามารถรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียมได้เมื่อดาวเทียมโคจรผ่านพื้นที่ที่สถานีตั้งอยู่โดยจะทำการรับภาพอัตโนมัติหากมีดาวเทียมโคจรเข้ามาให้พื้นที่ที่รับสัญญาณได้โดยข้อมูลภาพรับได้มีทั้งภาพที่มีความคมชัด บางภาพมีสัญญาณรบกวน และบางภาพไม่สามารถแยกแยะองค์ประกอบได้เลยซึ่งปัจจัยของความคมชัดของข้อมูลภาพที่ได้รับขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิ ตำแหน่งของดาวเทียมที่โคจรผ่าน การบดบังจากตึกสูง ตำแหน่งติดตั้งสายอากาศ โดยรวมระบบสถานีภาคพื้นดินรับภาพจากดาวเทียมทำงานได้ตามวัตถุประสงค์

- ในส่วนของระบบบอลลูนตรวจอากาศซึ่งจัดทำในส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศและสถานีภาคพื้นดินซึ่งสามารถพัฒนาโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน้โอให้สามารถอ่านค่าจากเซนเซอร์และส่งค่ากลับมายังสถานีภาคพื้นดินได้โดยที่สถานีภาคพื้นดินพร้อมทั้งทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่ให้สถานีฐานภาคพื้นดินซึ่งสามารถแยกเฟรมข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ตรวจวัดภาคอากาศได้รวมทั้งสามารถส่งข้อมูลภาพถ่าย JPEG จากอุปกรณ์ตรวจวัดได้รวมทั้งระบบติดตามตำแหน่ง APRS สามารถทำงานได้

- ในส่วนของการทดลองปล่อยบอลลูนตรวจอากาศขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศจริงโดยก่อนที่จะทำการปล่อยนั้นได้ทำการทดสอบระบบทั้งหมดก่อนจะเริ่มปล่อยตั้งแต่ระบบรับส่งข้อมูลเซนเซอร์และภาพถ่าย ระบบปลดร่มชูชีพ และระบบติดตามตำแหน่ง APRS ซึ่งทุกระบบสามารถทำงานได้ตามปกติแต่ในขั้นตอนการปล่อยเกิดข้อผิดพลาดเนื่องจากบอลลูนที่บรรจุก๊าซฮีเลียมแตกส่งผลให้บอลลูนมีจำนวนแรงยกไม่เพียงพอจะนำอุปกรณ์ทั้งหมดขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ อย่างไรก็ตามสามารถวัดผลในระยะความสูงระยะประมาณ 30 เมตรเท่านั้นแต่โดยภาพรวมสามารถนำค่าจากเซนเซอร์ที่วัดได้มาวิเคราะห์เบื้องต้นและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของเซนเซอร์เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความสูงเบื้องต้นได้ซึ่งสังเกตได้ว่าเมื่อความสูงมากขึ้น ระดับอุณหภูมิจะมากขึ้น แต่ระดับความชื้นสัมพัทธ์และความกดอากาศมีแนวโน้มลดลงอย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงระดับ

ความสูงแค่ระยะ 3-6 เท่านั้น ซึ่งคาดว่าหากบอลลูนลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศได้จริงจะสามารถเห็นผลการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ได้อย่างชัดเจนมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในส่วนการจัดทำปริญญานิพนธ์นี้ทำให้ทราบถึงขั้นตอนทางทฤษฎีและขั้นตอนการทำงานส่วนต่างๆที่ใช้ในสถานีภาคพื้นดินที่รับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่กระบวนการติดตั้งสายอากาศ การติดตั้งโปรแกรมสำหรับประมวลผลรวมทั้งปรับรูปแบบให้ซอฟต์แวร์ทำงานร่วมกัน ตลอดจนได้สัญญาณภาพที่ถูกส่งมาจากดาวเทียม NOAA โดยข้อมูลภาพที่ได้รับมีทั้งภาพที่มีสัญญาณรบกวนน้อย และภาพที่เสียหายจนไม่สามารถแยกแยะรายละเอียดสลับกันไปขึ้นอยู่กับตำแหน่งของวงโคจรทั้งนี้สายอากาศติดตั้งไว้บริเวณดาดฟ้าตึกภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมซึ่งอาจจะโดนบดบังจะเสาโทรคมนาคม หรือตึกสูงในบริเวณรอบๆ หากต้องการจะรับสัญญาณได้ดียิ่งขึ้นควรติดตั้งสายอากาศไว้บริเวณที่ไม่มีการบดบังเช่น ดาดฟ้าตึก E-12 ซึ่งเป็นตึกสูงและไม่มีบดบังอาจจะทำให้รับสัญญาณได้ดีมากขึ้น

และในส่วนของการจัดทำระบบบอลลูนตรวจอากาศหลังจากที่ทำการทดลองระบบปล่อยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศจริงซึ่งในการทดลองเกิดอุบัติเหตุจนไม่สามารถปล่อยขึ้นสู่บรรยากาศจริงได้ ทำให้ทำได้แค่เพียงเก็บผลในระยะความสูงหนึ่งเท่านั้นโดยการทดสอบแต่ละครั้งค่อนข้างมีค่าใช้จ่ายสูงอันเนื่องมาจากก๊าซฮีเลียมที่มีราคาแพงรวมทั้งน้ำหนักของอุปกรณ์ที่มากเกินไปอย่างไรซึ่งในอนาคตหากสามารถนำผลข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นไปปรับปรุงแก้ไขในการทดลองต่อไปด้วยการลดน้ำหนักของอุปกรณ์ที่ติดตั้งกับบอลลูนฮีเลียมรวมทั้งเปลี่ยนจากการใช้บอลลูนหลายลูกให้ใช้เป็นบอลลูนขนาดใหญ่มากขึ้นและใช้เพียงลูกเดียว รวมทั้งก๊าซฮีเลียมที่มีปริมาตรมากขึ้นอันจะช่วยให้บอลลูนสามารถมีแรงยกอุปกรณ์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้นพร้อมทั้งการเตรียมพร้อมทั้งบุคลากรและระบบจะยิ่งช่วยให้การทดลองมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] Bruno Pattan. *Satellite systems : principles and technologies*. New York : Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [2] Anil K. Maini, Varsha Agrawal. *Satellite technology : principles and applications*. Chichester : John Wiley, 2007.
- [3] Wilfried Ley, Klaus Wittmann, Willi Hallmann. *Handbook of space technology*. Chichester : John Wiley, 2009.
- [4] ชนาทิพย์ มงคล, ชนายนนท์ จินามา, ชาลิสสา เวชพานิช “ระบบรับสัญญาณดาวเทียม NOAA ในโหมด APT ด้วยเทคโนโลยีวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ และการประยุกต์ใช้งานสำหรับหาค่าความหนาแน่นของเมฆ = NOAA satllites in APT mode receiver system based on SDR technology and application for cloud density estimation”.ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง 2556.
- [5] แหล่งเรียนรู้กรมอุตุนิยมวิทยา. ‘ระบบวิทยุห้วงอากาศ.’
http://fieldtrip.ipst.ac.th/intro_sub_content.php?content_id=9&content_folder_id=116
- [6] Randy Culp. ‘Parachute Descent Calculations.’
<http://www.rocketmime.com/rockets/descent.html>
- [7] Hawaii University. ‘Balloon Lift with Lighter than Air Gases.’
<http://www.chem.hawaii.edu/uham/lift.html>
- [8] Nice RF. ‘APC220 Transceiver Module.’
http://www.dfrobot.com/image/data/TEL0_0_0_5_/APC2_2_0_Datasheet.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOURCECODE สำหรับ Arduino ตัวที่ 1

ARDUINO#1 CODE

```
#include <EEPROM.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include<SPI.h>
#include <SD.h>
int rescue = 0;
int Con = 0;
int Gu = 0;
int x = 0;
long int P = 0;
int addr = 0;
int val = 0;
SoftwareSerial mySerial1(6, 7);//forCamera
SoftwareSerial mySerial2(5, 4);
SoftwareSerial SIM900(9, 10);//forReceiver
uint32_t timer = millis();
uint32_t timer2 = millis();
uint32_t timer3 = millis();
uint32_t timersms = millis();
int order = 0;
String Data = "ssssssssssssssssssssssssssssssssssssssssssssssssssssssss";
byte value;
File myFile;
const int chipSelect = 8;
byte incomingbyte;
int a = 0x0000, j = 0, k = 0, count = 0; //Read Starting address
uint8_t MH, ML;
boolean EndFlag = 0;
void SendResetCmd();
void SendTakePhotoCmd();
void SendReadDataCmd();
void StopTakePhotoCmd();
void changeBaud();
void send_pic();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void camara_setup(int);
void readbit();
void readsize();
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  mySerial2.begin(9600);
  mySerial1.begin(38400);
  delay(500);
  Serial.println("SYSTEM SET UP");
  Serial.print("Initializing SD card...");
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("initialization failed!"); }
  delay(500);
  Serial.println("SYSTEM READY");
  delay(500);
  timer2 = millis();
  timer3 = millis();
  value = EEPROM.read(addr);
  timersms = millis();
void loop() {
  while (Serial.available() > 0)
  { order = Serial.parseInt(); }
  if (order == 200) {
    Serial.println("200TAKEPICTURE");
    send_pic();
    order = 0;
    Serial.println();
    timer = millis();
    while (Serial.available() > 0 && ((order == 0) || (order == 200)) && (order != 100) )
    { order = Serial.parseInt();}
    order = 0; }
  if (order == 100) { Gu = 1;
    timer = millis();
    order = 0;}
  if (Gu == 1 && millis() - timer3 > 3000)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{mySerial2.begin(9600);
  delay(50);
  mySerial2.print(100);
  timer3 = millis();
  char incomingbyte;
  Data = "";
  delay(100);
  timer3 = millis();
  while (millis() - timer3 < 7500) {
    if (mySerial2.available() > 0)
      {incomingbyte = mySerial2.read();
        Data = Data + incomingbyte;
        Serial.print(incomingbyte); } }
  Serial.println();
  mySerial2.end();
  myFile = SD.open("DATALOGING.jpg", FILE_WRITE);
  timer3 = millis(); }
if (order == 201) {
  mySerial1.begin(38400);
  camara_setup(1);
  order = 0;
  timer = millis();}
if (order == 202) {
  mySerial1.begin(38400);
  camara_setup(2);
  order = 0;
  timer = millis(); }
if (order == 203) {
  mySerial1.begin(38400);
  camara_setup(3);
  order = 0;
  timer = millis(); }

if (order == 204) { mySerial1.begin(38400);
  readsize(); order = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

timer = millis();}
if (order == 205) {
  mySerial1.begin(38400);
  readbit(); timer = millis(); order = 0; }
if (order == 300)
{ mySerial2.println("300"); order = 0; timer = millis(); }
if (millis() - timersms > 300000 || order == 191)
{
  SMS();
  order = 0;
  timersms = millis();
}
if (millis() - timer > 1800000 || order == 600 )
{ Serial.println("300"); order = 0;
}
if (millis() - timer2 > 420000 || order == 700) {
  timer2 = millis();
  order = 0;
} delay(10);}
void send_pic(void) {
  while(!EndFlag)
  { j=0;
    k=0;
    count=0;
    SendReadDataCmd();
    delay(100);
    while(mySerial1.available(>0)
    {
      incomingbyte=mySerial1.read();
      k++;
      if((k>5)&&(j<32)&&(!EndFlag))
      {b[j]=incomingbyte;
        if((b[j-1]==0xFF)&&(b[j]==0xD9))
        EndFlag=1;
        j++;count++;}}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(j=0;j<count;j++){Serial.write(b[j]);}
for(int ii=0;ii<count;ii++)
myFile.write(b[ii]);
    delay(50);
mySerial1.begin(38400);
P = 0;
EndFlag = 0;
a = 0x0000;
byte b[32];
int ii;
delay(4000);           //Wait 2-3 second to send take picture command
SendTakePhotoCmd();
while (mySerial1.available() > 0) {
incomingbyte = mySerial1.read();}
myFile = SD.open(PIC_NAME, FILE_WRITE); //<strong><span style="color: #ff0000;">The file name
should not be too long</span></strong>
while (!EndFlag)
{j = 0;k = 0;count = 0;SendReadDataCmd();
delay(250); //250 for regular
while (mySerial1.available() > 0){
incomingbyte = mySerial1.read();
k++;
if ((k > 5) && (j < 32) && (!EndFlag))
{b[j] = incomingbyte;
if ((b[j - 1] == 0xFF) && (b[j] == 0xD9)) //tell if the picture is finished
EndFlag = 1;
j++;
count++;}}

for (j = 0; j < count; j++)
{Serial.write(b[j]);
P++;}
Serial.print("Finish pic : ");
Serial.print(P);
Serial.println();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay(2000);
mySerial1.end();
}
void camara_setup(int C1)
{ mySerial1.begin(38400);
  SendResetCmd();
  mySerial1.write(0x56);
  mySerial1.write((byte)0);
  mySerial1.write(0x31);
  mySerial1.write(0x05);
  mySerial1.write(0x04);
  mySerial1.write(0x01);
  mySerial1.write((byte)0);
  mySerial1.write(0x19);
  if (C1 == 1)
  {320*240
    mySerial1.write(0x11);
    Serial.println("Change to 320*240");
  } else if (C1 == 2) {
    mySerial1.write((byte)0);
    Serial.println("Change to 640*480");
  }
  else if (C1 == 3) { //160*120
    mySerial1.write(0x22);
    Serial.println("Change to 160*120");
    mySerial1.end();}
}
void SendResetCmd()
{mySerial1.write(0x56);
  mySerial1.write((byte)0);
  mySerial1.write(0x26);
  mySerial1.write((byte)0);}
void SendTakePhotoCmd()
{mySerial1.write(0x56);
  mySerial1.write((byte)0);
  mySerial1.write(0x36);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mySerial1.write(0x01);
mySerial1.write((byte)0);}
void SendReadDataCmd()
{MH = a / 0x100;
ML = a % 0x100;
mySerial1.write(0x56);
mySerial1.write((byte)0);
mySerial1.write(0x32);
mySerial1.write(0x0c);
mySerial1.write((byte)0);
mySerial1.write(0x0a);
mySerial1.write((byte)0);
mySerial1.write((byte)0);
mySerial1.write(MH);
mySerial1.write(ML);
mySerial1.write((byte)0);
mySerial1.write((byte)0);
mySerial1.write((byte)0);
mySerial1.write(0x20);
mySerial1.write((byte)0);
mySerial1.write(0x0a);
a += 0x20;
}
void StopTakePhotoCmd()
{mySerial1.write(0x56);
mySerial1.write((byte)0);
mySerial1.write(0x36);
mySerial1.write(0x01);
mySerial1.write(0x03);
}
void readsize()
{Serial.println("");
int L = 1;
byte B[32];
mySerial1.write(0x56);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mySerial1.write((byte)0);
mySerial1.write(0x34);
mySerial1.write(0x01);
mySerial1.write((byte)0);
delay(100);
while (L <= 9) {
  while (mySerial1.available() > 0)
  {incomingbyte = mySerial1.read();
  Serial.print(incomingbyte, HEX);
  Serial.print(" ");
  L++;}}
Serial.println("");
void readbit()
{Serial.println("Readbit");
P = 0;
EndFlag = 0;
a = 0x0000;
byte j1[32];
while (!EndFlag){
  j = 0;
  k = 0;
  count = 0;
  SendReadDataCmd();
  delay(50);
  while (mySerial1.available() > 0){
    incomingbyte = mySerial1.read();
    k++;
    if ((k > 5) && (j < 32) && (!EndFlag)){
      j1[j] = incomingbyte;
      if ((j1[j] - 1) == 0xFF) && (j1[j] == 0xD9))
        EndFlag = 1;
      j++;
      count++;}}
  for (j = 0; j < count; j++){x++;}
  delay(100);}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print("num :");
Serial.print(P);}
void SMS(void){
  mySerial1.end();
  mySerial2.end();
  SIM900.begin(2400);
  delay(100);
  SIM900.println("AT+CMGF=1\r");
  Serial.println("Start Sending");
  Serial.println(Data);// AT command to send SMS message
  delay(500);
  SIM900.println("AT + CMGS = \"0919891542\"");
  SIM900.println(String(Data)); // message to send
  delay(500);
  SIM900.println((char)26); // End AT command with a ^Z, ASCII code 26
  delay(500);
  SIM900.println();
  delay(400);
  while (SIM900.available() > 0)
  { Serial.write(SIM900.read());
  } delay(1000);
  SIM900.end();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOURCECODE สำหรับ Arduino Pro Mini ตัวที่ 2

ARDUINO#2 CODE

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>
#include <Adafruit_GPS.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include "DHT.h"
#include <Servo.h>

int ac1;
int ac2;
int ac3;
unsigned int ac4;
unsigned int ac5;
unsigned int ac6;
int b1;
int b2;
int mb;
int mc;
int md;
long b5;
int pos = 0;
int Alt=0;
int rescue=0;
int Con=0;
int Gu=0;
int x=0;
long int P=0;
Servo myservo;
SoftwareSerial mySerial(9, 8);//GPS
SoftwareSerial mySerial1(6, 7);//forCamera
SoftwareSerial mySerial2(13, 12);
Adafruit_GPS GPS(&mySerial);
#define GPSECHO true
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(12345);
#define DHTPIN 11
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
#define BMP085_ADDRESS 0x77
const unsigned char OSS = 0;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
uint32_t timer = millis();
uint32_t timer2= millis();
uint32_t timerAPRS= millis();
int order=0;
byte incomingbyte;
int a=0x0000,j=0,k=0,count=0; //Read Starting address
uint8_t MH,ML;
boolean EndFlag=0;
void setup() {
  GPS.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
  mySerial1.begin(38400);
  delay(500);
  delay(500);
  myservo.write(40);
  Serial.println("SYSTEM SET UP");
  dht.begin();
  if(!accel.begin())
    {Serial.println("ADXL345 detected"); }
  delay(5000);
  GPS.begin(9600);
  GPS.sendCommand(PMTK_SET_NMEA_OUTPUT_RMCGGA);
  GPS.sendCommand(PMTK_SET_NMEA_UPDATE_1HZ);
  GPS.sendCommand(PGCMD_ANTENNA);
  delay(1000);
  mySerial1.println(PMTK_Q_RELEASE);
  while(GPS.fix)
  set_gps();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Wire.begin();
bmp085Calibration();
delay(500);
Serial.println("SYSTEM READY");
delay(500);
}void loop() {
    while(Serial.available(>0)
{order = Serial.parseInt();}
if(order==200){
Serial.println("Take picture");
send_pic();
order=0;
Serial.println();
timer2= millis();
rescue =0;}
if(order == 100){
Gu=1;
timer2= millis();
order=0;
}
if(Gu==1 ){
    Serial.print("KMITL");
readdht();
    readaccel();
GPS.fix=0;
while(!GPS.fix)
readgps();
readbarometer();
Serial.println();
delay(1200);
Gu=1;
}
if(order==400){
set_gps(); order=0; }
if(order==401){

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GPS.fix=0;
while(!GPS.fix)
set_gps(); order=0; }
if(order==300)
{
order=0;}
if(Alt>=1000 && rescue == 0){
SERVO_CONTROL();
order=0;
timer2= millis();
rescue =1;
Con++;
}
if(millis()-timer2 > 300000 || rescue == 2)
{
SERVO_CONTROL();
order=0;}
if(GPS.altitude>1000 || rescue==3){
SERVO_CONTROL();
timer2= millis();
order=0; }
/////////H86545>APRSTH,WIDE1-1:=1346.99N\10024.55E>
if(millis()-timerAPRS >30000 || order==700)
{
float a=GPS.altitude*3.28;
int a1=int(a);
String Str1 = String(GPS.latitude, 2)+String(GPS.lat);
String Str2 = String(GPS.longitude, 2)+String(GPS.lon);
// String Str3 = "}E29AJP-11>APOTU0-0,WIDE1-1,WIDE2-1:!" +Str1+"\\"+Str2+">";
String Str4 ;
if(a<100000)
Str4 = "A=0"+String(a1);
if(a<10000)
Str4 = "A=00"+String(a1);
if(a<1000)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Str4 = "A=000"+String(a1);
if(a<100)
Str4 = "A=0000"+String(a1);
if(a<10)
Str4 = "A=00000"+String(a1);
String Str3 = "}E29AJP-11>APOTU0-0,WIDE1-1,WIDE2-1:!" +Str1+"\\\\"+Str2+">" +Str4;
mySerial2.println(Str3);
Serial.println(Str3);
delay(500);
timerAPRS = millis();
order=0;  }
}
void readdht(void){
dht.begin();
float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature();
if (isnan(t) || isnan(h)) {
h=0; t=0;
Serial.print(",");
Serial.print(h);
Serial.print(",");
Serial.print(t);
// Serial.println("Failed to read from DHT");
} else {
//Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(",");
Serial.print(h);
//Serial.print(" %\t");
//Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(",");
Serial.print(t);
//Serial.println(" *C");} }
void readaccel(void)
{sensors_event_t event;
accel.getEvent(&event);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print(",");
Serial.print(event.acceleration.x);
Serial.print(",");
Serial.print(event.acceleration.y);
Serial.print(",");
Serial.print(event.acceleration.z);
    }
void readgps(void)
{
    while(!GPS.fix){
char c = GPS.read();
if ((c) && (GPSECHO))
// Serial.write(c);
if (GPS.newNMEAreceived()) {
if (!GPS.parse(GPS.lastNMEA()))
return;
}
if (timer > millis()) timer = millis();
if (millis() - timer > 1000) {
timer = millis();}
}
if(GPS.fix){
Serial.print(",");
Serial.print(GPS.latitude, 4); Serial.print(GPS.lat);
Serial.print(",");
Serial.print(GPS.longitude, 4); Serial.print(GPS.lon);
Serial.print(",");
Serial.print(GPS.speed);
Serial.print(",");
Serial.print((int)GPS.altitude);
Serial.print(",");
Serial.print((int)GPS.satellites);}else{Serial.print(",0,0,0,0,0"); }

}
void readbarometer(void)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float temperature = bmp085GetTemperature(bmp085ReadUT()); //MUST be called first
float pressure = bmp085GetPressure(bmp085ReadUP());
float atm = pressure / 101325; // "standard atmosphere"
float altitude = calcAltitude(pressure); //Uncompensated caculation - in Meters
Serial.print(",");
// Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(temperature, 2); //display 2 decimal places
// Serial.println("deg C");
// Serial.print("Pressure: ");
Serial.print(",");
Serial.print(pressure, 0); //whole number only.
// Serial.println(" Pa");
//Serial.print("Standard Atmosphere: ");
Serial.print(",");
Serial.print(atm, 4);
//display 4 decimal places
// Serial.print("Altitude: ");
Serial.print(",");
Serial.print(altitude, 2);
Alt =altitude;
//display 2 decimal places
// Serial.println(" M");

// Serial.println();//line break
// delay(1000); //wait a second and get values again.
}

void bmp085Calibration()
{
ac1 = bmp085ReadInt(0xAA);
ac2 = bmp085ReadInt(0xAC);
ac3 = bmp085ReadInt(0xAE);
ac4 = bmp085ReadInt(0xB0);
ac5 = bmp085ReadInt(0xB2);
ac6 = bmp085ReadInt(0xB4);
b1 = bmp085ReadInt(0xB6);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

b2 = bmp085ReadInt(0xB8);
mb = bmp085ReadInt(0xBA);
mc = bmp085ReadInt(0xBC);
md = bmp085ReadInt(0xBE);
}
// Calculate temperature in deg C
float bmp085GetTemperature(unsigned int ut){
    long x1, x2;
    x1 = (((long)ut - (long)ac6)*(long)ac5) >> 15;
    x2 = ((long)mc << 11)/(x1 + md);
    b5 = x1 + x2;
    float temp = ((b5 + 8)>>4);
    temp = temp /10;
    return temp;
}
// Calculate pressure given up
// calibration values must be known
// b5 is also required so bmp085GetTemperature(...) must be called first.
// Value returned will be pressure in units of Pa.
long bmp085GetPressure(unsigned long up){
    long x1, x2, x3, b3, b6, p;
    unsigned long b4, b7;
    b6 = b5 - 4000;
    // Calculate B3
    x1 = (b2 * (b6 * b6)>>12)>>11;
    x2 = (ac2 * b6)>>11;
    x3 = x1 + x2;
    b3 = (((((long)ac1)*4 + x3)<<O5S) + 2)>>2;
    // Calculate B4
    x1 = (ac3 * b6)>>13;
    x2 = (b1 * ((b6 * b6)>>12))>>16;
    x3 = ((x1 + x2) + 2)>>2;
    b4 = (ac4 * (unsigned long)(x3 + 32768))>>15;
    b7 = ((unsigned long)(up - b3) * (50000>>O5S));
    if (b7 < 0x80000000)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    p = (b7<<1)/b4;
else
    p = (b7/b4)<<1;
x1 = (p>>8) * (p>>8);
x1 = (x1 * 3038)>>16;
x2 = (-7357 * p)>>16;
p += (x1 + x2 + 3791)>>4;

long temp = p;
return temp;
}
// Read 1 byte from the BMP085 at 'address'
char bmp085Read(unsigned char address)
{
    unsigned char data;
    Wire.beginTransmission(BMP085_ADDRESS);
    Wire.write(address);
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(BMP085_ADDRESS, 1);
    while(!Wire.available())
        ;
    return Wire.read();
}
// Read 2 bytes from the BMP085
// First byte will be from 'address'
// Second byte will be from 'address'+1
int bmp085ReadInt(unsigned char address)
{
    unsigned char msb, lsb;
    Wire.beginTransmission(BMP085_ADDRESS);
    Wire.write(address);
    Wire.endTransmission();

    Wire.requestFrom(BMP085_ADDRESS, 2);
    while(Wire.available(<2) ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

msb = Wire.read();
lsb = Wire.read();
return (int) msb<<8 | lsb;
}
// Read the uncompensated temperature value
unsigned int bmp085ReadUT(){
    unsigned int ut;
    // Write 0x2E into Register 0xF4
    // This requests a temperature reading
    Wire.beginTransmission(BMP085_ADDRESS);
    Wire.write(0xF4);
    Wire.write(0x2E);
    Wire.endTransmission();
    // Wait at least 4.5ms
    delay(5);
    // Read two bytes from registers 0xF6 and 0xF7
    ut = bmp085ReadInt(0xF6);
    return ut;
}
// Read the uncompensated pressure value
unsigned long bmp085ReadUP(){
    unsigned char msb, lsb, xlsb;
    unsigned long up = 0;
    // Write 0x34+(OSS<<6) into register 0xF4
    // Request a pressure reading w/ oversampling setting
    Wire.beginTransmission(BMP085_ADDRESS);
    Wire.write(0xF4);
    Wire.write(0x34 + (OSS<<6));
    Wire.endTransmission();
    // Wait for conversion, delay time dependent on OSS
    delay(2 + (3<<OSS));
    // Read register 0xF6 (MSB), 0xF7 (LSB), and 0xF8 (XLSB)
    msb = bmp085Read(0xF6);
    lsb = bmp085Read(0xF7);
    xlsb = bmp085Read(0xF8);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

up = (((unsigned long) msb << 16) | ((unsigned long) lsb << 8) | (unsigned long) xlsb) >> (8-OSS);
return up;
}

void writeRegister(int deviceAddress, byte address, byte val) {
  Wire.beginTransmission(deviceAddress); // start transmission to device
  Wire.write(address); // send register address
  Wire.write(val); // send value to write
  Wire.endTransmission(); // end transmission
}

float calcAltitude(float pressure){
  float A = pressure/101325;
  float B = 1/5.25588;
  float C = pow(A,B);
  C = 1 - C;
  C = C /0.0000225577;
  return C;
}

void set_gps(){
  while(!GPS.fix){
    char c = GPS.read();
    if ((c) && (GPSECHO))
      Serial.write(c);
    if (GPS.newNMEAreceived()) {
      if (!GPS.parse(GPS.lastNMEA()))return;}
    if (timer > millis()) timer = millis();
    if (millis() - timer > 2000) {
      timer = millis();
      Serial.print("\nTime: ");
      Serial.print(GPS.hour, DEC); Serial.print(':');
      Serial.print(GPS.minute, DEC); Serial.print(':');
      Serial.print(GPS.seconds, DEC); Serial.print('.');
      Serial.print("Date: ");
      Serial.print(GPS.day, DEC); Serial.print('/');
      Serial.print(GPS.month, DEC); Serial.print("/20");
      Serial.println(GPS.year, DEC);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Serial.print("Fix: "); Serial.print((int)GPS.fix);  
Serial.print(" quality: "); Serial.println((int)GPS.fixquality); }  
if (GPS.fix) {  
Serial.print("Location: ");  
Serial.print(GPS.latitude+29.1199, 4); Serial.print(GPS.lat);  
Serial.print(", "); Serial.print(GPS.longitude+31.035, 4); Serial.println(GPS.lon);  
Serial.print("Speed (knots): "); Serial.println(GPS.speed);  
Serial.print("Angle: "); Serial.println(GPS.angle);  
Serial.print("Altitude: "); Serial.println(GPS.altitude);  
Serial.print("Satellites: "); Serial.println((int)GPS.satellites); } }delay(500);
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้