



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาระบบการตรวจอากาศชั้นบนเพื่อใช้ในการทำฝนหลวง
Improvement of Upper-Air Observation System for Rainmaking

ประเภททุน ทุนพัฒนานักวิจัย รหัสโครงการ KREF046009

นายปราโมทย์ วาดเขียน
นายพีระเมศร์ โชติกวิกิจญาดา

ได้รับการสนับสนุนเงินวิจัยจาก กองทุนวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาระบบการตรวจอากาศชั้นบนเพื่อใช้ในการทำฝนหลวง
 แหล่งเงิน กองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ประจำปีงบประมาณ 2560 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 500,000 บาท
 ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ธ.ค. 60 ถึง 30 พ.ย. 61
 ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
 รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาโทรคมนาคม
 ดร.พีระเมศร์ โชติภักดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาโทรคมนาคม

บทคัดย่อ

ประเทศไทยนับว่าเป็นประเทศที่ส่งออกผลิตผลทางการเกษตรอันดีต้นๆของโลก แต่ในทุกๆปีกลับพบว่าเราเสียโอกาสในการส่งออกผลิตผลต่างๆเหล่านั้นเนื่องด้วยปัญหาภัยแล้งในหลายจังหวัด ในปี 2017-2018 มีถึง 47 พื้นที่ทั่วประเทศที่เผชิญปัญหาภัยแล้ง เมื่อคิดเป็นขนาดพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 6 พันตารางกิโลเมตร ที่ไม่มีน้ำเพื่อการเจริญเติบโตของผลิตผลทางการเกษตร แต่ถ้ามองในภูมิศาสตร์ของประเทศไทยนั้นอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรซึ่งจะมีปริมาณน้ำฝนเยอะกว่าภูมิภาคอื่นๆ แต่ปัญหาภัยแล้งยังคงเกิดขึ้นและต่อเนื่องในทุกๆปี ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นอาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพทางสภาพอากาศอย่างเดียว แต่ปัญหาคือการบริหารจัดการน้ำและการพยากรณ์อากาศล่วงหน้าของประเทศไทย กรมอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศไทยไม่มีการลงทุนทางด้านโครงสร้างพื้นฐานเกี่ยวกับระบบเซ็นเซอร์และระบบตรวจวัดและติดตามสภาพอากาศเพื่อการพยากรณ์อย่างเพียงพอ ทำให้ระบบการพยากรณ์สภาพอากาศล่วงหน้าของประเทศไทยจึงไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นวิธีการบรรเทาภัยแล้งในพื้นที่ต่างๆในปัจจุบันคือการทำฝนหลวง ในงานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาระบบตรวจสอบสภาพอากาศเพื่อตรวจสอบความพร้อมก่อนการทำฝนหลวง เพื่อให้มีองค์ความรู้ในการผลิตอุปกรณ์เหล่านี้ในประเทศและเพื่อลดการนำเข้าอุปกรณ์ที่มีราคาแพง

คำสำคัญ : การทำฝนหลวง, ระบบสังเกตการณ์สภาพอากาศ, สถานีภาคพื้นดิน

Research Title: Improvement of Upper-Air Observation System for Rainmaking

Researcher: Dr.Paramote Wardkein, Dr.Peeramed Chodkaveekityada

Faculty: Engineering

Department: Telecommunication

ABSTRACT

Thailand has been known as a top agricultural exporter in the world. But in every year, we miss a lot of opportunities to export some agricultural products due to drought condition. In the years 2017 and 2018, the areas in risk of a drought crisis were 47 areas throughout the whole country amounting to around 1.5 million acres. There was not enough water to grow plants in these areas. As a matter of fact, Thailand is located near the equator which has more cumulative rainfall volume than any other areas in the world. Still, drought crisis happens every year. One of the reasons behind this may be lack of valid predictive information. Weather information is very important for an agricultural country. Thailand has not invested sufficiently in building an effective weather sensor network. A compromise has been made by employing high technology to produce rain in specific areas instead to alleviate drought crisis. This work was a design and development of a high-and-low-altitude air observation system suitable for rainmaking process in Thailand that aimed to reduce the import of advanced and expensive technology.

Keywords : Rainmaking, high-and-low altitude air observation, ground station

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากทุนพัฒนานักวิจัยใหม่ กองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560



รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน
ดร.พีระเมศร์ โชติกวีกิจญาดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	7
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	7
3.2 ตารางการวิจัย.....	7
3.3 ตารางผลงานในแต่ละช่วงเวลา.....	8
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	9
4.1 ระบบเซ็นเซอร์.....	9
4.2 ระบบพลังงานไฟฟ้า.....	18
4.3 ระบบการสื่อสารและการจัดการข้อมูล.....	18
4.4 ระบบทางกลไก.....	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 ทฤษฎีพื้นฐานและการประยุกต์ใช้งานสายอากาศ.....	23
4.6 การทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ.....	30
4.7 การทดสอบโดยการใช้งานจริง.....	34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	39
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก เอกสารผลงานวิจัย.....	43
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....	59
ประวัตินักวิจัย	61

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 คำอธิบาย PIN ของ GPS GY-NEO6MV2 Module.....	11
4.2 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลตามมาตรฐานของ NMEA.....	13
4.3 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลประเภท GGA.....	13
4.4 แสดงค่า Fix Indicator.....	14
4.5 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลประเภท GLL.....	14
4.6 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลประเภท GSA.....	15
4.7 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลประเภท GSV.....	15
4.8 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลประเภท RMC.....	16
4.9 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลประเภท VTG.....	17
4.10 คุณลักษณะเด่นของ Arduino Pro Mini 328.....	19
4.11 ย่านความถี่และความยาวคลื่น.....	24
4.12 เปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์โมดูล GY-BMEP 280 กับค่าที่วัดจาเทอร์โมมิเตอร์ (อ้างอิง) ในสภาพแวดล้อม 3 สภาวะ.....	30
4.13 ค่าเปรียบเทียบระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลกลางที่เปลี่ยนแปลงไปได้ค่าจาก GPS และที่ได้จากค่าความดัน.....	32
4.14 ค่าแรงดันจาก Power Voltage Sensor และ แหล่งจ่ายไฟ.....	34

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 สถานีตรวจวัดสภาพอากาศสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง.....	2
2.1 บล็อกไดอะแกรมในส่วนภาคส่ง.....	5
2.2 บล็อกไดอะแกรมในส่วนภาครับ.....	5
4.1 โมดูล BME280.....	10
4.2 GPS GY-NEO6MV2 Module.....	11
4.3 ตัวอย่างประโยค NMEA และความหมายของข้อมูลแต่ละส่วนในประโยค.....	12
4.4 เซนเซอร์โมดูล GY-9250.....	17
4.5 แบตเตอรี่ Li-ion 9 V (800 mAh).....	18
4.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Pro mini 328.....	19
4.7 Micro SD card SanDisk 8 GB.....	19
4.8 ร่มชูชีพแบบ Semi-Spherical.....	20
4.9 ร่มชูชีพแบบ parapent.....	20
4.10 ร่มชูชีพแบบ Flat parachute.....	21
4.11 ร่มชูชีพแบบ Cross.....	21
4.12 การกระทำของแรงขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่ลง.....	23
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความยาวคลื่น.....	24
4.14 ค่าสัญญาณบิตข้อมูลจาก โมดูลGY-BMEP280.....	30
4.15 ค่าสัญญาณบิตข้อมูลจาก โมดูลGY-BMEP280 (ค่าอุณหภูมิ).....	31
4.16 สัญญาณบิตข้อมูลจาก โมดูลGY-BMEP280 (ค่าความดัน).....	31
4.17 ค่าสัญญาณบิตข้อมูลจาก โมดูล GY-NEO6MV2.....	32
4.18 การวัดค่าของแหล่งจ่ายไฟโดยใช้ Power Voltage.....	33
4.19 ผลการเปรียบเทียบเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความดันระหว่างอุปกรณ์ตรวจอากาศที่จัดทำขึ้น กับอุปกรณ์ตรวจอากาศที่ใช้งานจริง.....	35
4.20 การทดสอบการใช้งานจริงของอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ ณ สถานีเรดาร์ฝนหลวงตาคี จ.นครสวรรค์.....	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.21 ผลการเปรียบเทียบเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความดันและความชื้นระหว่างอุปกรณ์ตรวจอากาศที่จัดทำขึ้น กับอุปกรณ์ตรวจอากาศที่ใช้งานจริง.....	38
4.21 การทดสอบการใช้งานจริงของอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ ณ สถานีเรดาร์ฝนหลวงพินาย จ.นครราชสีมา.....	38



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

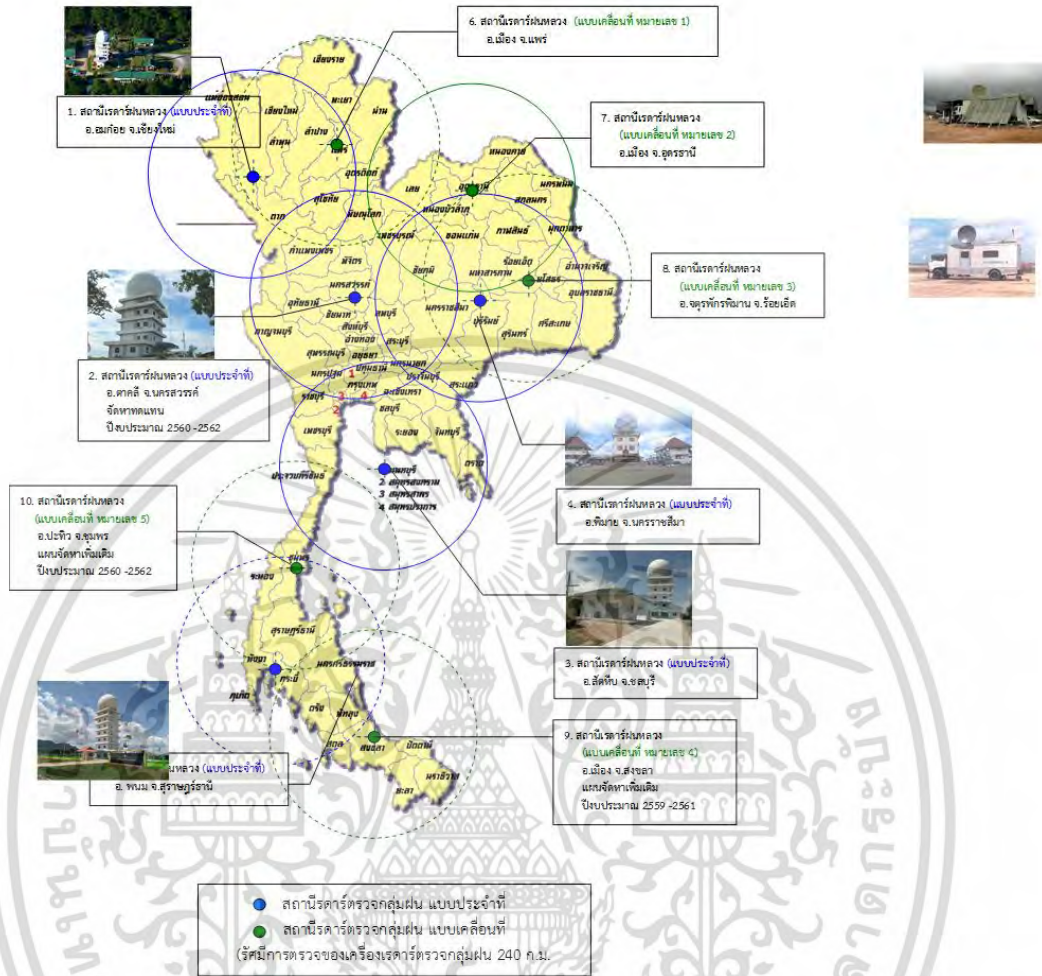
ในปัจจุบันโครงการในพระราชดำริ “ฝนหลวง” นั้นมีประโยชน์ต่อประเทศชาติอย่างมาก เนื่องจากสามารถช่วยแก้ปัญหาภัยแล้งให้กับประชาชน โดยเฉพาะเกษตรกร ชาวสวน ชาวไร่ให้มีน้ำเพียงพอในการใช้ทำการเกษตรตลอดทั้งปี

โดยขั้นตอนในการทำฝนหลวงนั้นจะต้องมีการศึกษาและตรวจวัดสภาพอากาศในพื้นที่ที่ต้องการก่อนปฏิบัติการทำฝนหลวง ซึ่งข้อมูลสภาพอากาศต่างๆเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการปฏิบัติการในแต่ละครั้งให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด จากการศึกษาที่ได้นำไปหารือกับผู้ปฏิบัติการในกรมฝนหลวงพบว่า ขั้นตอนปกติในการปฏิบัติการตรวจวัดสภาพอากาศ ก็จะใช้วิทยุห้อยอากาศ (Radiosonde) ติดกับบอลลูนและร่มชูชีพ ปล่อยขึ้นจากทางสายอากาศขนาดใหญ่ โดยเซ็นเซอร์ที่ติดอยู่กับเครื่องห้อยอากาศนั้น มีแค่ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และความดัน เท่านั้น และเครื่องห้อยอากาศนี้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ราคาเครื่องละประมาณ 17,000 บาท

ในการปฏิบัติการตรวจวัดสภาพอากาศแต่ละครั้ง อุปกรณ์วิทยุห้อยอากาศจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากต้องลอยสูงถึงกว่า 30 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน จนกว่าบอลลูนจะแตก เครื่องวิทยุห้อยอากาศนี้ถึงจะตกลงมาโดยมีร่มชูชีพช่วยลดความเร็ว บางครั้งอาจจะโดนกระแสลมพัดไปไกลกว่า 300 กิโลเมตรจากฐานที่ปล่อย

ระบบการตรวจวัดอากาศชั้นบนของประเทศไทยสำหรับภารกิจฝนหลวงมีอยู่ทั้งหมด 10 สถานีตามสถานีที่มีเครื่องวัดเรดาร์ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยปกติจะปล่อยบอลลูนเพื่อตรวจวัดสภาพอากาศวัดละครั้ง ซึ่งตามหลักสากลแล้วจะต้องทำการตรวจวัดสภาพอากาศวันละ 2 ครั้ง แต่เนื่องด้วยราคาเครื่องวิทยุห้อยอากาศที่มีราคาสูงทำให้ประเทศไทยทำการตรวจวัดสภาพอากาศได้แค่วันละครั้ง

ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงขอเสนอ ระบบการตรวจวัดสภาพอากาศชั้นบนที่สามารถสร้างเองในประเทศ ระบบมีขนาดเล็กและง่ายในการติดตั้ง โดยจะพัฒนาโดยใช้สายอากาศขนาดเล็กมีระบบขับเคลื่อนและติดตามเครื่องวัดสภาพอากาศอัตโนมัติ รวมไปถึงในตัวเครื่องวัดสภาพอากาศจะมีการเพิ่มเติมระบบเซ็นเซอร์ให้มีความหลากหลายและสามารถระบุตัวตนได้ และมีกลไกในการปล่อยเครื่องวัดสภาพอากาศในระดับความสูงต่างๆเพื่อที่จะสามารถกู้คืนกลับมาใช้ใหม่ได้ เมื่ออุปกรณ์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การปล่อยบอลลูนหลายๆลูกในภารกิจเดียวก็จะทำให้ได้ข้อมูลสภาพอากาศที่ละเอียดยิ่งขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการปฏิบัติการฝนหลวงหรือกิจกรรมอื่นๆที่ต้องใช้ข้อมูลสภาพอากาศ



รูปที่ 1.1 สถานีตรวจวัดสภาพอากาศสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1). ศึกษา ออกแบบ พัฒนา และสร้างเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศให้สามารถใช้งานได้ในประเทศไทย
- (2). พัฒนาระบบติดตามสายอากาศสำหรับเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศอัตโนมัติ
- (3). พัฒนาระบบประมวลผลและเก็บข้อมูล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- (1). ออกแบบและสร้างเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศภายนอกให้มีความแข็งแรงและร่วมชุมชน
- (2). ออกแบบและสร้างระบบเซ็นเซอร์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ความสูง และตำแหน่ง
- (3). ออกแบบและสร้างระบบติดตามสายอากาศ
- (4). ออกแบบและสร้างระบบประมวลผลและเก็บข้อมูลทางภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- (1). วางแผนจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์
- (2). ออกแบบระบบตรวจวัดสภาพอากาศสำหรับภารกิจฝนหลวง
- (3). สร้างระบบเซ็นเซอร์
- (4). สร้างระบบ tracking สายอากาศ
- (5). สร้างระบบประมวลผลภาครับ
- (6). ทดสอบระบบรวม
- (7). ประเมินและสรุปผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1). สามารถสร้างระบบตรวจวัดอากาศเพื่อใช้ในการกิจการทำฝนหลวง
- (2). สามารถลดการนำเข้าอุปกรณ์และเทคโนโลยีจากต่างประเทศ
- (3). สามารถลดค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดสภาพอากาศ



บทที่ 2

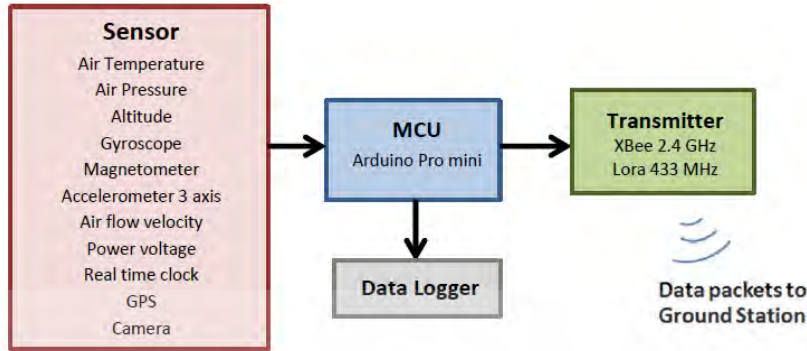
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

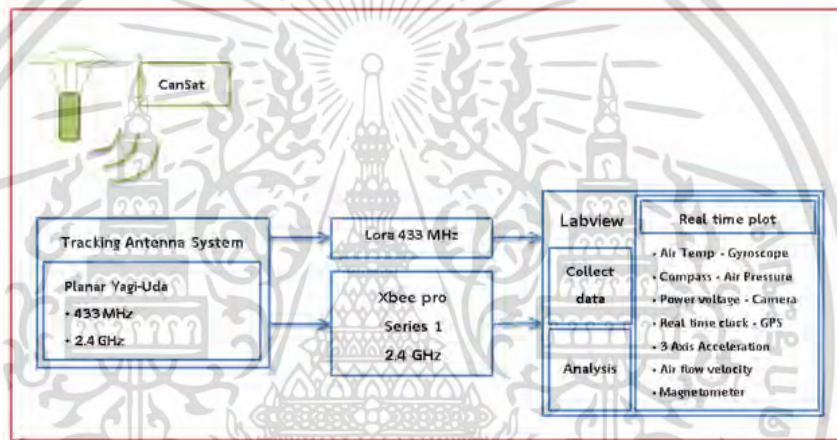
จากการศึกษาข้อมูลและได้พูดคุยกับผู้ปฏิบัติการเกี่ยวกับการทำฝนหลวงโดยตรงพบว่า ระบบการตรวจวัดสภาพอากาศที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันในประเทศไทยนั้น มีการใช้งานระบบเดิมนี้นานกว่า 10 ปี ซึ่งต้องนำเข้าอุปกรณ์ทั้งหมดจากต่างประเทศ โดยตัววิทยุหยังอากาศมีเซ็นเซอร์ที่ใช้เก็บค่าสภาพอากาศอยู่ไม่กี่ตัว ราคาแพงมากและไม่สามารถเก็บกู้ได้ ทั้งนี้ในปัจจุบันการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละพื้นที่ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ต้องการข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้นทำให้ระบบเดิมที่ใช้อยู่ไม่สามารถตอบโจทย์ได้ อีกทั้งการปฏิบัติการฝนหลวงนั้นต้องการข้อมูลสภาพอากาศเพียงแค่วงของการก่อตัวของเมฆ ซึ่งมีความสูงอยู่ที่ระดับไม่เกิน 10 กิโลเมตร และเครื่องบินที่ใช้ในการปฏิบัติการก็จะบินต่ำกว่านั้นอีก ดังนั้นการที่ใช้งานวิทยุหยังอากาศให้ลอยไปกับบอลูนถึงความสูงกว่า 30 กิโลเมตร จึงเป็นการใช้งานที่เกินความจำเป็นและทำให้ไม่สามารถเก็บกู้อุปกรณ์มาใช้ใหม่ได้

แนวคิดของโครงการวิจัยนี้คือการพัฒนาและสร้างระบบตรวจวัดสภาพอากาศได้ภายในประเทศเพื่อตอบโจทย์ของภารกิจฝนหลวงโดยตรง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในภารกิจอื่นๆที่ใกล้เคียงได้ ระบบที่จะจัดทำขึ้นนี้ต้องการเพิ่มตัวข้อมูลเซ็นเซอร์ให้มากขึ้น มีการระบุตำแหน่งโดยใช้ GPS มีการระบุตัวตนเพื่อให้สามารถใช้งานได้หลายๆเครื่องพร้อมกัน และมีการจัดเก็บข้อมูลใส่ SD card เพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อ ในส่วนของตัวส่งจะประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีของ LoRa ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าสามารถส่งข้อมูลได้กว่า 20 กิโลเมตรบนพื้นดิน นอกจากนี้ทางผู้จัดทำจะพัฒนาระบบติดตามสายอากาศอัตโนมัติโดยรับข้อมูลตำแหน่งจากตัวส่งเพื่อคำนวณมุมในการติดตาม และแสดงผลแบบ real time ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3

ทั้งนี้หลังจากการวิจัยและพัฒนาระบบนี้สมบูรณ์ในระดับหนึ่งแล้วจะมีการนำไปทดสอบจริงกับกรมฝนหลวงเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นและปรับให้เหมาะต่อการใช้งานจริงมากที่สุด ซึ่งทางผ.อ.ของกรมฝนหลวงยินดีให้ทางคณะผู้วิจัยเข้าไปทดสอบและให้คำปรึกษาเพื่อพัฒนาระบบนี้ให้เกิดขึ้นและใช้งานจริงได้ในประเทศต่อไป



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมในส่วนภาคส่ง



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมในส่วนภาครับ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องมือตรวจวัดสภาพอากาศของประเทศไทยในปัจจุบันนั้นถือว่าค่อนข้างล้ำสมัยเป็นอย่างมากเนื่องจากใช้ระบบนี้มากกว่า 10 ปี แต่ใน 10 ปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีต่างๆพัฒนาไปอย่างก้าวกระโดด ไม่ว่าจะเป็นระบบเซ็นเซอร์ โปรแกรมประมวลผล และอื่นๆ ระบบการตรวจวัดสภาพอากาศในประเทศไทยยังใช้ระบบที่ใหญ่และใช้พื้นที่เยอะ โดยจากสายอากาศที่ใช้รับข้อมูลมีขนาดใหญ่มาก [1] ศัพท์วิทยุห้วงอากาศจะเป็นการใช้ข้อมูลชุดเดียว [2-4] หมายความว่า สามารถใช้วิทยุห้วงอากาศได้แค่ตัวเดียวต่อครั้ง เพราะถ้ามีการส่งหลายๆเครื่องพร้อมกัน ข้อมูลจะชนกันทำให้ไม่สามารถคัดแยกข้อมูลได้ว่ามาจากวิทยุห้วงอากาศตัวไหน รวมไปถึงระบบเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ ซึ่งมีเซ็นเซอร์แค่ 3 ตัวได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นและความดัน โดยในการตรวจวัดสภาพอากาศนั้น วิทยุห้วงอากาศจะถูกติดไปกับบอลูนและลอยขึ้นไปจนกว่าบอลูนจะแตก เครื่องวิทยุห้วงอากาศก็จะตกลงสู่พื้นดินโดยมีร่มชูชีพ ช่วยลดความเร็ว แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่สามารถเก็บกู้วิทยุห้วงอากาศนี้กลับมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอ การพัฒนาระบบการตรวจวัดสภาพอากาศให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสามารถใช้งานได้ในหลายๆภารกิจ โดยการออกแบบระบบรวมให้มีขนาดที่เล็กลงสามารถติดตั้งได้ง่าย และพัฒนาระบบเซ็นเซอร์ให้สามารถเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมได้มากขึ้น ส่วนของการส่งข้อมูลกลับมายังภาครับ จะมีการระบุตัวตนของเครื่องส่งทำให้สามารถใช้งานเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศได้หลายๆเครื่องพร้อมกันและมีกลไกในการปล่อยเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศนี้ออกจากบอลลูนในระดับความสูงที่ต้องการ เพื่อให้สามารถกู้คืนอุปกรณ์นำมาใช้ใหม่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

- (1). วางแผนจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์
- (2). ออกแบบระบบตรวจวัดสภาพอากาศสำหรับภารกิจฝนหลวง
- (3). สร้างระบบเซ็นเซอร์
- (4). สร้างระบบ tracking สายอากาศ
- (5). สร้างระบบประมวลผลภาครับ
- (6). ทดสอบระบบรวม
- (7). ประเมินและสรุปผล

3.2 ตารางแผนการวิจัย

กิจกรรม	เดือนที่												ผู้รับผิดชอบ	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1. วางแผนและจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์														ปราโมทย์, พีระเมษฐ์
2. ออกแบบเครื่องวัดสภาพอากาศ														ปราโมทย์, พีระเมษฐ์
3. สร้างระบบเซ็นเซอร์														ปราโมทย์, พีระเมษฐ์
4. สร้างระบบ tracking สายอากาศ														ปราโมทย์, พีระเมษฐ์
5. ออกแบบระบบประมวลผล														ปราโมทย์, พีระเมษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยระบบการตรวจอากาศชั้นบนสำหรับการทำฝนหลวงประกอบไปด้วยระบบย่อยอื่นๆ ดังต่อไปนี้

1. ระบบเซ็นเซอร์
2. ระบบพลังงานไฟฟ้า
3. ระบบการสื่อสารและการจัดการข้อมูล
4. ระบบทางกลไก
5. ทฤษฎีพื้นฐานและการประยุกต์ใช้งานสายอากาศ

4.1 ระบบเซ็นเซอร์

ระบบเซ็นเซอร์เป็นระบบที่สำคัญในการตรวจวัดสภาพอากาศที่ระดับความสูงต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น เซ็นเซอร์วัดสภาพอากาศ (ความดันอากาศ, อุณหภูมิอากาศและความสูง), เซ็นเซอร์ GPS, Power voltage, เซ็นเซอร์ ความเร็ว 9 แกน

4.1.1 เซ็นเซอร์วัดสภาพอากาศ GY-BMEP280

ใช้ Sensor Module ในการตรวจวัดสภาพอากาศ ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย และสามารถหาใช้งานได้ง่ายและราคาไม่แพงมากจนเกินไป ซึ่ง Sensor คืออุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณหรือปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น เป็นต้น

4.1.1.1 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความดัน

เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับอุณหภูมิ เช่น ความร้อน-เย็น เป็นระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นส่วนตรวจวัดค่าอุณหภูมิ

เซ็นเซอร์วัดความดัน (Pressure Sensor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดที่ควบคุมความดันที่มีหน่วยในการแสดงผลได้หลากหลายในตัวเดียวกัน เช่น bar, kPa, psi, mmHg เป็นต้น และมีสัญญาณ output แบบต่างๆ ให้เลือกใช้งานได้ เช่น NPN, PNP, 4-20 mA เป็นต้น โดยทำการศึกษาและเลือกใช้เซ็นเซอร์โมดูล ดังต่อไปนี้

BME/BMP280

โมดูล BME280 สำหรับวัดอุณหภูมิ (Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์(Humidity) และความกดอากาศ (Pressure) ใช้ชิพ BME280 สื่อสารผ่านบัส I2C ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์สามารถใช้ต่อกับบอร์ด arduino ได้ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 โมดูล BME280

โมดูล BME280 ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ เชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางอินเทอร์เฟซ I2C ที่ขาดัญญาณ SDL กับ SDA ซึ่งมีวงจร Voltage Divider ที่สามารถต่อกับระดับแรงดัน 5 โวลต์ได้

ข้อมูลเชิงเทคนิค (Technical details)

- Supply Voltage: 1.8 - 5V DC
- Interface: I2C (up to 3.4 MHz)
- Temperature: -40 to +85°C
- Humidity: 0 -100 %
- Pressure: 300-1100 hPa
- Humidity: 0.008 %
- Pressure: 0.18 Pa
- Humidity: ± 3 %
- Pressure: ± 1 Pa
- Temperature: ± 1 °C
- โมดูลนี้มีขาเชื่อมต่อ 4 ขา ตามลำดับดังนี้ VCC, GND, SCL, SDA

4.1.1.2 การคำนวณความสูงจากค่าความดัน

ใช้ค่าความดันจากโมดูล BME280 เพื่อนำมาคำนวณหาระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล ซึ่งสามารถคำนวณด้วยวิธีดังนี้

- ความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง(P0) มีค่าเท่ากับ 1013.25 hPa
 - จาก 760 mmHg เท่ากับ 101325 Pascal มีค่าเท่ากับ 1013.35 hPa
- ดังนั้น ความสูงจากระดับน้ำทะเล สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.1

$$h = 44330 \times \left[1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{5.255}} \right] \quad (4.1)$$

และ = 1013.35 hPa

4.1.2 เซ็นเซอร์ GPS GY-NEO6MV2

GPS GY-NEO6MV2 Module แสดงดังภาพที่ 4.2 เป็นโมดูล GPS ที่มีความไวในการรับถึง - 162 dBm และสามารถเชื่อมต่อได้ถึง 50 ช่องสัญญาณ โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 3.3 - 5V DC เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่าน UART ความเร็ว 9600 ทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ -40 ถึง 85°C และมีทั้งหมด 4 pins แสดงคำอธิบายแต่ละ pin ดังตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.2 GPS GY-NEO6MV2 Module

ตารางที่ 4.1 คำอธิบาย PIN ของ GPS GY-NEO6MV2 Module

PIN	คำอธิบาย
Vcc	ไฟเลี้ยง 3.3-5.0 V DC
Rx	Receive
Tx	Transmit
GND	Ground

4.1.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ GPS

GPS ย่อมาจากคำว่า Global Positioning System คือ ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก โดยหลักการทำงานจะมี ดาวเทียม GPS (Navstar) ประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวง โดยแบ่งเป็น 6 รอบวงโคจร การโคจรจะเอียงทำมุม 55 องศา กับเส้นศูนย์สูตร (Equator) ในลักษณะสานกันคล้าย ลูกตะกร้อแต่ละวงโคจรมีดาวเทียม 4

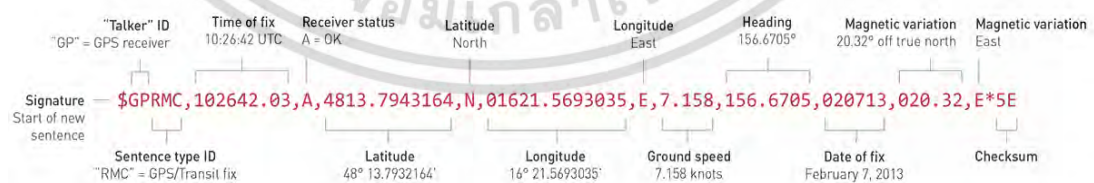
ดวง รัศมีวงโคจรจากพื้นโลก 20,162.81 กิโลเมตร หรือ 12,600 ไมล์ ดาวเทียมแต่ละดวงใช้เวลาในการโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมง

GPS ทำงานโดยการรับสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวง โดยสัญญาณดาวเทียมนี้ประกอบไปด้วยข้อมูลที่ระบุตำแหน่งและเวลาขณะส่งสัญญาณ ตัวเครื่องรับสัญญาณ GPS จะต้องประมวลผลความแตกต่างของเวลาในการรับสัญญาณเทียบกับเวลาจริง ณ ปัจจุบันเพื่อแปรเป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งได้ระบุมีตำแหน่งของมันมากับสัญญาณดังกล่าว

เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการค้นหาตำแหน่งด้วยดาวเทียม ต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อบอกตำแหน่งบนผิวโลก ซึ่งระยะห่างจากดาวเทียมทั้ง 3 กับเครื่อง GPS ซึ่งจะสามารถระบุตำแหน่งบนผิวโลกได้ หากพื้นโลกอยู่ในแนวระนาบแต่ในความเป็นจริงพื้นโลกมีความโค้งเนื่องจากลักษณะของโลกลักษณะกลม ดังนั้นดาวเทียมดวงที่ 4 จะทำให้สามารถคำนวณเรื่องความสูงเพื่อทำให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องมากขึ้น

4.1.2.1.1 โพรโตคอล NMEA ของ GPS

NMEA ย่อมาจาก Nation Maritime Electronics Association ซึ่งเป็นสมาคมที่มุ่งเน้นศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการเชื่อมต่อและทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์เหล่านี้ เมื่อเชื่อมต่อและทำงานร่วมกันต้องสามารถเข้าใจกันได้ หรือสื่อสารโดยใช้ภาษาเดียวกัน NMEA จึงพัฒนามาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ดังกล่าว เรียกว่า NMEA Standard ซึ่งระบุข้อมูลการเชื่อมต่อทางไฟฟ้ามาตรฐาน NMEA-0183 ซึ่งในมาตรฐานนี้ ตัวอักษรที่ใช้คือ ASCII Text ซึ่งสามารถพิมพ์ได้ (รวมไปถึง Carriage Return and Line Feed) NMEA-0183 นั้นส่งข้อมูลด้วยอัตรา 4800 baud รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลของจีพีเอสเป็นไปตามมาตรฐานของ NMEA โดยจะขึ้นต้นด้วยอักษร \$GPxxx ซึ่งมีทั้งหมด 6 รูปแบบด้วยกัน คือ GGA, GLL, GSA, GSV, RMC, VTG รายละเอียดตามที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 ทั้งนี้แต่ละรูปแบบต่างมีการจัดเรียงข้อมูลภายในที่แตกต่างกันออกไป เช่น



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างประโยค NMEA และความหมายของข้อมูลแต่ละส่วนในประโยค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.3 แสดงเป็นรูปแบบข้อมูล RMC หรือ Recommended minimum specific GNSS data ตามด้วยข้อมูลเวลา UTC พิกัดตำแหน่งละติจูด, ตำแหน่งซีกโลก, พิกัดลองจิจูด, ตำแหน่งซีกโลก, และข้อมูลอื่นๆ ซึ่งการที่จะเขียน โปรแกรมเพื่อดึงข้อมูล ณ ตำแหน่งที่ต้องการจากข้อมูลที่ส่งมาเป็นประโยค

ตารางที่ 4.2 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลตามมาตรฐานของ NMEA

NMEA Record	Description
GGA	Global positioning system fixed data
GLL	Geographic position - latitude/longitude
GSA	GNSS DOP and active satellites
GSV	GNSS satellites in view
RMC	Recommended minimum specific GNSS data
VTG	Course over ground and ground speed

แบบที่ 1 GGA (Global positioning system fixed data) รูปแบบที่แสดงว่าข้อมูลของ GPS เพียงพอที่จะแสดงพิกัดได้สามมิติ (3D) ซึ่งดาวเทียมที่รับได้ต้องมากถึง 4 ดวงขึ้นไป ภาษาอังกฤษเรียกว่า Fix data ซึ่งมีรูปแบบการจัดเรียงและตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลประเภท GGA

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPGGA	-	GGA protocol header
UTC Position	161229.487	-	UTC Time : 161229.487
Latitude	3723.2475	-	37 องศา 23.2475 ลิปดา
N/S Indicator	N	-	N=north or S=south
Longitude	12158.3416	-	121 องศา 58.3416 ลิปดา
E/W Indicator	w	-	E=east or W=west
Position Fix Indicator	1	-	แสดงดังตารางที่ 2.7
Satellites Used	08	-	จำนวนดาวเทียมที่ GPS รับได้ (Range 0 to 12)
HDOP	1.1	-	Horizontal Dilution of Precision

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MSL Altitude, Units	9,M	meters	ค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง,หน่วย
Geoid Separation, Units	15.2,M	meters	ความสูงเหนือทรงรี WGS84,หน่วย
Age of Diff. Corr	-	second	เวลาเป็นวินาทีที่นับจากที่ได้รับค่า fix รูปแบบ DGPS
Diff. Ref. Station ID	0000	-	แสดงหมายเลขสถานีของ DGPS
Checksum	*18	-	Checksum Data

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Fix Indicator

Value	Description
0	Fix not available or invalid
1	GPS SPS Mode, fix valid
2	Differential GPS, SPS Mode, fix valid
3 to 5	Not supported
6	Dead Reckoning Mode, fix valid

แบบที่ 2 GLL (Geographic position - latitude/longitude) เป็นข้อมูลการครอบครองจากข้อมูล Loran และหน่วยเก่าวางส่วนอาจไม่สามารถส่งข้อมูลเวลาและข้อมูลที่ใช้งานได้ ซึ่งมีรูปแบบการจัดเรียงและตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลประเภท GLL

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPGLL	-	GLL protocol header
Latitude, N/S Indicator	4916.46,N	-	Latitude 49 deg. 16.45 min. North
Longitude, N/S Indicator	12311.12,W	-	Longitude 123 deg. 11.12 min. West
UTC Position	225444	-	Fix taken at 22:54:44 UTC
Status	A	-	Data Active or V (void)
Checksum	*ID	-	Checksum Data

แบบที่ 3 GSA (GNSS DOP and active satellites) รูปแบบที่แสดงรายละเอียดของข้อมูล Fix จำนวนดาวเทียมที่ใช้งานได้ รวมถึงค่าความคลาดเคลื่อน DOP (dilution of precision) ซึ่งตัวเลขน้อยๆจะเป็นค่าที่ดี มีความถูกต้องสูง ซึ่งมีรูปแบบการจัดเรียงและตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลประเภท GSA

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPGSA	-	GSA protocol header
Status	A	-	Auto selection of 2D or 3D fix
value include	3	-	3D fix – value include
PRNs of satellites	10,05,28,27,09,02	-	PRNs of satellites used for fix
PDOP	2.5	-	Dilution of precision
HDOP	1.8	-	Horizontal dilution of precision
VDOP	1.8	-	Vertical dilution of precision
Checksum	*35	-	checksum data

แบบที่ 4 GSV (GNSS satellites in view) ซึ่งเป็นรูปแบบที่แสดงรายละเอียดของ GPS แต่ละดวงเช่นระดับความสูง (Elevation) อะซิเมัทและ SNR (Signal to Noise Ratio) ซึ่ง เทียบได้กับความแรงของสัญญาณ SNR มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 99 ซึ่งค่ามากเป็นค่าที่ดี ในบางขณะเครื่อง GPS อาจจะได้รับสัญญาณได้เต็มที่ทั้งหมด 12 ดวง การส่งข้อความจะมากไปถ้าต้องแสดงในบรรทัดเดียว สมาคม NMEA จึงออกแบบให้รูปแบบ GSV สามารถแสดงข้อมูลดาวเทียมได้เต็มที่ประโยคหรือบรรทัดละ 4 ดวงเท่านั้น ดังนั้นถ้ารับสัญญาณดาวเทียมมาได้ทั้ง 12 ดวงจะได้รับประโยคทั้งหมด 3 บรรทัด ซึ่งมีรูปแบบการจัดเรียงและตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลประเภท GSV

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPGSV	-	GSV protocol header
Number of sentences	2	-	Number of sentences for full data
Sentence	1	-	Sentence 1 of 2
Satellites Used	08	-	จำนวนดาวเทียมที่ GPS รับได้
PRN number	01	-	Satellite PRN number

Elevation	40	degrees	Elevation
Azimuth	083	degrees	Azimuth
SNR	46	-	SNR - higher is better
Checksum	*75	-	Checksum data

แบบที่ 5 RMC (Recommended minimum specific GNSS data) รูปแบบที่แสดงรายละเอียดของ GPS เรือความเร็ว (velocity) ค่าพิกัด เวลา ตลอดจนถึงทิศทาง ซึ่งมีรูปแบบการจัดเรียงและตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลประเภท RMC

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPRMC	-	RMC protocol header
UTC Time	103740	-	UTC Time : 103740
Status	A	-	A=data valid or V=data not valid
Latitude	2503.6319	-	25 องศา 03.6319 ลิปดา
N/S Indicator	N	-	N=north or S=south
Longitude	12136.0099	-	121 องศา 36.0099 ลิปดา
E/W Indicator	E	-	E=east or W=west
Speed over ground	2.69	knots	True
Course over ground	79.65	degrees	-
Date	100106	-	10/01/06
Magnetic variation	-	degrees	-
Variation sense	-	-	E=east or W=west
Mode	A	-	A=autonomous, D=DGPS, E=DR
Checksum	*53	-	Checksum Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 6 VTG (Course over ground and ground speed) ความเร็วดีขึ้น ตัวรับสัญญาณ GPS อาจใช้กำหนดหน้า LC แทน GP ถ้ามีการจำลองเอาต์พุต Loran ซึ่งมีรูปแบบการจัดเรียงและตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลประเภท VTG

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPVTG	-	VTG protocol header
True track	054.7,T	degrees	True track made good
Magnetic track	034.4,M	-	Magnetic track made good
Ground speed	005.5,N	Knots	Ground speed

4.1.3 เซ็นเซอร์ความเร่ง 9 แกน GY-9250

เซ็นเซอร์โมดูล GY-9250 MPU 9250 แสดงดังภาพที่ 4.4 เป็นเซ็นเซอร์ที่สามารถวัดได้ทั้ง accelerometers, gyroscope และ magnetometer ในตัวเดียวกัน ซึ่งช่วยในการลดจำนวนโมดูลและลดมวลน้ำหนักของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย โดยโมดูลนี้ใช้การเชื่อมต่อส่งข้อมูลผ่าน Bus I2C โดยใช้ในการหาตำแหน่งการเคลื่อนไหวทั้ง 9 แกน และทิศทางของการเคลื่อนที่ของโมด



ภาพที่ 4.4 เซ็นเซอร์โมดูล GY-9250

ข้อมูลเชิงเทคนิค (Technical details)

- ใช้ชิป: MPU-9250MPU9250MPU 9250
- แหล่งจ่ายไฟ: 3-5 โวลต์
- การสื่อสาร: มาตรฐาน I2C/SPI โพรโตคอลการสื่อสาร (ชิปแปลงเอาต์พุตข้อมูล 16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gyro ช่วง: ± 250 500 1000 2000 $^{\circ}/s$
- เร่งช่วง: $\pm 2 \pm 4 \pm 8 \pm 16$ กรัม
- สนามแม่เหล็กช่วง: ± 4800 uT
- โมดูลขนาด 15 มิลลิเมตร x 25 มิลลิเมตร

4.2 ระบบพลังงานไฟฟ้า

4.2.1 แบตเตอรี่ LI-ION RECHARGEABLE

แบตเตอรี่ใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ Li-ion มีความจุ 800 mAh แสดง
 ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แบตเตอรี่ Li-ion 9 V (800 mAh)

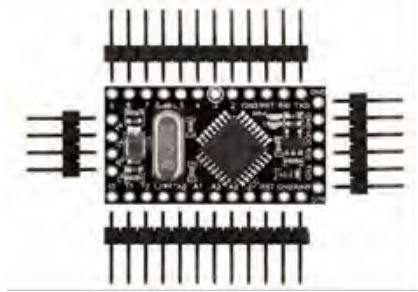
4.3 ระบบการสื่อสารและการจัดการข้อมูล

4.3.1 หน่วยประมวลผล (PROCESSOR)

ระบบการประมวลผลมีหน้าที่ในการประมวลผลและจัดการข้อมูล แล้วส่งผ่านกระจายคำสั่งที่ได้รับมาจากสถานีภาคพื้นดินให้กับอุปกรณ์และเพย์โพลดที่เกี่ยวข้อง แล้วบันทึกข้อมูลที่ได้รับจากเพย์โพลด รวมทั้งควบคุมการทำงานของอุปกรณ์และเพย์โพลด โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบประมวลผลสัญญาณ ประกอบด้วย Arduino Pro mini 328 ใช้กับระบบเซ็นเซอร์

4.3.1.1 Arduino Pro mini 328

Arduino Pro mini 328 เป็นบอร์ดไมโครโทรลเลอร์ (MCU) ที่ใช้ชิปประมวลผล คือ ATmega328 เป็นหน่วยประมวลผลหลักมี 14 ดิจิตอลอินพุต/เอาต์พุต เนื่องจากไม่มีฟังก์ชันการติดต่อ USB ทำให้มีขนาดเล็ก แสดงดังภาพที่ 4.6 และมีคุณลักษณะเด่นของ Arduino Pro Mini 328 แสดงดังตารางที่ 4.10



ภาพที่ 4.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Pro mini 328

ตารางที่ 4.10 คุณลักษณะเด่นของ Arduino Pro Mini 328

คุณสมบัติ	รายละเอียด
ไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328
แรงดันไฟฟ้า	3.3 V
แรงดันไฟฟ้าอินพุต	3.3-9 V
ดิจิตอลอินพุต/เอาต์พุต	14 (สามารถใช้เป็น PWM เอาต์พุตได้ 6 pins)
อนาล็อกอินพุต	8 pins
Flash Memory	32 KB
SRAM	2 KB
E2PROM	1 KB
Clock speed	8 MHz

4.3.2 หน่วยความจำ (Memory)

หน่วยความจำ ใช้ Micro SD card ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลขนาด 8 GB แสดงดังในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 Micro SD card SanDisk 8 GB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. ระบบทางกลไก

4.4.1 ร่มชูชีพ (PARACHUTE)

4.4.1.1 ชนิดของร่มชูชีพ

1) ร่มชูชีพแบบ Semi-Spherical



ภาพที่ 4.8 ร่มชูชีพแบบ Semi-Spherical

ร่มชูชีพแบบ Semi-Spherical เป็นร่มชูชีพที่มีลักษณะครึ่งทรงกลม แสดงดังภาพที่ 4.8 ซึ่งเป็นร่มที่มีประสิทธิภาพดีเยี่ยม แต่ยากในสร้างให้ได้รูปทรงตรงตามต้องการ และมีค่าสัมประสิทธิ์ (Cd) เท่ากับ 1.5

2) ร่มชูชีพแบบ parapent



ภาพที่ 4.9 ร่มชูชีพแบบ parapent

ร่มชูชีพแบบ parapent ร่มชูชีพที่มีลักษณะคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีจุดเด่นคือสามารถควบคุมทิศทางได้ แต่มีโครงสร้างในการสร้างที่ซับซ้อน นิยมนำมาใช้ในการโดดร่ม โดนมินักระโดดร่มควบคุมทิศทาง แสดงดังภาพที่ 4.9 มีค่าสัมประสิทธิ์ (Cd) ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ร่มชูชีพแบบ Flat parachute



ภาพที่ 4.10 ร่มชูชีพแบบ Flat parachute

ร่มชูชีพแบบ Flat parachute เป็นร่มชูชีพที่มีลักษณะคล้ายแบบ Semi-Spherical แต่เกิดจากการ ประกอบกันขึ้นมาจากผ้ารูปสามเหลี่ยมมาประกอบกันหลายรูปจนเป็นวงกลม แต่มีเสถียรภาพน้อยกว่าร่มชูชีพแบบ Semi-Spherical แสดงดังภาพที่ 4.10 มีค่าสัมประสิทธิ์ (C_d) เท่ากับ 0.75

4) ร่มชูชีพแบบ Cross



ภาพที่ 4.11 ร่มชูชีพแบบ Cross

ร่มชูชีพแบบ Cross เป็นร่มชูชีพที่มีลักษณะคล้ายเครื่องหมายบวก มีข้อดีที่ออกแบบง่าย ไม่ซับซ้อน แต่ไม่เหมาะกับวัตถุขนาดเล็ก แสดงดังภาพที่ 4.11 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ (C_d) เท่ากับ 0.8

สรุป ทางคณะผู้วิจัยเลือกร่มชูชีพแบบ Semi-Spherical ที่มีลักษณะครึ่งทรงกลมแสดงดังภาพที่ 4.8 เนื่องจากมีประสิทธิภาพการใช้งานที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศมากที่สุด

4.4.1.2 วัสดุที่เลือกใช้ในการทำร่มชูชีพ

โดยปกติแล้วความแข็งแรง และความคงทนของร่มชูชีพนั้นจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการทำตัวร่ม ซึ่งผ้าที่นำมาทำตัวร่มชูชีพนั้นควรมีน้ำหนักเบา แข็งแรง และกันน้ำได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งโดยปกติจะใช้ผ้าร่มชนิด Ripstop ที่เป็นเนื้อผ้าชนิดเดียวกันที่เราใช้ทำร่มกันแดดว่าวและเสื้อชูชีพ

4.4.1.3 ความเร็วที่เคลื่อนที่

ในการสร้างร่มชูชีพนั้นมีจุดประสงค์เพื่อทำให้อุปกรณ์ตรวจอากาศตกกระทบพื้นโลกโดยไม่เสียหายจากแรงดึงดูดของโลก (Gravity Force (FG)) ดังนั้นความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ตรวจอากาศจึงเป็นปัจจัยหนึ่งในการออกแบบขนาดของร่มชูชีพ ซึ่งการที่จะทำให้ความเร็วของร่มชูชีพคงที่ได้นั้น จะต้องออกแบบขนาดของร่มให้เกิดแรงในทิศตรงข้ามกัน เรียกแรงนั้นว่า Drag Force (FD) แสดงดังสมการที่ 4.2

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (4.2)$$

เมื่อ

F_D คือ แรงดึงขึ้นที่เกิดจากร่มทำให้ความเร่งเข้าใกล้ศูนย์

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ = 1.225 kg /m³

C_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของร่ม

A คือ ค่าพื้นที่หน้าตัดของตัวร่ม

v คือ ค่าความเร็วของร่มชูชีพ

เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจอากาศเคลื่อนที่ลงมาตามแรงดึงดูดของโลก (Gravity Force (FG)) และสามารถหาค่าแรง FG แสดงดังสมการที่ 4.3

$$F_G = mg \quad (4.3)$$

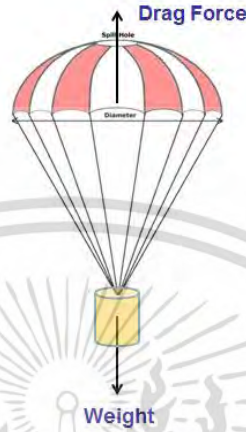
เมื่อ

m คือ มวลของวัตถุ

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีค่าเท่ากับ 9.81 m/s²

เนื่องจากต้องการให้ความเร็วของอุปกรณ์ตรวจอากาศขณะตกลงมานั้นคงที่และน้อยกว่า 3 เมตรต่อวินาที ที่เป็นค่าความเร็วที่ทำให้อุปกรณ์ตรวจอากาศได้รับความเสียหายน้อยดังนั้นจึงต้องออกแบบให้

ความเร่งขณะที่เคลื่อนที่ลงนั้นมีค่าเท่ากับ 0 m/s^2 ซึ่งจะได้แรงที่เคลื่อนที่ลงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกนั้นจะมีค่าเท่ากับแรงดิ่งที่เคลื่อนที่ขึ้นเนื่องจากร่มชูชีพ ดังภาพที่ 4.12 แสดงดังสมการที่ 4.4 และแสดงตัวแปรต่างๆ ดังสมการที่ 4.5



ภาพที่ 4.12 การกระทำของแรงขณะทีวัตถุกำลังเคลื่อนที่ลง

$$F_G = F_D \quad (4.4)$$

$$mg = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (4.5)$$

4.5 ทฤษฎีพื้นฐานและการประยุกต์ใช้งานสายอากาศ

4.5.1 หน้าที่และความหมายของสายอากาศ

สายอากาศ อุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่นความถี่วิทยุ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และในทางกลับกัน ก็เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นกันสายอากาศมีหลายขนาดและรูปแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น สายอากาศสำหรับเครื่องรับโทรทัศน์ในบ้านส่วนใหญ่เป็นสายอากาศชนิด ยากิ-อูดะ มักติดตั้งไว้บนหลังคาทำด้วยอะลูมิเนียมเพราะน้ำหนักเบาและทนต่อสภาพอากาศได้ดีกว่าโลหะทั่วไปสายอากาศของไมค์ลอยเป็นเพียงสายไฟสั้น ๆ หรือสายอากาศของโทรศัพท์มือถือเป็นเพียงจุดเชื่อมต่อเล็ก ๆ เท่านั้น คำว่าสายอากาศเป็นศัพท์เฉพาะด้านไฟฟ้า และ อิเล็กทรอนิกส์ บัญญัติขึ้นจากคำศัพท์ในภาษาอังกฤษ "Antenna" หรือ "Aerial" ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อาจเขียนอักษรย่อ Ant. อย่างไรก็ตามบุคคลทั่วไปนิยมเรียกว่า เสาอากาศ อาจจะเพราะเคยใช้เสาสูงๆสำหรับติดตั้งสายอากาศ

สายอากาศแบ่งตามรูปแบบการรับ-ส่งคลื่นได้ดังนี้

(1) สายอากาศแบบรอบตัว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีในทุกทิศทางไปโดยรอบ

(2) สายอากาศแบบกึ่งรอบตัว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีเกือบรอบตัวแต่มีอัตราขยายสูงกว่าแบบรอบตัว

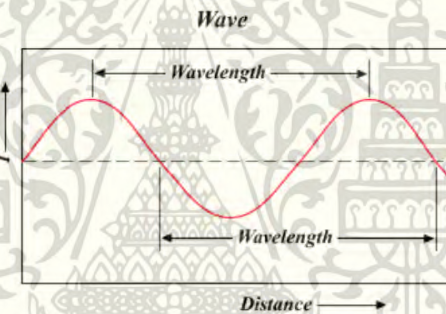
รอบตัว

(3) สายอากาศแบบทิศทางเดียว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีในทิศทางที่กำหนดและจะมี อัตราขยาย

(Gain) สูงกว่าประเภทอื่น

4.5.2 ความถี่และความยาวคลื่น

โดยทั่วไปนิยมแบ่งคลื่นวิทยุออกเป็นย่านความถี่ต่าง ๆ โดยมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz) ในประวัติศาสตร์การวิทยุแบ่งคลื่นวิทยุตามความยาวคลื่น (Wavelength) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความยาวคลื่นดังแสดงในภาพที่ 4.13 และมีย่านความถี่และความยาวคลื่นแสดงดังตารางที่ 4.11



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความยาวคลื่น

ตารางที่ 4.11 ย่านความถี่และความยาวคลื่น

ย่านความถี่	ความถี่	ความยาวคลื่น
Very Low Frequency (VLF)	ต่ำกว่า 30 kHz	ยาวกว่า 10 km
Low Frequency(LF)	30-300 kHz	10-1 km
Medium Frequency(MF)	300-3000 kHz	1000-100 m
High Frequency (HF)	3-30 MHz	100-10 m
Very High Frequency (VHF)	30-300 MHz	10-1 m
ย่านความถี่	ความถี่	ความยาวคลื่น
Ultra High Frequency (UHF)	300-3000 MHz	100-10 cm
Super High Frequency (SHF)	3-30 GHz	10-1 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 คุณลักษณะและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ

สายอากาศชนิดต่าง ๆ ที่มีการใช้งานอยู่ทั่วไปมีคุณลักษณะและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องพิจารณาประกอบการประเมินประสิทธิภาพของสายอากาศเพื่อช่วยในการตัดสินใจและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ มากมาย โดยมีส่วนสำคัญ ดังนี้

4.5.3.1 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage standing Wave Ratio)

อัตราส่วนระหว่างแรงดันค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในคลื่นนิ่งเรียกว่า อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR) ดังสมการที่ 4.6

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (4.6)$$

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน (Voltage Reflection Coefficients) สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน ยังสามารถหาได้จากอัตราส่วนผลต่างและ ผลรวมระหว่างโหนดกับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ ดังสมการที่ 4.7

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (4.7)$$

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน (Voltage Reflection Coefficients)

V_r คือ แรงดันสะท้อนกลับ

V_i คือ แรงดันตกกระทบ

Z_L คือ โหลดอิมพีแดนซ์

Z_0 คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ

ในกรณีที่ต่อไว้ด้วยแมตซ์ชิงโหนดนั้นค่า VSWR เป็น 1 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด

4.5.3.2 การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศแสดงค่ากำลังที่สูญเสียที่โหนด เมื่อ อิมพีแดนซ์ของสายส่งและสายอากาศไม่แมตซ์กัน การสูญเสียย้อนกลับมีความสัมพันธ์กับ VSWR ซึ่งเป็น การแสดงการแมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายส่งกับสายอากาศตามสมการ โดยการสูญเสียย้อนกลับสามารถ หาได้จากสมการที่ 4.8

$$S_{11} = -20 \log_{10} |\Gamma| \text{ (dB)} \quad (4.8)$$

สำหรับการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายส่งและสายอากาศ เมื่อ $\Gamma = 0$ ค่าความสูญเสียย้อนกลับเป็นอนันต์ แสดงว่าไม่มีกำลังงานสะท้อนกลับ ในทำนองเดียวกันเมื่อ $\Gamma = 1$ ค่าความสูญเสียย้อนกลับจะเป็น 0 dB ซึ่งแสดงว่ากำลังงานสะท้อนกลับหมด

4.5.3.3 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)

ประสิทธิภาพของสายอากาศเป็นพารามิเตอร์ที่รวมประสิทธิภาพการสูญเสียที่ สายอากาศ และในโครงสร้างของสายอากาศการสูญเสียต่าง ๆ หาได้จากการสะท้อนกลับเนื่องจากการไม่แมตซ์กันระหว่างสายส่งกับสายอากาศการสูญเสียจากตัวนำและฉนวนโดยประสิทธิภาพรวมของสายอากาศสามารถเขียนเป็นสมการที่ 4.9

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (4.9)$$

e_t คือ ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ

e_r คือ $(1 - |\Gamma|^2)$ ประสิทธิภาพการสะท้อนกลับเนื่องจากการไม่แมตซ์

e_c คือ ประสิทธิภาพของตัวนำ

e_d คือ ประสิทธิภาพของฉนวน (dielectric) และโดยทั่วไป e_c จะรวมเป็นตัวเดียวกันตามสมการที่ 4.10

$$e_{cd} = e_c e_d = \frac{R_R}{R_R + R_L} \quad (4.10)$$

R_R คือ ความต้านทานจากการแผ่พลังงานคลื่นออกไป

R_L คือ ความต้านทานที่โหลด

4.5.3.4 สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ไดเรกทิวิตีเป็นการบอกความสามารถเชิงทิศทางของสายอากาศ เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มของการแผ่พลังงานในทิศทางที่สนใจกับความเข้มของการแผ่พลังงานโดยเฉลี่ย เมื่อมีการแผ่พลังงานออกไป รอบทิศทางอย่างเท่าเทียมกัน โดยไม่คิดกำลังงานส่วนที่สูญเสียไปดังสมการที่ 4.11 และ สมการที่ 4.12

$$D = \frac{U}{U_i} = \frac{4\pi U}{P_{\text{rad}}} \quad (4.11)$$

D คือ สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

U คือ ความเข้มของการแผ่กำลังงาน

U_i คือ ความเข้มของการแผ่กำลังงานเฉลี่ย

P_{rad} คือ กำลังงานที่สายอากาศแผ่ออกไป

โดยทั่วไปถ้าไม่กำหนดทิศทางใช้สภาพเจาะจงทิศทางในทิศที่สายอากาศแผ่พลังงานได้ดีที่สุด

$$D_0 = \frac{U_{\text{max}}}{U_i} = \frac{4\pi U_{\text{max}}}{P_{\text{rad}}} \quad (4.12)$$

4.5.3.5 อัตราขยายของสายอากาศ (Gain)

อัตราขยายของสายอากาศเป็นความสัมพันธ์ที่ได้จากไดเรกทิวิตี โดยรวมประสิทธิภาพ ของสายอากาศเข้ามาด้วย ในขณะที่ไดเรกทิวิตีแสดงคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น การคิดอัตราขยายของสายอากาศ วัดเทียบกับสายอากาศอ้างอิง โดยอัตราขยายของสายอากาศส่ง คือกำลัง สองของอัตราส่วนระหว่างความเข้มสนามตามทิศที่มีการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุดเมื่อเทียบกับความเข้ม สนามที่จุดเดียวกันของสายอากาศอ้างอิง หรือแสดงในรูปของอัตราส่วนของค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการส่ง ของสายอากาศทั้งสอง เพื่อให้เกิดความเข้มสนามขนาดเท่ากัน (ณ จุดเดียวกัน) ในทิศทางที่มีการ แพร่กระจายคลื่นมากที่สุด หรืออัตราขยายของสายอากาศรับ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มการแผ่ พลังงานของสายอากาศทดสอบกับสายอากาศอ้างอิง ณ จุดตั้งสายอากาศที่เดียวกัน

การใช้สายอากาศอ้างอิงมักเป็นแบบไดโพลขนาด $\lambda/2$ หรือแบบไอโซโทรปิก (Isotropic) ซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ กระจายคลื่นได้รอบตัวทุกทิศในปริมาณที่เท่ากัน

อัตราขยายกำลัง (Power Gain) ของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้ นั้นมีค่าเท่ากับ A_n คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้น ต่อ (หาร) กำลังงานสุทธิที่ สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่งเมื่อไม่กำหนดทิศทางไว้โดยทั่วไปคิดอัตราขยายกำลังในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดตามสมการที่ 4.13

$$\text{Gain} = \frac{4\pi U(\theta, f)}{P_{\text{in}}} \quad (4.13)$$

อัตราขยายสัมพัทธ์ เป็นอัตราส่วนของอัตราขยายกำลังในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่เอนเข้าสายอากาศทั้งสอง นั้นต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบเป็นสายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร หรือสายอากาศอื่น ๆ ซึ่งคำนวณอัตราขยายได้ง่ายหรือรู้ค่าอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบ เป็นไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้นจึงได้เป็นสมการที่ 4.14

$$G_g = \frac{4\pi U(\theta, f)}{P_{in}} \quad (4.14)$$

เมื่อ P_{in} คือ กำลังงานที่ป้อนให้กับไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (p_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่เอนเข้าสายอากาศ (p_{in}) ดังสมการที่ 4.15

$$p_{rad} = e_t P_{in} \quad (4.15)$$

เมื่อ e_t คือประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ทำให้สมการที่ 4.16 และ 4.17 มีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ 4.18

$$G_g(\theta, f) = \frac{[4\pi U(\theta, f)]}{P_{rad}} \quad (4.16)$$

และมีความสัมพันธ์กับอัตราขยายไดเรกทิฟ ตามสมการที่ 4.17

$$G_g(\theta, f) = e_t D_g \quad (4.17)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าสูงสุดของอัตราขยายจะสัมพันธ์กับไดเรกทิวิตี แสดงดัง สมการที่ 4.18

$$\begin{aligned} G_0 &= G_g(\theta, f)|_{\max} \\ &= e_t D_g(\theta, f)|_{\max} \\ &= e_t D_0 \end{aligned} \quad (4.18)$$

ในทางปฏิบัติเมื่อกล่าวถึงอัตราหมายถึง อัตราขยายกำลังที่มีค่าสูงสุด แสดงดังสมการที่ 4.19

$$G_0(\text{dB}) = 10\log_{10} [e_t D_0] \quad (4.19)$$

4.5.3.6 อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance)

พิจารณาสายอากาศเสมือนเป็นชิ้นส่วนหนึ่งในวงจรไฟฟ้า เมื่อต่อแหล่งกำเนิด สัญญาณเพื่อ {เอนาพลังงานให้กับสายอากาศ พลังงานจะไหลเข้าสู่สายอากาศที่ละน้อยเนื่องจากการต้าน การไหลของพลังงานที่เรียกว่าอิมพีแดนซ์หรือความต้านทานเชิงซ้อนเกิดขึ้น อิมพีแดนซ์ดังกล่าวจะปรากฏที่ ขั้วของสายอากาศ เรียกว่า อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Z_{in}) ดังสมการที่ 4.20

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (4.20)$$

X_{in} คือความต้านทานเชิงจินตภาพที่ทำให้เกิดการสะสมของพลังงานในบริเวณสนาม ใกล้สายอากาศโดยไม่แผ่กระจายออกไป และ R_{in} ประกอบด้วยสองส่วนคือ R_r หมายถึงความต้านทานพลังงานคลื่นที่แผ่ออกไปโดยสายอากาศ และ R_L หมายถึงความต้านทานที่ไหล ซึ่งรวมถึงความต้านทาน จากการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความร้อน สารไดอิเล็กตริก และตัวนำ

4.5.3.7 แบนด์วิดท์ (Bandwidth)

แบนด์วิดท์ของสายอากาศเป็นช่วงของความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้ดี ซึ่งช่วงความถี่ ถูกกำหนดโดย VSWR ประมาณ 2 หรือพิจารณาจากการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ที่ระดับ -10 dB ดังสมการที่ 4.21

$$BW_{\text{narrowband}} (\%) = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100 \quad (4.21)$$

BW คือ แบนด์วิดท์ของสายอากาศ

f_u คือ ขอบความถี่สูงของย่านความถี่

f_l คือ ขอบความถี่ต่ำของย่านความถี่

f_c คือ ความถี่กลางของย่านความถี่

4.6 การทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ

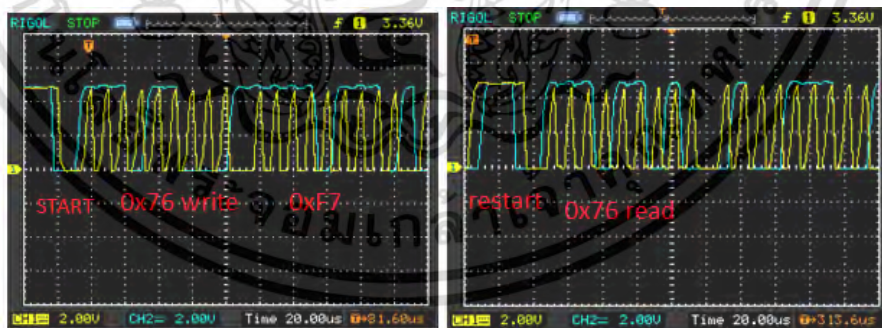
4.6.1 ผลการทดสอบของ GY-BMEP280

โดยจากการวัดค่าอุณหภูมิของสภาพอากาศทั้ง 3 ครั้งที่อุณหภูมิแตกต่างกันคือที่อุณหภูมิภายนอกอาคาร อุณหภูมิห้องปรับอากาศ และอุณหภูมิภายในตู้เย็น ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำไปหาค่าความคลาดเคลื่อนจะได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์โมดูล GY-BMEP 280 กับค่าที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์ (อ้างอิง) ในสภาพแวดล้อม 3 สภาวะ

สภาพแวดล้อม	ค่าที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์	ค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์โมดูล GY-BMEP 280	ค่าความผิดพลาด (%)
อุณหภูมิภายนอกอาคาร	33.00°C	33.10°C	0.30
อุณหภูมิห้องปรับอากาศ	27.00°C	27.28°C	1.04
อุณหภูมิภายในตู้เย็น	6.00°C	6.11°C	1.83
เฉลี่ย			1.06

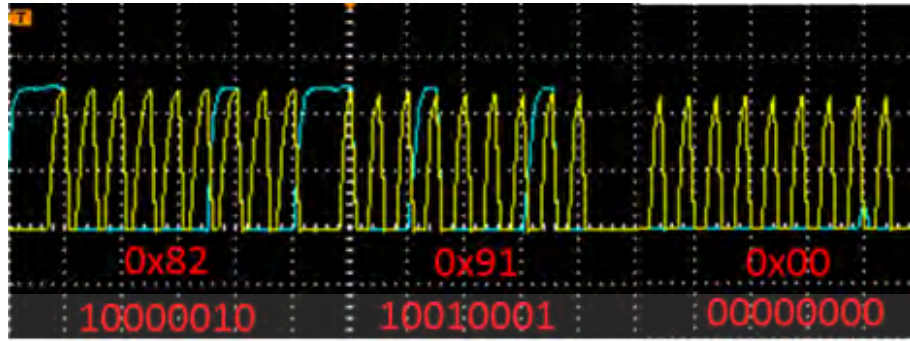
จากตารางที่ 4.12 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์โมดูลกับค่าที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์ (อ้างอิง) ในสภาพแวดล้อม 3 สภาวะ พบว่าค่าที่ได้จากอุปกรณ์จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นจริงเฉลี่ย 1.06 %



ภาพที่ 4.14 ค่าสัญญาณบิตข้อมูลจาก โมดูลGY-BMEP280

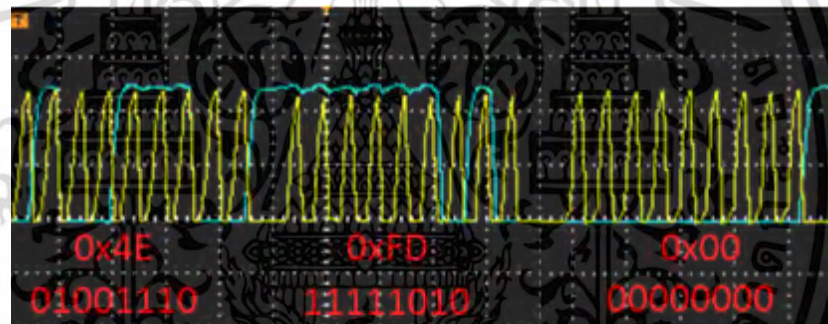
จากภาพที่ 4.14 ค่าสัญญาณบิตข้อมูลจากโมดูล GY-BMEP 280 แสดงข้อมูลเป็นดังนี้ CH1:SCL , CH2:SDA , Address BME280 = 0x76 และ Register 0xF7 - 0xF9 เป็นค่าความดัน, Register 0xFA - 0xFC เป็นค่าอุณหภูมิ และตามด้วย Register 0xFD – 0xFE เป็นค่าความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 ค่าสัญญาณบิตข้อมูลจากโมดูลGY-BMEP280 (ค่าอุณหภูมิ)

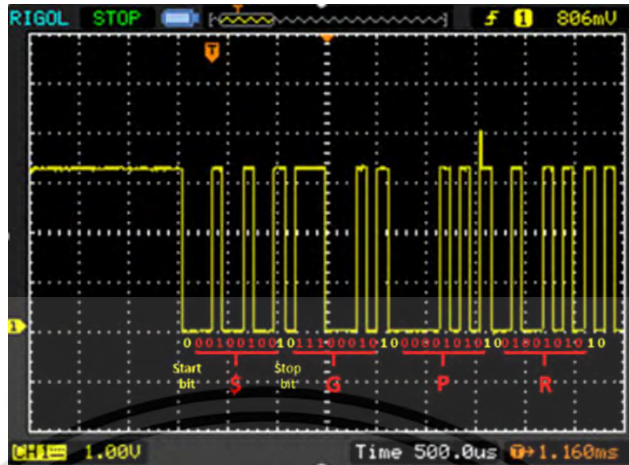
จากภาพที่ 4.15 แสดงค่าสัญญาณบิตที่วัดจาก Oscilloscope ซึ่งมีค่าอุณหภูมิ 82910 และค่าสัญญาณบิตที่วัดจาก Oscilloscope ของค่าความดันมีค่าเท่ากับ 4EFD0 แสดงดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 สัญญาณบิตข้อมูลจากโมดูลGY-BMEP280 (ค่าความดัน)

4.6.2 ผลการทดสอบของ GPS GY-NEO6MV2

จากการทดสอบรับข้อมูลของเซ็นเซอร์ GPS GY-NEO6MV2 โดยทำการรับข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ GPS GY-NEO6MV2 และวัดค่าสัญญาณบิตข้อมูลที่ได้ของขา Rx ของอุปกรณ์จากออสซิลโลสโคปและทำการถอดรหัสข้อมูลที่ได้ จะได้ดังตัวอย่างภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 ค่าสัญญาณบิตข้อมูลจากโมดูล GY-NEO6MV2

ค่าบิตข้อมูลจาก โมดูล GY-NEO6MV2 จะส่งมายัง Microcontroller อันซึ่งจะอยู่ในรูปแบบการสื่อสารแบบ UART โดยข้อมูลที่ส่งจะอยู่ในรูปรหัส ASCII 8 bit แล้วต่อด้วย Stop bit 1 bit เช่น ส่ง Protocol \$GPRMC ดังแสดงในภาพที่ 4.17

4.6.3 ผลการทดสอบของ ความสูงที่เปลี่ยนแปลงจากระดับน้ำทะเลกลาง

โดยจากการทดสอบจากดาดฟ้าตึกสูง 13 เมตร เมื่อนำอุปกรณ์ตรวจอากาศผูกกับเชือกแล้วอ่านค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลกลางที่ได้จากความดันและ GPS ในตำแหน่งนั้นแล้วบันทึกค่า จากนั้นปล่อยเชือกทีละ 1 เมตรแล้วทำการบันทึกค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลกลางที่ได้จาก GY-BMEP 280 และ GPS GY-NEO6MV2 เปรียบเทียบกับความสูงที่เปลี่ยนไปทีละ 1 เมตร จะได้ผลดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าเปรียบเทียบระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลกลางที่เปลี่ยนแปลงไปได้ค่าจาก GPS และที่ได้จากค่าความดัน

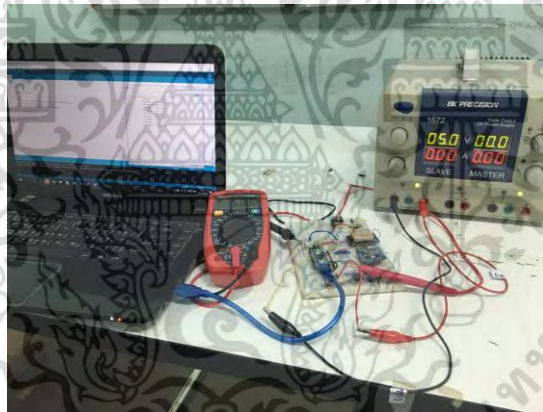
ความยาวเชือกจากดาดฟ้า(เมตร)	ความสูงที่เปลี่ยนแปลง(เมตร)	
	ค่าจาก GPS (เมตร)	ค่าจากความดัน (เมตร)
0	-	-
1	1.50	0.34
2	0.90	1.00
3	0.40	0.51
4	3.90	1.25
5	5.30	1.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	0.40	0.92
7	6.20	1.18
8	3.70	1.08
9	3.40	0.92
10	2.70	1.09
ความยาวที่เปลี่ยนแปลงเฉลี่ย	2.84	0.96

จากตารางที่ 4.13 ค่าเปรียบเทียบระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลกลางที่เปลี่ยนแปลงไปได้ค่าจาก GPS และที่ได้จากค่าความดัน พบว่าค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลกลางที่ได้จากค่าความดันมีค่าใกล้เคียงกับความสูงจากระดับน้ำทะเลกลางที่ได้จากค่า GPS และมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.70 เปอร์เซ็นต์

4.6.4 ผลการทดสอบของ POWER VOLTAGE



ภาพที่ 4.18 การวัดค่าของแหล่งจ่ายไฟโดยใช้ Power Voltage

จากภาพที่ 4.18 ทดสอบการอ่านค่าของ Power Voltage Circuit เทียบกับค่าจากแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเข้ามา โดยทำการวัดที่ค่าแรงดันแตกต่างกัน 4 ค่า ดังนี้ 3V, 5V, 7V และ 9V ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าแรงดันจาก Power Voltage Sensor และ แหล่งจ่ายไฟ

ค่าที่	ค่าที่วัดได้จาก Power Voltage Sensor			
	3 V	5 V	7 V	9 V
1	2.63	4.75	6.90	9.07
2	2.68	4.80	6.95	9.05
3	2.70	4.72	6.87	9.07
4	2.65	4.80	6.92	9.12
5	2.70	4.82	6.95	9.09
ค่าเฉลี่ย	2.67	4.78	6.92	9.08
% คลาดเคลื่อน	10.93	4.40	1.14	0.89

จากตารางที่ 4.14 แสดงข้อมูลจากการทดสอบการวัดแรงดันของ Power Voltage Circuit เทียบกับค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟที่ระดับแรงดัน 3V, 5V, 7V และ 9V ทำการหาค่าเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน โดยหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ Power Voltage Circuit มีค่าเท่ากับ 4.34 %

4.7 การทดสอบโดยการใช้งานจริง

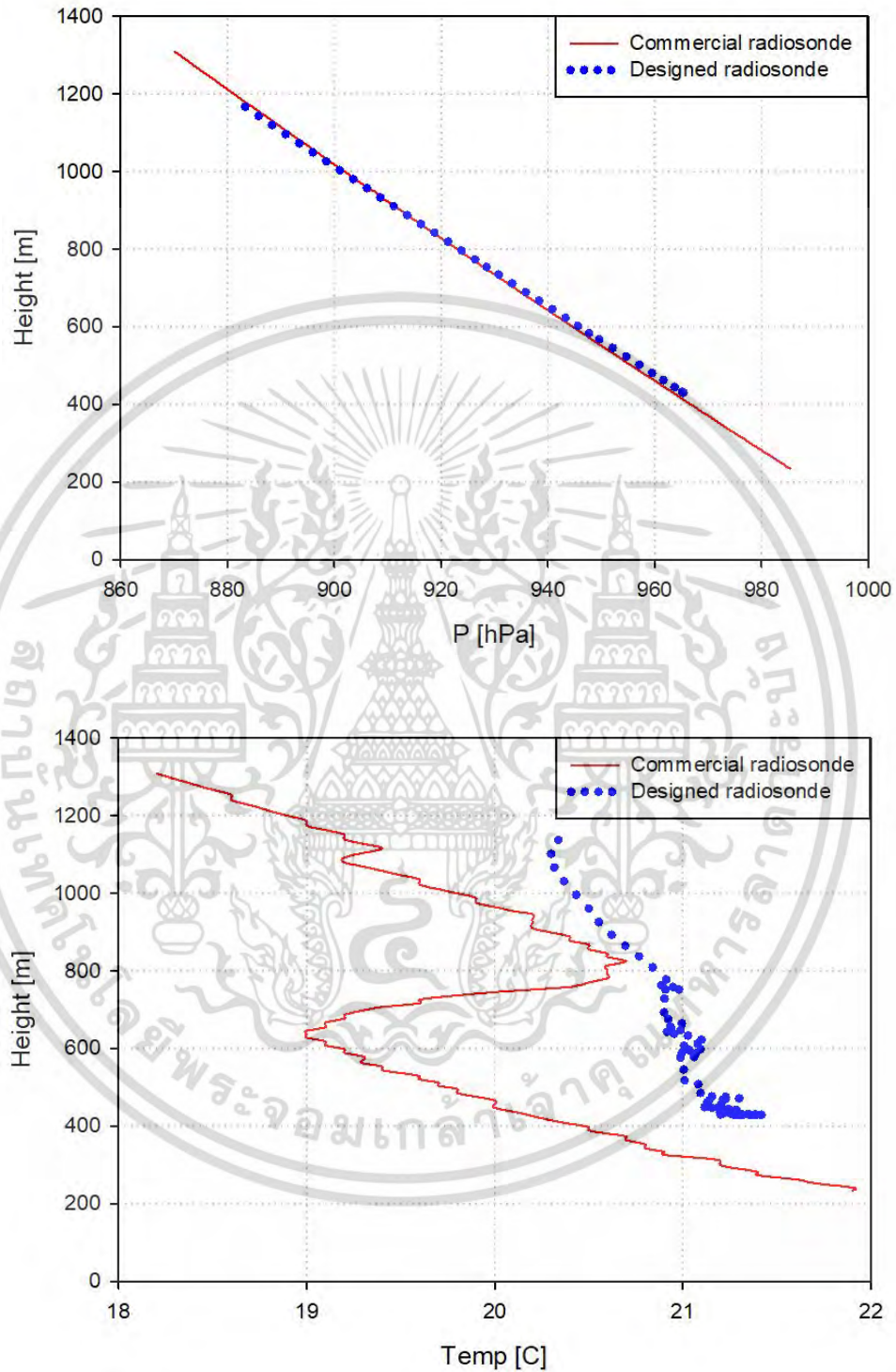
4.7.1 การทดสอบระบบตรวจอากาศครั้งที่ 1 ณ สถานีเรดาร์ฝนหลวงตาดลี จ.นครสวรรค์

4.7.1.1 การทดสอบการใช้งาน

การทดสอบอุปกรณ์ตรวจอากาศทั้งภาคส่งและภาครับ โดยกำหนดเพดานความสูงอยู่ที่ 1 กิโลเมตร เพื่อทดสอบระบบโดยภาพรวมเพื่อนำข้อมูลไปปรับแก้ในครั้งต่อไป และมีการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

4.7.1.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบการทดสอบใช้งาน

จากกราฟในภาพที่ 4.19 พบว่าเซ็นเซอร์ที่ใช้ในอุปกรณ์ตรวจอากาศที่จัดทำขึ้นนั้นยังมีความไวไม่เท่ากับเซ็นเซอร์ที่ใช้ในอุปกรณ์ตรวจอากาศในปัจจุบัน



ภาพที่ 4.19 ผลการเปรียบเทียบเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความดันระหว่างอุปกรณ์ตรวจอากาศที่จัดทำขึ้นกับอุปกรณ์ตรวจอากาศที่ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.20 การทดสอบการใช้งานจริงของอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ ณ สถานีเรดาร์ฝนหลวงตากลิ จ.นครสวรรค์

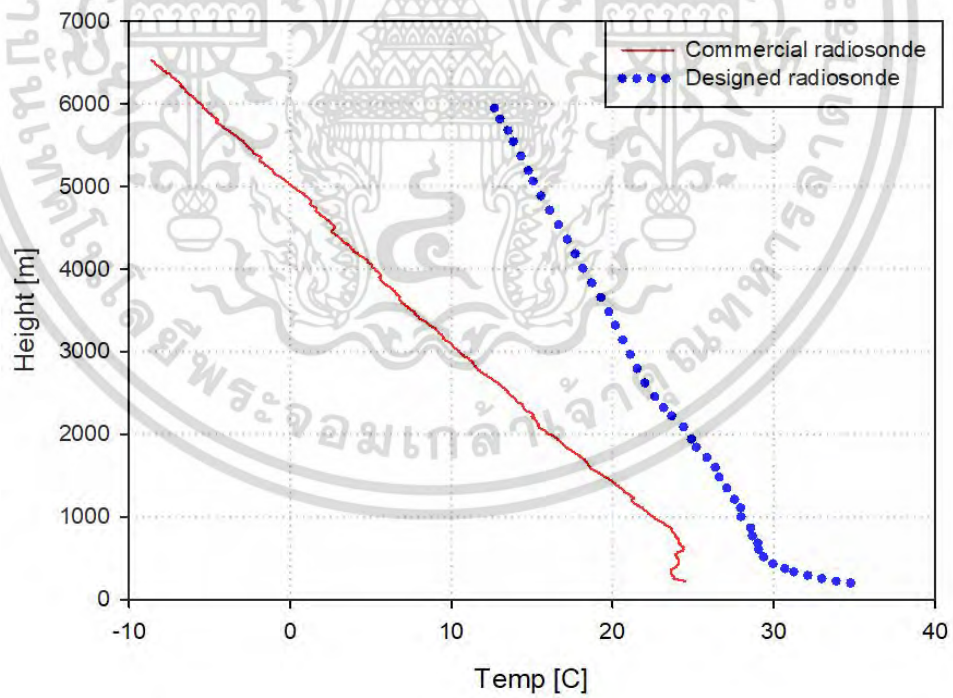
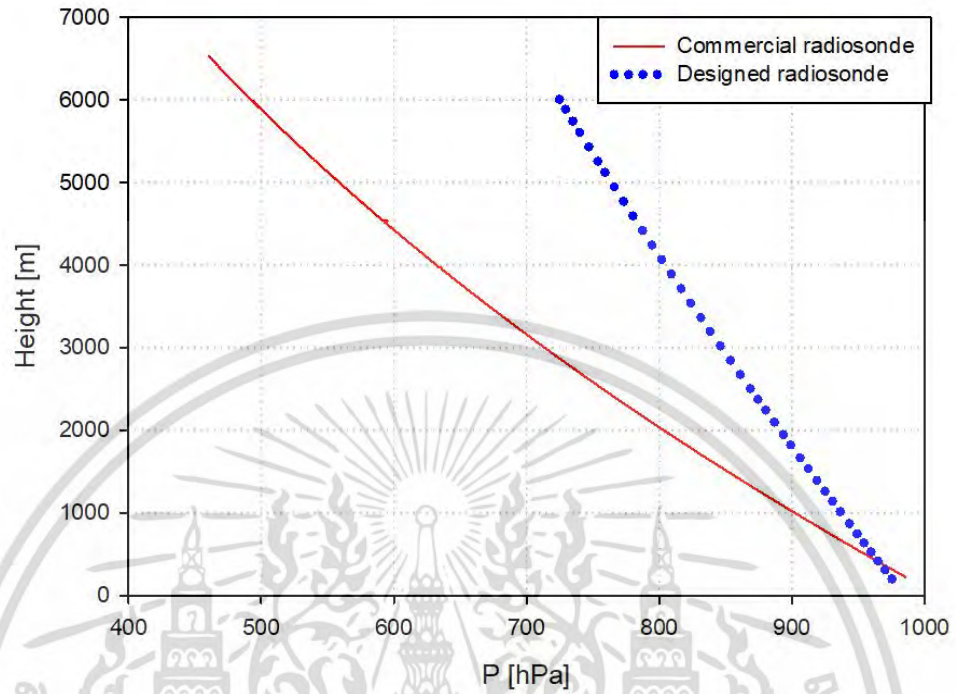
4.7.2 การทดสอบระบบตรวจอากาศครั้งที่ 2 ณ สถานีเรดาร์ฝนหลวงพิมาย จ.นครราชสีมา

4.7.2.1 การทดสอบใช้งานจริง

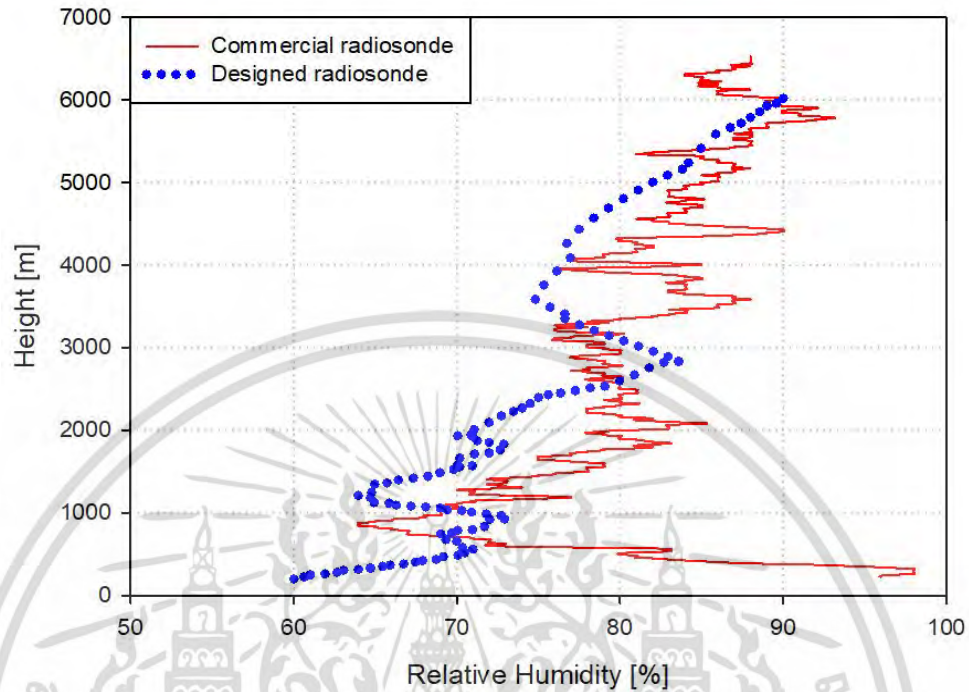
อุปกรณ์ตรวจอากาศในการทดสอบครั้งที่ 2 นี้ได้มีการปรับปรุงแก้ไขและเพิ่มเติมอุปกรณ์ตรวจอากาศมีความแม่นยำและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นจากการทดสอบในครั้งที่ 1 โดยการทำให้เซ็นเซอร์สัมผัสกับสภาพอากาศภายนอกมากยิ่งขึ้น กำหนดความสูงที่มากขึ้นให้เกิน 2-3 กิโลเมตร เพิ่มข้อมูลความชื้นในหน้าจอบแสดงผลและมีการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

4.7.2.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบการทดสอบใช้งาน

จากกราฟในภาพที่ 4.21 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มหน้าสัมผัสของเซ็นเซอร์ให้สัมผัสกับสภาพอากาศภายนอกมากยิ่งขึ้นก็ไม่ได้ทำให้ข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ตรวจอากาศที่จัดทำขึ้นและอุปกรณ์ตรวจอากาศในปัจจุบันมีค่าใกล้เคียงกัน เพราะฉะนั้นในการทดสอบครั้งต่อไปจะทำการเปลี่ยนเซ็นเซอร์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่านี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความดันและความชื้นระหว่างอุปกรณ์ตรวจอากาศที่จัดทำขึ้นกับ
อุปกรณ์ตรวจอากาศที่ใช้งานจริง



ภาพที่ 4.22 การทดสอบการใช้งานจริงของอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ ณ สถานีเรดาร์ฝนหลวงพินาย จ.
นครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. อุปกรณ์ตรวจอากาศสามารถทำงานได้ดี ทั้งระบบเซ็นเซอร์และระบบส่งข้อมูล
2. ภาครับสามารถรับข้อมูลและแสดงผลได้แบบ real time
3. สามารถใช้งานสายอากาศที่มีอยู่ในท้องตลาดได้เนื่องจากระดับความสูงในการตรวจอากาศสำหรับทำฝนหลวงอยู่ในระดับความสูงไม่เกิน 10 กิโลเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. พัฒนาเซ็นเซอร์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ราคาแพงขึ้น
2. สามารถเพิ่มอุปกรณ์เซ็นเซอร์ได้ สำหรับใช้ในภารกิจอื่นๆ
3. ระบบ tracking สายอากาศมีความจำเป็น ถ้าต้องการตรวจอากาศที่ระดับความสูงมากกว่า 5 กิโลเมตร
4. ทดสอบการใช้งานในรูปแบบอื่น เช่น ติดอุปกรณ์ตรวจอากาศไปกับโดรน

บทที่ 6

สรุปผลผลิตงานวิจัย

Journal

P. Chodkaveekityada and P. Wardkein, “Design and Development of a High-and-Low-Altitude Air Observation System for Rainmaking Process in Thailand,” *International Journal of Machine Learning and Computing*, Vol. 9, No. 3, pp. 310-315, 2019.

Conferences

1. P. Chodkaveekityada and P. Wardkein, “Design and Development of Ground Station for Advanced Weather Sensor Network for Rainmaking Process in Thailand,” *International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE)*, 10-13 July, 2018, Budapest, Hungary.

2. P. Chodkaveekityada and P. Wardkein, “Design and Development of Effective Radiosonde for Rainmaking Process in Thailand,” *International Symposium on Antenna and Propagation (ISAP)*, 23-26 October, 2018, Busan, Korea.

เอกสารอ้างอิง

- [1] B. K. Mandal, D. Bhattacharyya and S. Kang, "Attenuation of Signal at a Tropical Location with Radiosonde Data Due to Cloud," *Int. J. Smart Home*, vol. 8, no. 1, pp.15-22, 2014.
- [2] Y. H. Kuo, W. S. Schreiner, J. Wang, D. L. Rossiter and Y. Zhang, "Comparison of GPS radio soundings with radiosondes," *Geophysical Research Letters*, vol. 32, L05817, doi:10.1029/2004GL021443, 2005.
- [3] V. O. John and S. A. Buehler, "Comparison of microwave satellite humidity data and radiosonde profiles: A survey of European stations," *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 5, pp.1843-1853, 2005.
- [4] M. W. Ryu, S. S. Lee, J. Yun, I. Y. Ahn and H. W. Seok, "Design and Implementation of a Real-time Radiosonde Locatio System for Upper-air Observation," *Smart Computing Review*, vol. 4, no. 1, 2014.
- [5] GPS-Based Measurement of Height and Pressure with Vaisala Radiosonde White Paper, Vaisala Oyj, 2013.
- [6] R. Lehtinen, T. Tikkanen, J. P. Rasanen, M. Turunen, "Factors Contributing to RS41 GPS-based Pressure and Comparison with RS92 Sensor-based Pressure," *TECO* 2014.
- [7] P. Survo, R. Lehtinen, J. Kauranen, "SI Traceability of Vaisala Radiosonde RS41 Sounding Data Calibration and Uncertainly Analysis," *TECO* 2014.
- [8] K. H. Kim, H. C. Bang, J. S. Chae, H. Y. Park, and S. H. Lee, "Ground station design for STSAT-3," *Int'l J. of Aeronautical & Space Sci*, vol. 12, no. 3, pp. 283-287, 201, doi:10.5139/IJASS.2011.12.3.283.
- [9] T. Choi, T. H. Stevenson, and E. G. Lightsey, "Reference ground station design for university satellite mission with varying communication requirements," *55th AIAA Aerospace Sciences Meeting*, 9-13 Jan. 2017, Grapevine, Texas.
- [10] R. M. R. Osorio, S. R. D. M. Coca, and F. R. Vedal, "Educational ground station based on software defined radio," *59th International Astronautical Congress*, 29 Sep. – 3 Oct. 2008, Glasgow, UK.
- [11] A. Done, A. M. Cailean, C. E. Lesanu, M. Dimian, and A. Graur, "Desing and Implementation of a Satllite Communication Ground Station," *International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, 13–14 July. 2017, Iasi, Romania.
- [12] M. Bazdresch, S. Velayudhan, and W. Johnson, "A Satellite Ground Station for Teaching Digital and Wireless Communications," *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 12–15 Oct. 2016, PA, USA.
- [13] R. H. Ma, Y. H. Wang, and C. Y. Lee, "Wireless remote weather monitoring system based on MEMS technologies," *Sensors*, 2011, vol. 11, pp. 2715-2727, doi:10.3390/s110302715.

- [14] A. Krauchi, R. Philipona, G. Romanens, D. F. Hurst, E. G. Hall, and A. F. Jordan, "Controlled weather balloon ascents and descents for atmospheric research and climate monitoring," *Atmos. Meas. Tech.*, 2016, vol. 9, pp. 929-938, doi:10.5194/amt-9-929-2016.
- [15] D. H. Kim, J. Y. Lim, and J. D. Kim, "Low-power, long-range, high-data transmission using Wi-Fi and LoRa," 6th International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS), 26 – 29 Sep. 2016, Prague, Czech Republic.
- [16] M. Cattani, C. A. Boano, and K. Romer, "An experimental evaluation of the reliability of LoRa Long-Range Low-Power wireless communication," *J. Sens. Actuator Netw.*, 2017, vol. 6, no. 7, doi:10.3390/jsan6020007.
- [17] G. Margelis, R. Piechocki, D. Kaleshi, and P. Thomas, "Low Throughput Networks for the IoT: Lessons Learned From Industrial Implementations," 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 14-16 Dec. 2015, Milan, Italy.
- [18] A. J. Wixted, P. Kinnaird, H. Larijani, A. Tait, A. Ahmadi and N. Strachan, "Evaluation of LoRa and LoRaWan for Wireless Sensor Networks," *IEEE Sensors*, 30 Oct-2 Nov. 2016, Orlando, Florida, USA.
- [19] World Meteorological Organization: www.wmo.int



ภาคผนวก ก
เอกสารผลงานวิจัย

1. The 9th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE2018)
2. International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2018)
3. International Journal of Machine Learning and Computing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONFERENCE PROGRAM

The 9th
International Conference
on Mechanical and
Aerospace Engineering

ICMAE 2018

With workshop of

2018 The 7th International Conference on Pure and
Applied Mathematics

ICPAM 2018

Faculty of Informatics, Eötvös Loránd University,
Budapest, Hungary
July 10–13, 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้
ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Design and Development of Ground Station for Advanced Weather Sensor Network for Rainmaking Process in Thailand

P. Chodkaveekityada and P. Wardkein

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

Abstract—Weather information is very important for agricultural country. Thailand is a top exporter of agricultural product. However, in some areas in Thailand, there is not enough water to grow plants. This is the reason to employ high technology to produce rain. An effective weather sensor network will be useful for increasing rainmaking efficiency. This work is a design and development of a ground station suitable for advanced weather sensor network for rainmaking process.

Keywords—rainmaking; weather sensor network; ground station

I. INTRODUCTION

Nowadays, sensor network system has made our life easier such as its uses in smart city, health monitoring and IoT. Agriculture is another area that follows this trend called smart farming. For smart farming, many sensors will be used for monitoring the growth of plants, for providing weather information and for automating agricultural machine operation. Sensor network will help increase the quality of agricultural products and help to manage the overall agricultural system. At present, a sensor network for farming process, for predicting the rain and for managing water for farming is very much in need.

The weather observation system technology in Thailand was imported several decades ago. The technology that supports rainmaking is known as a radiosonde system for observing the weather of the upper-air. The conventional ground system for radiosonde uses a very big antenna hence needs a lot of space. This is a waste of resource and budget. This conventional system is very old. New technology is released every day and it can be used to gain more precise weather information for efficient rainmaking operation. Therefore, the ground station needs to be improved to support an advanced sensor network in the future.

Ground station design is quite dependent of the specific purpose of the application. Several factors need to be considered such as operating frequency, antenna gain, operating distance and type of antenna. For our purpose, we would like to develop a ground station not only for using with a weather sensor network for rainmaking process but also for general weather observation. Our design was up-to-date and would be able to support any advanced sensor network. Specifically, our ground station was designed to reduce the weight of the tracking system and antenna to make it portable and easy to installed.

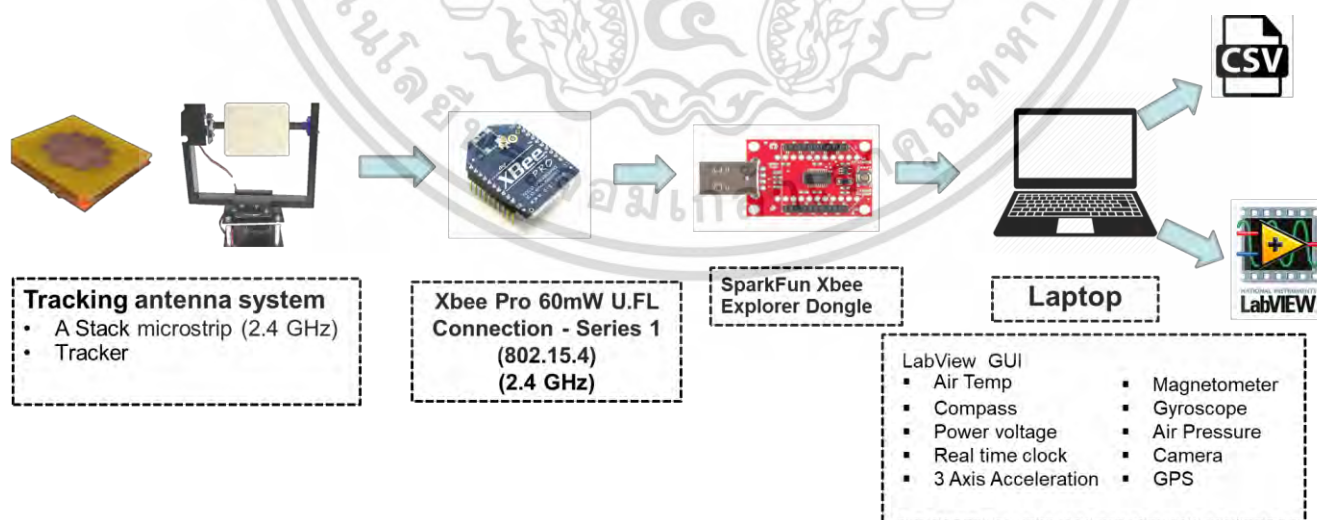


Fig. 1. Ground station diagram.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

II. GROUND STATION DESIGN

Ground station is design based on the mission of the operation [1] – [3]. This project aimed to design and develop a ground station for receiving the weather information from a transmitter high up in the air that is going to be used in rainmaking operation. The altitude of the transmitter operation is between 1 km to 15 km high because the transmitter has to be at about the same height from the ground as the airplane that carries out the rainmaking operation does, not exceeding 10 km in height. Thus, this system must be able to operate at a height that is higher than the standard equipment typically does.

Presently, the type of existing ground station used in Thailand is not suitable for receiving today's huge amount and diverse type of data from an advanced transmitter. For example, the existing ground station uses a very big antenna and is only able to receive data from only a single transmitter at one time, but the present technology dictates a need for a ground station to receive data from multiple sensors to get more precise data that will increase the effectiveness of the rainmaking operation. The cost of the existing system is also very high due to its having been imported from another country. This project also aimed to develop and manufacture new equipment within the country to reduce the average cost of investment and operation.

This proposed ground station is shown in Fig. 1. It consists of an antenna, a tracking system, a receiver and a GUI interface. Two operational frequencies are utilized in this project: 2.4 GHz by an Xbee module, aiming to operate at a low altitude of no more than 2 km and for drone operation; and 433 MHz by Lora module for high altitude use up to 15 km [4] carried by a helium balloon.

III. ANTENNA DESIGN

Antenna is a significant part of a base station that can increase the efficiency of the system. Gain and pattern of antenna design are the priority consideration. This paper chose to design only a 2.4 GHz antenna because of its merit of lightweight, compactness, portability and inexpensiveness. The stack microstrip antenna shown in Fig. 2 was made of FR4 dielectric substrate with a relative permittivity and loss tangent of 4.40 and 0.02, respectively.

The simulated S11 of the antenna was lower than -10 dB covering a frequency range from 2.38 GHz to 2.56 GHz. The peak S11 was at 2.45 GHz. And the simulated radiation pattern was unidirectional with a gain of 8.31 dBi.

The measured results of the antenna are shown in Fig. 3. The S11 was better than the acceptable standard of -10 dB meaning that this antenna was usable. The determined pattern was wider than the simulated pattern. The half power beamwidth was about 60 degrees. The measurement gain was 6.5 dBi.

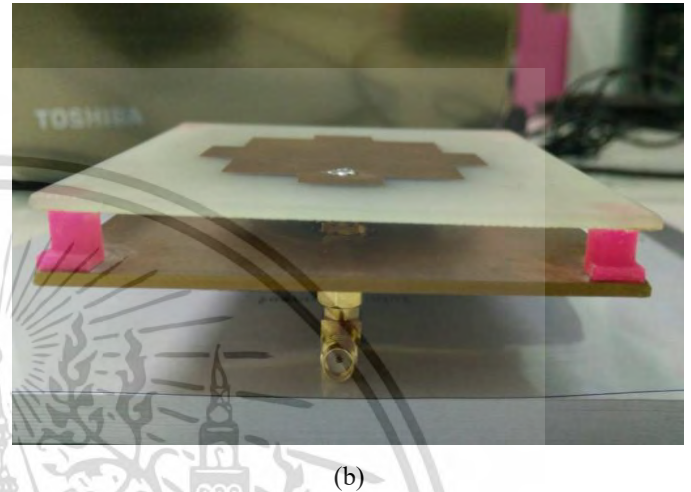
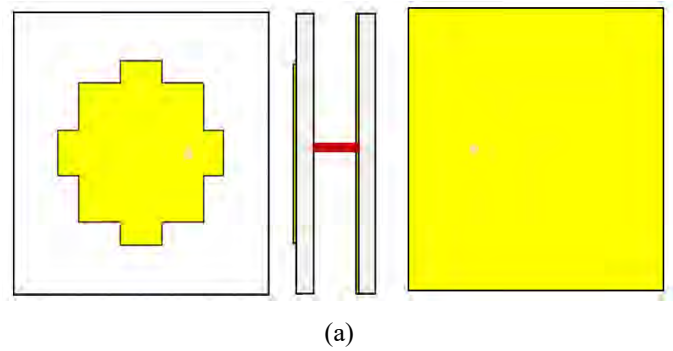
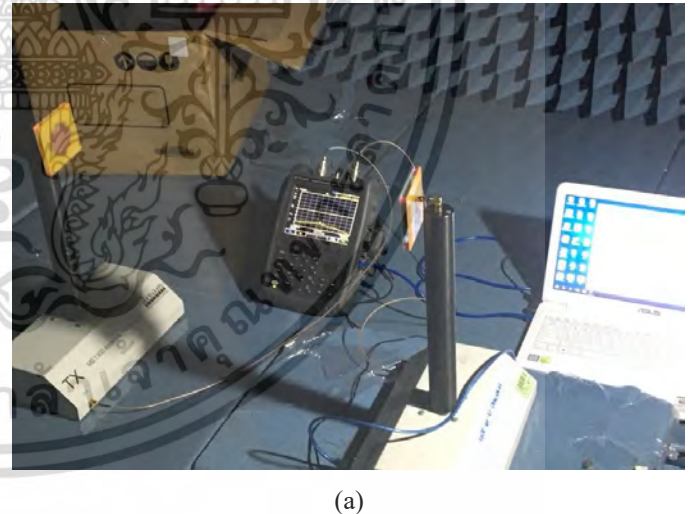


Fig. 2. A stack microstrip antenna (a) simulation (b) actual.



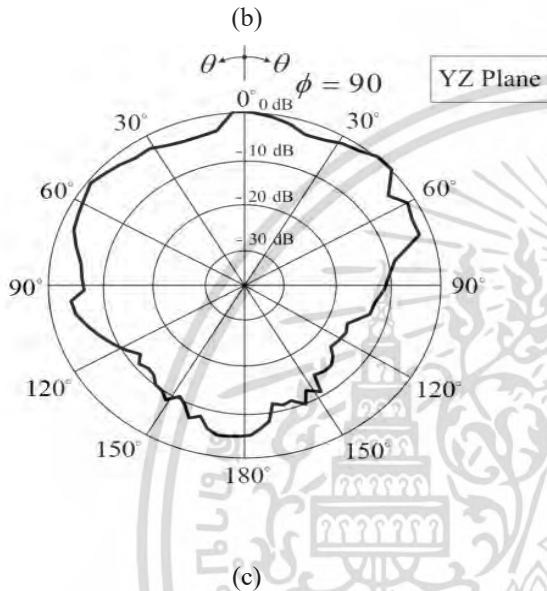
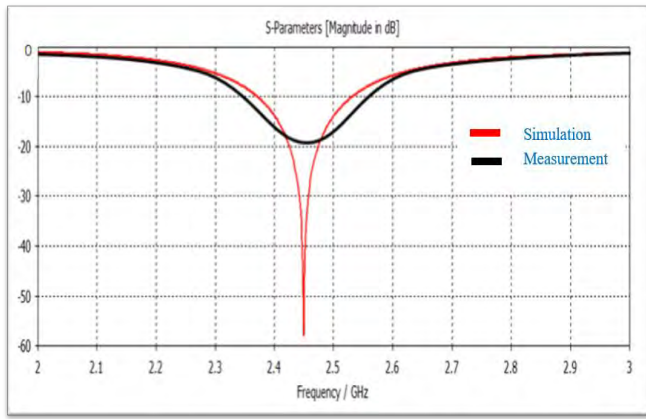


Fig. 3. Measurement results (a) chamber room test (a) S11, (b) pattern

IV. TRACKING SYSTEM DESIGN

Tracking system is a very important part to the operation of rainmaking because the receiver needs to receive weather information data from every desired altitude accurately. If we could get more and accurate weather data, it would be useful for successful rainmaking in the desired area. Due to rapid lifting up of helium balloon, the tracking system had to be able to automatically follow the helium balloon accurately. The structure of the tracking system was designed to be portable and lighter than the old system by using aluminium frame as shown in Fig. 4. This tracking system was designed to carry a load of antenna of about 1 kg. The antenna might be a 2.4 GHz stack microstrip antenna or a 433 MHz yagi antenna.

This tracking system can be rotated 180 degrees around the vertical axis and 360 degrees around the horizontal axis by a step motor. To control the step motor, the tracking antenna system would be installed with Arduino, a GPS module, a compass sensor and an accelerometer sensor for calculating bearing angle and elevation angle between the location of the tracking antenna and the weather sensor equipment installed in the helium balloon.

V. DISPLAY SCREEN

The display design used LabVIEW software program as the basic engineering tool that showed the data from each significant sensor in the transmitter equipment attached to the balloon. The purpose of the design was for the easiest use by technicians and other non-engineers. The needed weather observation data were mainly surrounding weather parameters such as temperature, pressure and humidity, but in this project, the entire system was aimed to be a smart system hence a variety of sensors would be installed. Increasing the number of sensors means increasing weight, bandwidth and power requirement and complexity of the system, but it would be worthy to do so. Fig. 5 shows the designed screen with many data blocks consisting of date, time, GPS location from Google map, voltage level, compass direction, 3-axes acceleration and elevation speed. Each data block can be zoomed in and out freely. All sensor data would be displayed in real time when the system is operating and also after the operation was finished. The data would be stored in a format such as excel file format so that they were easy to access.

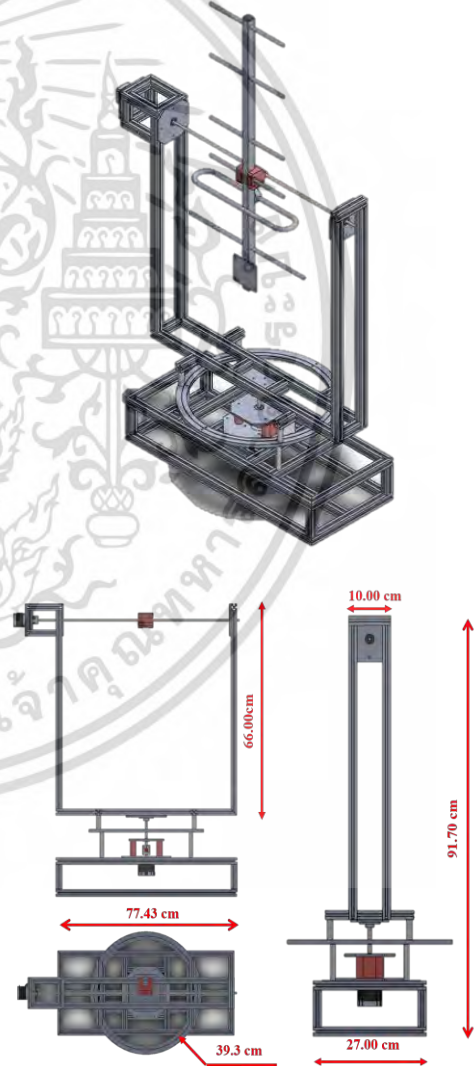


Fig. 4. Structure of tracking antenna.

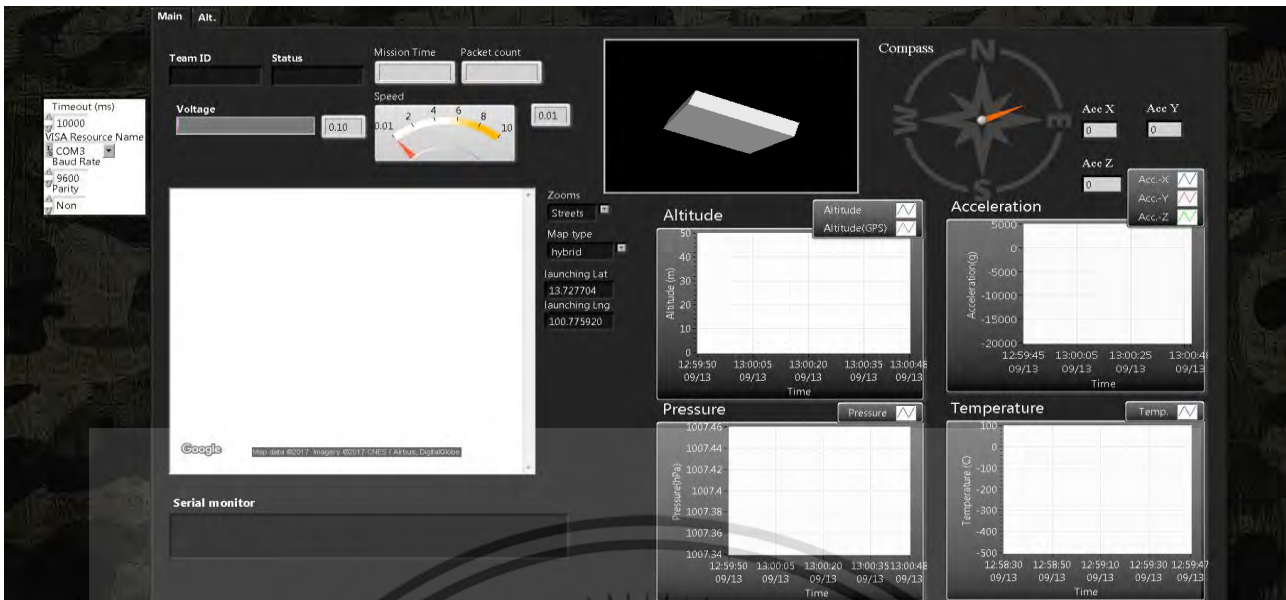


Fig. 5. Display screen.

VI. CONCLUSION

This paper describes how to design a ground station for a future advanced sensor network for rainmaking and weather observation. The flow diagram of this ground station is almost the same with a station for other purposes. However, the specific purpose of a mission makes each system unique. Finally, this designed system is very valuable in reducing imports of foreign technologies and in enhancing the technology developed in the country.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang [KREF046009].

REFERENCES

- [1] K. H. Kim, H. C. Bang, J. S. Chae, H. Y. Park, and S. H. Lee, "Ground Station Design for STSAT-3," *Int'l J. of Aeronautical & Space Sci.*, vol. 12(3), pp. 283-287, 201, doi:10.5139/IJASS.2011.12.3.283.
- [2] T. Choi, T. H. Stevenson, and E. G. Lightsey, "Reference Ground Station Design for University Satellite Mission with Varying Communication Requirements," *55th AIAA Aerospace Sciences Meeting*, 9-13 January 2017, Grapevine, Texas.
- [3] R. M. R. Osorio, S. R. D. M. Coca and F. R. Vedal, "Educational Ground Station Based on Software Defined Radio," *59th International Astronautical Congress*, 29 September – 3 October 2008, Glasgow, UK.
- [4] D. H. Kim, J. Y. Lim and J. D. Kim, "Low-Power, Long-Range, High-Data Transmission Using Wi-Fi and LoRa," *6th International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS)*, 26 – 29 September 2016, Prague, Czech Republic.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISAP 2018

2018 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANTENNAS AND PROPAGATION

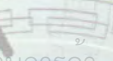
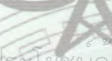
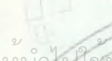
October 23~26, 2018
Paradise Hotel Busan, Busan, Korea



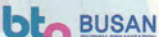
Organized by



Technically Co-Sponsored by



Supported by



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญขาดหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องย้ ฟ้องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้



Design and Development of Effective Radiosonde for Rainmaking Process in Thailand

Peeramed Chodkaveekityada and Paramote Wardkein

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Abstract - Weather information is very useful to many activities in every country such as aeronautical, meteorological and rainmaking. Thailand is located near the equator that makes the weather in this region vary a lot and more severe than in another areas. Thailand also exports a lot of agricultural products to serve people globally. Oftentimes, rain does not fall on an intended area like an area round a dam, hence there is not enough water to provide to farmers. This work is a part of a goal to design and develop a weather observation system suitable for rainmaking in Thailand.

Index Terms — Rainmaking, Radiosonde, Weather observation.

1. Introduction

Currently, technology has changed very rapidly. In the past, the gap of transitional change was about 10 years, but nowadays, 2 years is considered quite long for a new technology. Thailand is one country that imports most technologies from developed countries and cannot produce many technological products on its own. This is the right time to develop, adapt and apply current technologies for use within the country.

Thailand produces a lot of agricultural products to serve the world such as rice, fruits and vegetables, but we also face a lot of problem of drought and water resource management to efficiently provide water to farmers. To deal with this issue, the department of royal rainmaking and agricultural aviation was established so that farmers can grow plants throughout the year. This paper proposes to develop a radiosonde, a portable sensor and radio transmitter system, to be more effective than the existing system in order to better serve a variety of weather observation missions [1]-[2].

2. System Design

A radiosonde is an instrument for weather observation which includes sensors and a radio transmitter. In order to develop an equipment like radiosonde, its main subsystems should be considered: the sensor subsystem and the electrical subsystem which is described below.

(1) Sensor Subsystem

Normally, weather observation sensors include plain temperature, pressure and humidity sensors, but our design aimed to improve the system to be more intelligent than the existing one. Fig. 1 shows our sensor subsystem that included a GPS sensor, an accelerometer sensor and a

power monitor device. A microcontroller was used to create packages of formatted data that are uniquely identifiable in order to avoid interfering with other packages. Moreover, we installed a data logger to record and store all sensor data in case data loss happens while the system is in operation. The transmitter we used was a LoRa module [3] due to its long operational range of over 20 km.

(2) Electrical Subsystem

This system is quite important because the its power supply has to generate sufficient power to cover all operations at all time. There were several sensors that needed a lot of power and current in order to work adequately. We selected to use a rechargeable 9V 800 mAh battery that could supply continuous power for more than 2 hours. Fig. 2 shows the electric flow of the electrical subsystem from the source to every device. Since each device needed a maximum supply voltage of 5V, we had to convert the voltage down from 9V to 5V efficiently. Moreover, some device could use the power supplied from microcontroller ports that produced about 3.3V.

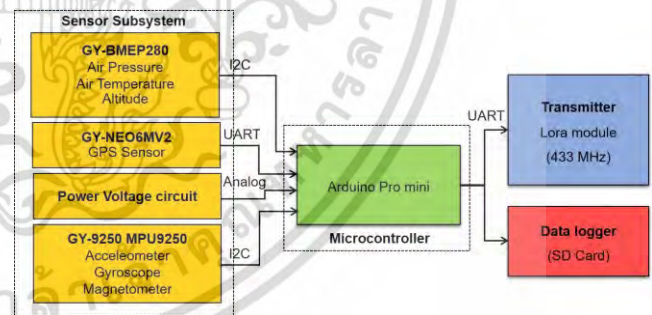


Fig. 1. Sensor subsystem diagram.

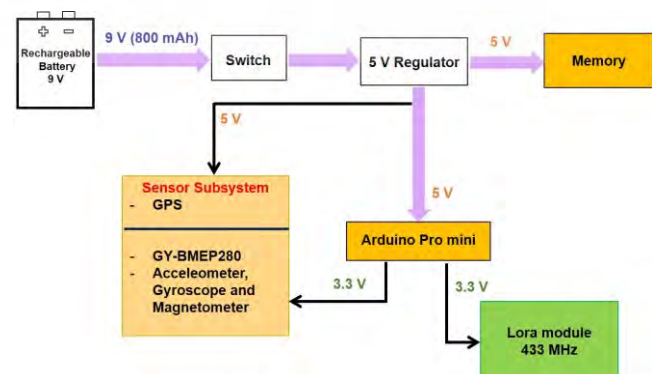


Fig. 2. Electrical subsystem diagram.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

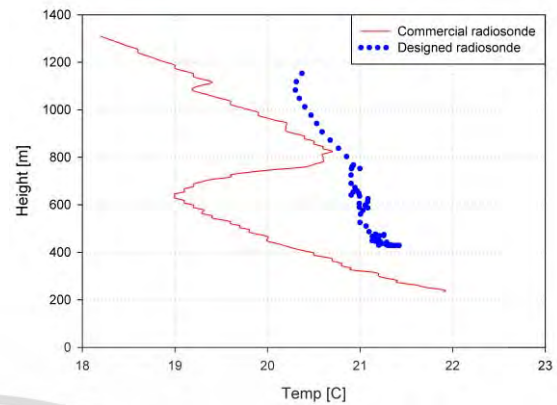


Fig. 3. The designed radiosonde configuration before a test.

3. Preliminary Test Results

The first balloon flight test started from an uphill location about 400m above sea level. Fig. 3 shows the designed weather observation instrument including all of the sensors mentioned that could transmit data back to a base station with a LoRa module operating at 433 MHz. We attached a strip of sticker to the instrument with detailed information for anyone who happened to collect it to understand its purpose and not feel panic. Moreover, we employed a parachute to reduce the descent rate as the instrument was falling down to the ground.

Fig. 4 shows the received weather data from about 400m to almost 1200m altitude to the base station. The comparative results between a current commercial radiosonde (the red straight line) and our designed radiosonde (the blue connected dots) shown in Fig. 4 are results of pressure and temperature data. It can be observed that the trends of the pressure data in Fig. 4(a) sensed by both radiosondes were almost exactly the same, while the temperature data obtained from the commercial radiosonde varied more than the data from our designed radiosonde because the sensor that we used was cheap and less sensitive (Fig. 4(b)).



(b)

Fig. 4. Comparative weather sensor data between two radiosondes (a) pressure (b) temperature.

We plan to test the designed radiosonde to acquire data at varying altitudes to cover rainmaking operation at 6-10 km above the ground several more times. Our next test will not only be limited to balloon flight but it may be attached to a drone for low altitude weather observation. In order for our designed radiosonde to be able to replace the current commercial one, we need to design into it a friendlier container and make it easy to operate by non-engineers.

4. Conclusion

This paper proposes the design and development of a weather observation instrument with purposes to reduce the cost of rainmaking operation and to prepare for many advanced missions beyond the capability of the existing instrument in the future. This paper provides only the information on the sensor subsystem and electrical subsystem, but we also developed the whole system including the recovery process, the software and a tracking system. The test results show that the trend of the collected data was valid but the temperature sensor needs to be upgraded to be more accurate.

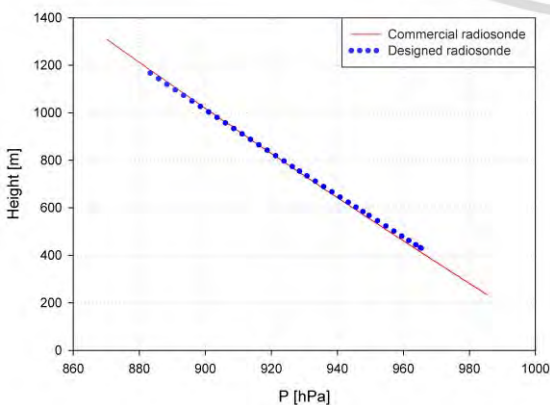
Acknowledgment

This work was supported by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang [KREF046009].

References

- [1] F. Flores, R. Rondanelli, A. Abarca, M. Diaz, and R. Querel, "Tools for DIY site-testing," *Proc. The International Society for Optical Engineering*, Sep. 2012.
- [2] R. H. Ma, Y. H. Wang, and C. Y. Lee, "Wireless Remote Weather Monitoring System Based on MEMS Technologies," *Sensors*, 2011, vol. 11, pp. 2715-2727, doi:10.3390/s110302715.
- [3] D. H. Kim, J. Y. Lim, and J. D. Kim, "Low-Power, Long-Range, High-Data Transmission Using Wi-Fi and Lora," *6th International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS)*, 26-29 Sep. 2016, Prague, Czech Republic.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ (a) วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



International Journal of Machine Learning and Computing



please select 

What's New

Mar 27, 2019 News! Good News! All papers from Volume 9, Number 1 have been indexed by Scopus! [\[Click\]](#)

Jul 08, 2019 News! Vol.9, No.4 has been published with online version. [\[Click\]](#)

May 07, 2019 News! Vol.9, No.3 has been published with online version. [\[Click\]](#)

[HOME](#) > [Archive](#) > [2019](#) > [Volume 9 Number 3 \(Jun. 2019\)](#) >

IJMLC 2019 Vol.9(3): 310-315 ISSN: 2010-3700
DOI: 10.18178/ijmlc.2019.9.3.803

Design and Development of a High-and-Low-Altitude Air Observation System for Rainmaking Process in Thailand

P. Chodkaveekityada and P. Wardkein

Abstract—Thailand has been known as a top agricultural exporter in the world. But in every year, we miss a lot of opportunities to export some agricultural products due to drought condition. In the years 2017 and 2018, the areas in risk of a drought crisis were 47 areas throughout the whole country amounting to around 1.5 million acres. There was not enough water to grow plants in these areas. As a matter of fact, Thailand is located near the equator which has more cumulative rainfall volume than any other areas in the world. Still, drought crisis happens every year. One of the reasons behind this may be lack of valid predictive information. Weather information is very important for an agricultural country. Thailand has not invested sufficiently in building an effective weather sensor network. A compromise has been made by employing high technology to produce rain in specific areas instead to alleviate drought crisis. This work was a design and development of a high-and-low-altitude air observation system suitable for rainmaking process in Thailand that aimed to reduce the import of advanced and expensive technology.

Index Terms—Rainmaking, high-and-low altitude air observation, ground station.

P. Chodkaveekityada and P. Wardkein are with the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand (e-mail: peeramed.ch@kmitl.ac.th).

[\[PDF\]](#)

Cite: P. Chodkaveekityada and P. Wardkein, "Design and Development of a High-and-Low-Altitude Air Observation System for Rainmaking Process in Thailand," *International Journal of Machine Learning and Computing* vol. 9, no. 3, pp. 310-315, 2019.

Search

General Information

ISSN: 2010-3700 (Online)

Abbreviated Title: Int. J. Mach. Learn. Comput.

Frequency: Bimonthly

DOI: 10.18178/IJMLC

Editor-in-Chief: Dr. Lin Huang

Executive Editor: Ms. Cherry L. Chen

Abstracing/Indexing: Scopus (since 2017), EI (INSPEC, IET), Google Scholar, Crossref, ProQuest, Electronic Journals Library.

E-mail: ijmlc@ejournal.net

PREVIOUS PAPER

[Web-Based Implementation of Risk Analysis of Paddy Production with ENSO Indicators](#)

NEXT PAPER

[A New External Force for Snake Algorithm Based on Energy Diffusion](#)

Editor-in-chief



Dr. Lin Huang

Metropolitan State University of Denver, USA

It's my honor to take on the position of editor in chief of

IJMLC. We encourage authors to submit papers concerning any branch of machine learning and computing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Development of a High-and-Low-Altitude Air Observation System for Rainmaking Process in Thailand

P. Chodkaveekityada and P. Wardkein

Abstract—Thailand has been known as a top agricultural exporter in the world. But in every year, we miss a lot of opportunities to export some agricultural products due to drought condition. In the years 2017 and 2018, the areas in risk of a drought crisis were 47 areas throughout the whole country amounting to around 1.5 million acres. There was not enough water to grow plants in these areas. As a matter of fact, Thailand is located near the equator which has more cumulative rainfall volume than any other areas in the world. Still, drought crisis happens every year. One of the reasons behind this may be lack of valid predictive information. Weather information is very important for an agricultural country. Thailand has not invested sufficiently in building an effective weather sensor network. A compromise has been made by employing high technology to produce rain in specific areas instead to alleviate drought crisis. This work was a design and development of a high-and-low-altitude air observation system suitable for rainmaking process in Thailand that aimed to reduce the import of advanced and expensive technology.

Index Terms—Rainmaking, high-and-low altitude air observation, ground station.

I. INTRODUCTION

Currently, technology has changed very rapidly. In the past, the gap of transitional change was about 10 years, but nowadays, 2 years is considered quite long for a new technology. Thailand is one country that imports most technologies from developed countries and cannot produce many technological products on its own. It is one of the reasons why Thailand cannot step forward to be a developed country. Most import technologies have been designed for general global usage, but for some of our purposes, a specific kind of technology is required. If we do not develop a know-how on how to produce a specifically needed technology, it is equivalent to the country stepping backward. We will continually need to a lot more money to buy the technology from other countries. Now is the right time to develop, adapt and apply current technologies for use within our country. At the very least, if we can acquire some know-how, we will be a smarter buyer and we can apply the know-how to conduct some immediate missions to protect the lives and assets of the people such as the recent case of Tam-Luang cave rescue.

Nowadays, sensor network system has made our life easier

such as its uses in smart city, health monitoring and IoT. Agriculture is another area that follows this trend called smart farming. For smart farming, many sensors will be used for monitoring the growth of plants, for providing weather information and for automating agricultural machine operation. Sensor network will help increase the quality of agricultural products and help to manage the overall agricultural system. At present, a sensor network for farming process, for predicting the rain and for managing water for farming is very much in need. Thailand produces a lot of agricultural products to serve the world such as rice, fruits and vegetables, but we also face a lot of problem of drought and water resource management to efficiently provide water to farmers. To deal with this issue, the department of royal rainmaking and agricultural aviation was established so that farmers can grow plants throughout the year.

The weather observation system technology in Thailand was imported several decades ago. The technology that supports rainmaking is known as a radiosonde [1]-[7] system for observing the weather of the upper-air. A radiosonde system includes many subsystems such as a communication subsystem, an electrical power subsystem, and a sensor subsystem. Every subsystem was designed as a general-purpose module that is easily applied to any commercial applications. However, sometimes we need more kinds of information from a radiosonde other than temperature, pressure, and humidity that a general radiosonde provides. For example, the information on its location and its remaining battery life during an operation is very important for many of our expected operations. This research aimed to improve a radiosonde so that it can support suitable replaceable subsystems for a specific mission, not only for a conventional observation by balloon flight. For example, it was desirable to be able to attach a radiosonde to a drone, a UAV, or an airplane. Moreover, it was also desirable to be able to get personalized weather information for an individual's home from a radiosonde.

The conventional ground system for radiosonde uses a very big antenna hence needs a lot of space. This is a waste of resource and budget. This conventional system is very old. New technology is released every day and it can be used to gain more precise weather information for efficient rainmaking operation. Therefore, the ground station needs to be improved to support an advanced sensor network in the future.

Ground station design [8]-[12] is quite dependent of the specific purpose of the application. Several factors need to be considered such as operating frequency, antenna gain, operating distance and type of antenna. For our purpose, we would like to develop a ground station not only for using with

Manuscript received January 6, 2019; revised April 28, 2019.
P. Chodkaveekityada and P. Wardkein are with the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand (e-mail: peeramed.ch@kmitl.ac.th).

a weather sensor network for rainmaking process but also for general weather observation. Our design was up-to-date and would be able to support any advanced sensor network. Specifically, our ground station was designed to reduce the weight of the tracking system and antenna to make it portable and easy to installed. Moreover, this paper also proposes to develop a radiosonde, a portable sensor and radio transmitter system, to be more effective than the existing system in order to better serve a variety of weather observation missions.

II. SYSTEM DESIGN

A. Radiosonde

A radiosonde is an instrument for weather observation [13], [14] which includes sensors and a radio transmitter. In order to develop an equipment like radiosonde, its main subsystems should be considered: the sensor subsystem and the electrical subsystem which is described below.

1) Sensor subsystem

Normally, weather observation sensors include plain temperature, pressure and humidity sensors, but our design aimed to improve the system to be more intelligent than the existing one. Fig. 1 shows our sensor subsystem that included a GPS sensor, an accelerometer sensor and a power monitor device. A microcontroller was used to create packages of formatted data that are uniquely identifiable in order to avoid interfering with other packages. Moreover, we installed a data logger to record and store all sensor data in case data loss happens while the system is in operation. The transmitter we used was a LoRa module [15]-[18] due to its long operational range of over 20 km.

2) Electrical subsystem

This system is quite important because the its power supply has to generate sufficient power to cover all operations at all time. There were several sensors that needed a lot of power and current in order to work adequately. We selected to use a rechargeable 9V 800 mAh battery that could supply continuous power for more than 2 hours. Fig. 2 shows the electric flow of the electrical subsystem from the source to every device. Since each device needed a maximum supply voltage of 5V, we had to convert the voltage down from 9V to 5V efficiently. Moreover, some device could use the power supplied from microcontroller ports that produced about 3.3V.

Fig. 3 shows the designed weather observation instrument including all of the sensors mentioned that could transmit data back to a base station with a LoRa module operating at 433 MHz. We attached a strip of sticker to the instrument with detailed information for anyone who happened to collect it to understand its purpose and not feel panic. Moreover, we employed a parachute to reduce the descent rate as the instrument was falling down to the ground.

B. Ground Station

Ground station is design based on the mission of the operation. This project aimed to design and develop a ground station for receiving the weather information from a transmitter high up in the air that is going to be used in

rainmaking operation. The altitude of the transmitter operation is between 1 km to 15 km high because the transmitter has to be at about the same height from the ground as the airplane that carries out the rainmaking operation does, not exceeding 10 km in height. Thus, this system must be able to operate at a height that is higher than the standard equipment typically does.

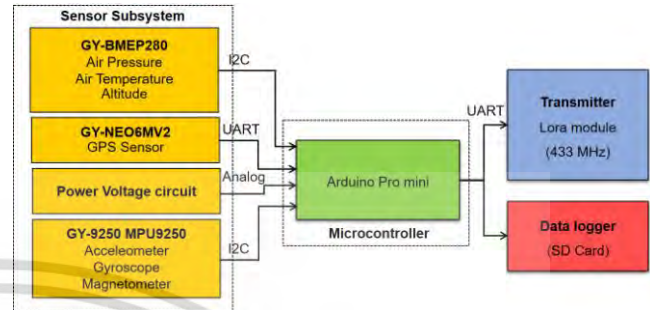


Fig. 1. Sensor subsystem diagram.

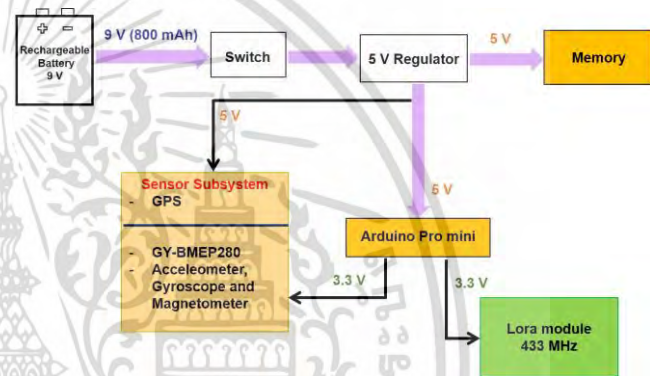


Fig. 2. Electrical subsystem diagram.



Fig. 3. The designed radiosonde configuration before a test.

Presently, the type of existing ground station used in Thailand is not suitable for receiving today's huge amount and diverse type of data from an advanced transmitter. For example, the existing ground station uses a very big antenna and is only able to receive data from only a single transmitter at one time, but the present technology dictates a need for a ground station to receive data from multiple sensors to get more precise data that will increase the effectiveness of the rainmaking operation. The cost of the existing system is also very high due to its having been imported from another country. This project also aimed to develop and manufacture new equipment within the country to reduce the average cost of investment and operate more effectively than the existing system in order to better serve a variety of weather observation missions. เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป

This proposed ground station is shown in Fig. 4. It consists of an antenna, a tracking system, a receiver and a GUI interface. Two operational frequencies are utilized in this project: 2.4 GHz by an Xbee module, aiming to operate at a

low altitude of no more than 2 km and for drone operation; and 433 MHz by LoRa module for high altitude use up to 15 km carried by a helium balloon. Both Xbee and LoRa receiver modules were supplied with power from a laptop.

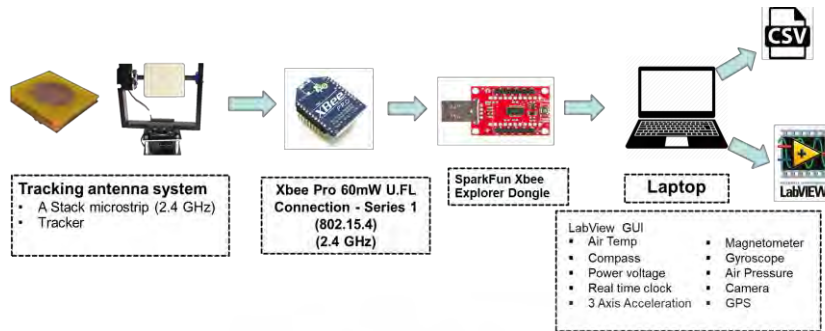


Fig. 4. Ground station diagram.

1) Antenna

Antenna is a significant part of a base station that can increase the efficiency of the system. Gain and pattern of antenna design are the priority consideration. This paper chose to design only a 2.4 GHz antenna because of its merit of lightweight, compactness, portability and inexpensiveness. The stack microstrip antenna shown in Fig. 5 was made of FR4 dielectric substrate with a relative permittivity and loss tangent of 4.40 and 0.02, respectively.

rainmaking because the receiver needs to receive weather information data from every desired altitude accurately. If we could get more and accurate weather data, it would be useful for successful rainmaking in the desired area. Due to rapid lifting up of helium balloon, the tracking system had to be able to automatically follow the helium balloon accurately. The structure of the tracking system was designed to be portable and lighter than the old system by using aluminium frame as shown in Fig. 7. This tracking system was designed to carry a load of antenna of about 1 kg. The antenna might be a 2.4 GHz stack microstrip antenna or a 433 MHz yagi antenna.

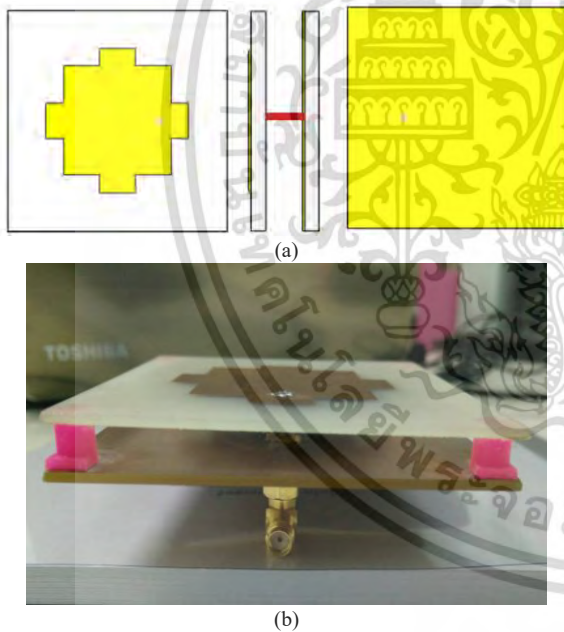


Fig. 5. A stack microstrip antenna (a) simulation (b) actual.

The simulated S11 of the antenna was lower than -10 dB covering a frequency range from 2.38 GHz to 2.56 GHz. The peak S11 was at 2.45 GHz. And the simulated radiation pattern was unidirectional with a gain of 8.31 dBi.

The measured results of the antenna are shown in Fig. 6. The S11 was better than the acceptable standard of -10 dB meaning that this antenna was usable. The determined pattern was wider than the simulated pattern. The half power beamwidth was about 60 degrees. The measurement gain was 6.5 dBi.

2) Tracking system

Tracking system is a very important part to the operation of

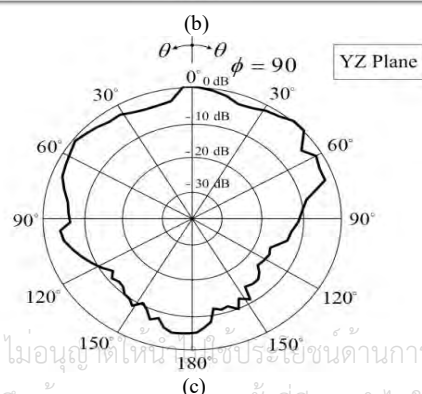
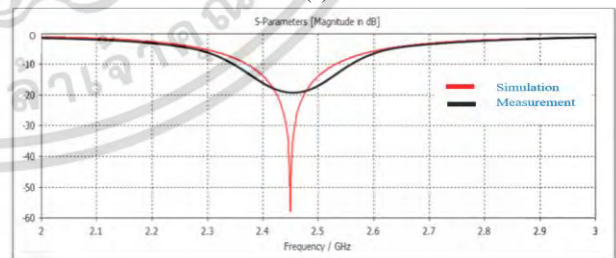
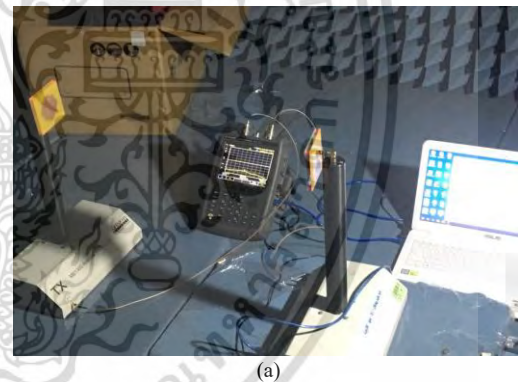


Fig. 6. Measurement results (a) chamber room test (b) S11 (c) pattern.

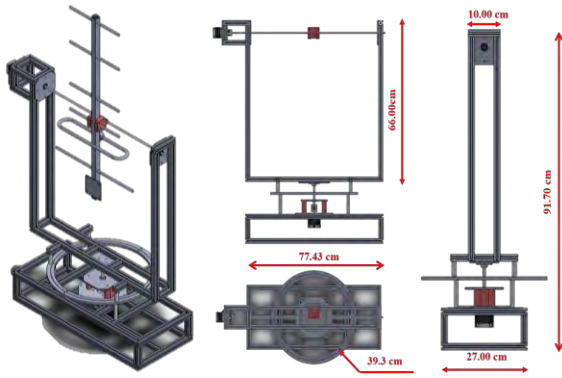


Fig. 7. Structure of tracking antenna.

This tracking system can be rotated 180 degrees around the vertical axis and 360 degrees around the horizontal axis by a step motor. To control the step motor, the tracking antenna system would be installed with Arduino, a GPS module, a compass sensor and an accelerometer sensor for calculating bearing angle and elevation angle between the location of the tracking antenna and the weather sensor equipment installed in the helium balloon. The motor of tracking system was supplied with power from a 24V 7.2 Ah battery for an

operation time of about 2 hours.

3) Display screen

The display design used LabVIEW software program as the basic engineering tool that showed the data from each significant sensor in the transmitter equipment attached to the balloon. The purpose of the design was for the easiest use by technicians and other non-engineers. The needed weather observation data were mainly surrounding weather parameters such as temperature, pressure and humidity, but in this project, the entire system was aimed to be a smart system hence a variety of sensors would be installed. Increasing the number of sensors means increasing weight, bandwidth and power requirement and complexity of the system, but it would be worthy to do so. Fig. 8 shows the designed screen with many data blocks consisting of date, time, GPS location from Google map, voltage level, compass direction, 3-axes acceleration and elevation speed. Each data block can be zoomed in and out freely. All sensor data would be displayed in real time when the system is operating and also after the operation was finished. The data would be stored in a format such as excel file format so that they were easy to access.

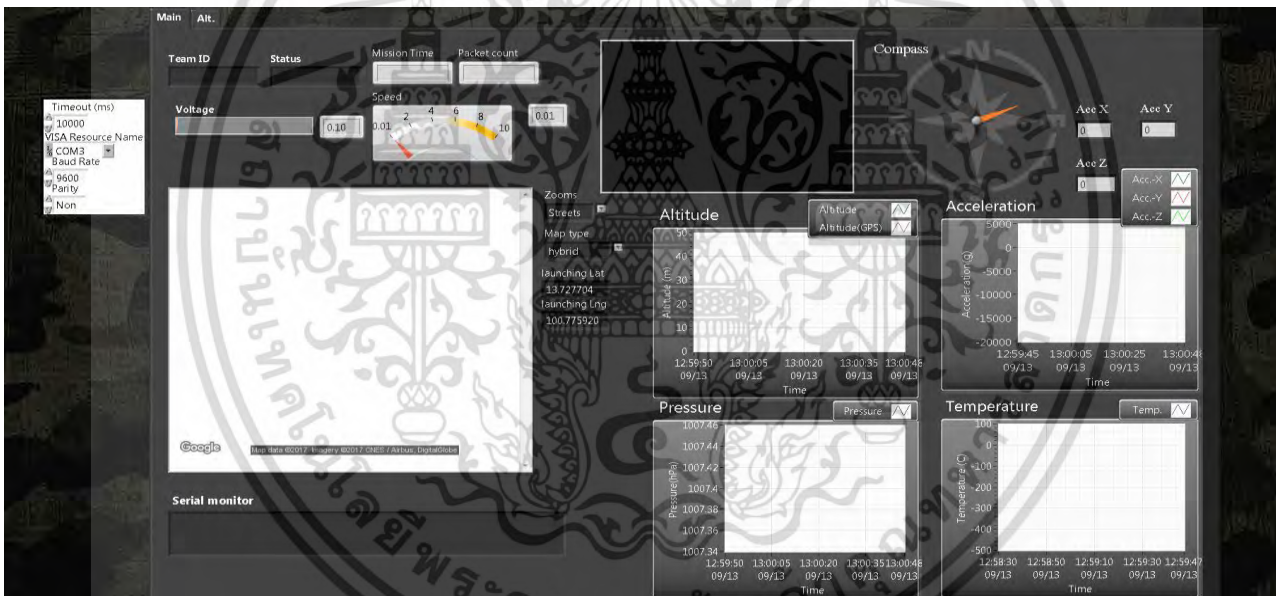


Fig. 8. Display screen.

III. EXPERIMENTAL RESULTS

To test the operation of this designed system, a balloon flight was suitable for testing from the ground up to a high altitude. However, a permission to release a balloon in an area was very difficult and complicated to get due to high plane traffic. Hence, we launched a balloon at two sites that have already been permitted to do so which belonged to the department of royal rainmaking and agricultural aviation. We also launched it at the same time that this department launched its balloon once a day.

The first balloon flight test was at Takli station. This site was at an uphill location about 400m above sea level. Fig. 9 shows the received weather data from about 400m to almost 1200m altitude to the base station. The comparative results between a current commercial radiosonde (the red straight

line) and our designed radiosonde (the blue connected dots) shown in Fig. 9 are results of pressure and temperature data. It can be observed that the trends of the pressure data in Fig. 9(a) sensed by both radiosondes were almost exactly the same, while the temperature data obtained from the commercial radiosonde varied more than the data from our designed radiosonde because the sensor that we used was cheap and less sensitive (Fig. 9(b)).

The second balloon flight test was at Phimai station. This station was located at a usual drought area in Thailand. The environment of this area was an open space at sea level. It was really suitable as a test site. The operation altitude of this second test was up to 6 km because the sky was very clear on the test day. Our designed radiosonde was improved by an added humidity sensor. This sensor and several other sensors were arranged to be exposed directly to the open air. The results are shown in Fig. 10 (a-c): pressure, temperature and

humidity. It was found that the measurements from our designed radiosonde were still not comparable to those from a commercial radiosonde, but it was operating well. Successful measurements were made from the ground level to the highest altitude tested. In the future, we will try to replace the inexpensive sensors with more capable and more expensive sensors and fully expect the new radiosonde to produce improved measurements.

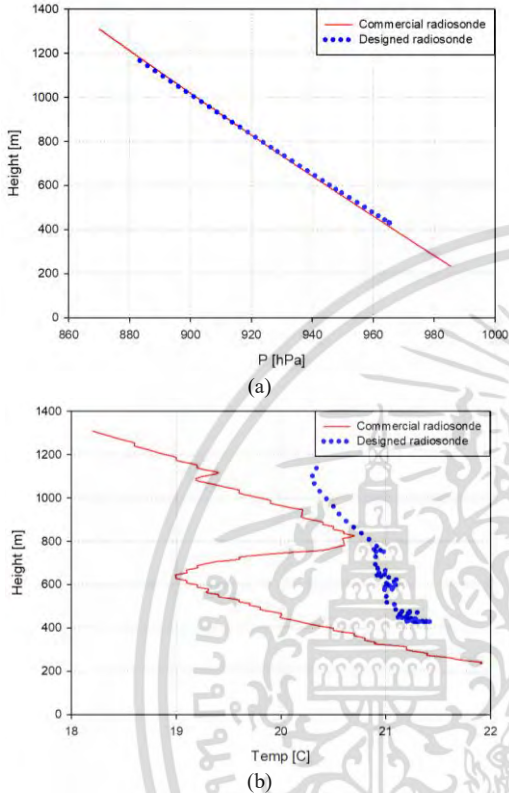


Fig. 9. Comparative weather sensor data between the two radiosondes at an altitude up to 1200m (a) pressure (b) temperature.

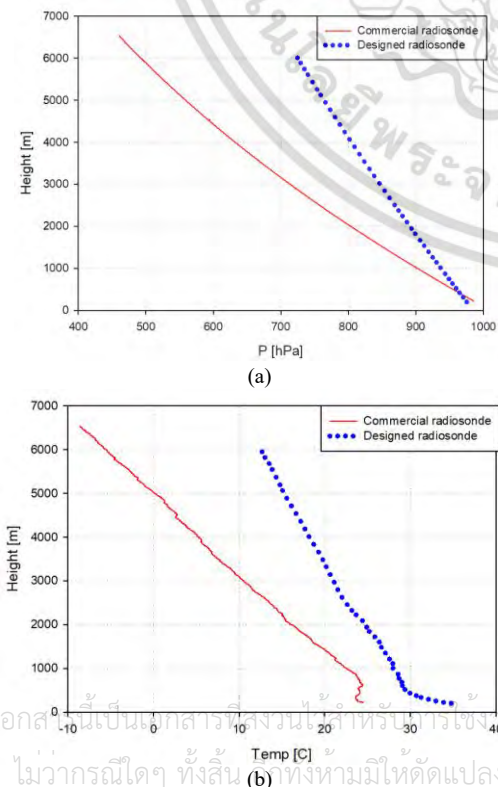


Fig. 10. Improved measurements from the designed radiosonde at a high altitude up to 6000m (a) pressure (b) temperature (c) humidity.

We plan to test the designed radiosonde to acquire data at varying altitudes to cover rainmaking operation at 6-10 km above the ground several more times. Our next test will not only be limited to balloon flight but it may be attached to a drone for low altitude weather observation. In order for our designed radiosonde to be able to replace the current commercial one, we need to design into it a friendlier container and make it easy to operate by non-engineers.

IV. CONCLUSION

This paper describes how to design a high and low altitude air observation system for a future advanced sensor network for rainmaking and weather observation. The radiosonde was improved by installing many weather, voltage, and GPS sensors to make the system more capable. The flow diagram of this ground station is almost the same with a station for other purposes. However, the specific purpose of a mission makes each system unique. Finally, this designed system is very valuable in reducing imports of foreign technologies and in enhancing the technology developed in the country.

In a future work, we aim to improve the design and implement it to a rainmaking system for use within the country. We plan to test our system several times and compare its performance with a commercial system in order to make sure that our developed system work effectively. The operation time was completely tested, but the altitude test was still not complete. We need to test whether the station can successfully receive data at 6-10 km range because a balloon mission for rainmaking operation will cover this kind of range.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for providing the research grant [KREF046009] as well as the department of royal rainmaking and agricultural aviation for providing the test venue and the actual reference data.

REFERENCES

- [1] B. K. Mandal, D. Bhattacharyya and S. Kang, "Attenuation of signal at a tropical location with radiosonde data due to cloud," *Int. J. Smart Home*, vol. 8, no. 1, pp. 15-22, 2014.
- [2] Y. H. Kuo, W. S. Schreiner, J. Wang, D. L. Rossiter, and Y. Zhang, "Comparison of GPS radio soundings with radiosondes," *Geophysical Research Letters*, vol. 32, L05817, 2005.

- [3] V. O. John and S. A. Buehler, "Comparison of microwave satellite humidity data and radiosonde profiles: A survey of European stations," *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 5, pp. 1843-1853, 2005.
- [4] M. W. Ryu, S. S. Lee, J. Yun, I. Y. Ahn, and H. W. Seok, "Design and implementation of a real-time radiosonde locatio system for upper-air observation," *Smart Computing Review*, vol. 4, no. 1, 2014.
- [5] GPS-Based Measurement of Height and Pressure with Vaisala Radiosonde White Paper, Vaisala Oyj, 2013.
- [6] R. Lehtinen, T. Tikkanen, J. P. Rasanen, and M. Turunen, *Factors Contributing to RS41 GPS-Based Pressure and Comparison with RS92 Sensor-Based Pressure*, TECO 2014.
- [7] P. Survo, R. Lehtinen, and J. Kauranen, *SI Traceability of Vaisala Radiosonde RS41 Sounding Data Calibration and Uncertainty Analysis*, TECO, 2014.
- [8] K. H. Kim, H. C. Bang, J. S. Chae, H. Y. Park, and S. H. Lee, "Ground station design for STSAT-3," *Int'l J. of Aeronautical & Space Sci.*, vol. 12, no. 3, pp. 283-287.
- [9] T. Choi, T. H. Stevenson, and E. G. Lightsey, "Reference ground station design for university satellite mission with varying communication requirements," in *Proc. 55th AIAA Aerospace Sciences Meeting*, Jan. 9-13, 2017, Grapevine, Texas.
- [10] R. M. R. Osorio, S. R. D. M. Coca, and F. R. Vedral, "Educational ground station based on software defined radio," in *Proc. 59th International Astronautical Congress*, 29 Sep.-3 Oct. 2008, Glasgow, UK.
- [11] A. Done, A. M. Cailean, C. E. Lesanu, M. Dimian, and A. Graur, "Desing and implementation of a satllite communication ground station," in *Proc. International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, July 13-14, 2017, Iasi, Romania.
- [12] M. Bazdresch, S. Velayudhan, and W. Johnson, "A satellite ground station for teaching digital and wireless communications," in *Proc. IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Oct. 12-15, 2016, PA, USA.
- [13] R. H. Ma, Y. H. Wang, and C. Y. Lee, "Wireless remote weather monitoring system based on MEMS technologies," *Sensors*, vol. 11, pp. 2715-2727, 2011.
- [14] A. Krauchi, R. Philipona, G. Romanens, D. F. Hurst, E. G. Hall, and A. F. Jordan, "Controlled weather balloon ascents and descents for atmospheric research and climate monitoring," *Atmos. Meas. Tech.*, vol. 9, pp. 929-938, 2016.
- [15] D. H. Kim, J. Y. Lim, and J. D. Kim, "Low-power, long-range, high-data transmission using Wi-Fi and LoRa," in *Proc. 6th International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS)*, Sep. 26-29, 2016, Prague, Czech Republic.
- [16] M. Cattani, C. A. Boano, and K. Romer, "An experimental evaluation of the reliability of LoRa long-range low-power wireless communication," *J. Sens. Actuator Netw.*, 2017, vol. 6, no. 7.
- [17] G. Margelis, R. Piechocki, D. Kaleshi, and P. Thomas, "Low throughput networks for the iot: lessons learned from industrial implementations," in *Proc. 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, Dec. 14-16, 2015, Milan, Italy.
- [18] A. J. Wixted, P. Kinnaird, H. Larjani, A. Tait, A. Ahmadi, and N. Strachan, "Evaluation of LoRa and LoRaWan for Wireless sensor networks," *IEEE Sensors*, 30 Oct-2 Nov. 2016, Orlando, Florida, USA.



Peeramed Chodkaveekityada received BE and ME degrees in telecommunication engineering from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, in 2010 and 2012, respectively, and a PhD degree in aerospace engineering from the Tokyo Metropolitan University, Tokyo, Japan, in 2016. Currently, he is a lecturer at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. He was a satellite engineer at Thaicom Pcl from 2010 to 2013. His research interests are in satellite propagation, CanSat and CubeSat design.



Paramote Wardkein received his ME and PhD degree in electrical engineering from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand in 1990 and 1997, respectively. He is now an associate professor of Telecommunications Engineering Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. His current research interests include not only the field of signal processing but also analog-digital communications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาเลขที่ KREF046009

การพัฒนาระบบการตรวจอากาศชั้นบนเพื่อใช้ในการทำฝนหลวง

Improvement of Upper-Air Observation System for Rainmaking

รายงานสรุปการเงินรอบ 12 เดือน

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย ผู้รับทุน รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ธ.ค. 60 ถึงวันที่ 30 พ.ย. 61

สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณ รวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย จากรายงานครั้ง ก่อน	ค่าใช้จ่าย งวดปัจจุบัน	รวมค่าใช้จ่าย สะสมถึง ปัจจุบัน	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบดำเนินงาน					
ค่าตอบแทน	150,000		150,000	150,000	
ค่าใช้สอย	80,000		76,000	76,000	4,000
ค่าวัสดุ	270,000		256,500	256,500	13,500
รวม	500,000		482,500	482,500	17,500

จำนวนเงินที่ได้รับและจำนวนเงินที่ใช้จ่าย

งวดเงินที่ได้รับ	จำนวนเงินที่ได้รับ(บาท)	เมื่อ (ระบุวัน เดือน ปี)
งวดที่ 1	482,500	25 ธ.ค. 60
รวม	482,500	1

งวดที่	จำนวนเงินที่ใช้จ่าย (บาท)	
งวดที่ 1	482,500	
งวดที่ 2		
รวม	482,500	2

จำนวนเงินคงเหลือ ① - ② 0 บาท

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน ลงนามเจ้าหน้าที่การเงินโครงการ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว หัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล นาย ปราโมทย์ วาดเขียน

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.ด.	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2540
วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2532
วศ.บ.	ฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พิบูลย์โลก	2528

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ การประมวลผลสัญญาณอนาล็อกและดิจิทัล การออกแบบวงจรอนาล็อก
และดิจิทัลสำหรับระบบการสื่อสาร การออกแบบวงจรรวม การวิเคราะห์สัญญาณ

ประวัติการทำงาน (โดยย่อ)

- อดีตหัวหน้าโครงการสร้างระบบชุมสายขนาดกลาง 384 คู่สาย
- อดีตกรรมการร่างหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยนเรศวร
- อดีตอาจารย์พิเศษ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยนเรศวร
- วิทยากรบรรยาย การสื่อสารข้อมูลและโครงข่าย บริษัทสามารถวิศวกรรม
- กรรมการร่างหลักสูตรระดับปริญญาตรีสายเทคโนโลยี หรือสายปฏิบัติการ (ทวิภาคี) สาขาเทคโนโลยีสื่อสาร กรมอาชีวศึกษา
- ประธานและกรรมการรับเชิญ สอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาอำนวยการโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ตุลาคม 2552
- กรรมการรับเชิญสอบวิทยานิพนธ์ นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ สังกัดบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยนเรศวร กันยายน 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ปรึกษาโครงการออกแบบการขนย้ายและติดตั้งระบบคอมพิวเตอร์แม่ข่าย กระทรวงการพัฒนากำลังและความมั่นคงของมนุษย์
- ที่ปรึกษาโครงการจัดทำแผนบูรณาการด้านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงการพัฒนากำลังและความมั่นคงของมนุษย์
- ที่ปรึกษาโครงการดูแลระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ สำนักงานปลัดกระทรวงการพัฒนากำลังและความมั่นคงของมนุษย์
- ที่ปรึกษาโครงการพัฒนาโปรแกรมระบบฐานข้อมูลสาธารณสุข e-Care ศาลากลางจังหวัดสุพรรณบุรี
- ที่ปรึกษาโครงการพัฒนาระบบข้อมูลสารสนเทศสาธารณสุขเทศบาลนครนนทบุรี สำนักงานเทศบาลนครนนทบุรี
- ที่ปรึกษาโครงการออกแบบและปรับปรุงเว็บไซต์เทศบาลนครนนทบุรี สำนักงานเทศบาลนครนนทบุรี
- ที่ปรึกษาโครงการพัฒนาปรับปรุงขีดความสามารถเพื่อควบคุมและสั่งการในภาวะวิกฤตและแจ้งเตือนภัยกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
- ที่ปรึกษาโครงการเพื่อศึกษาวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศเพื่อการตัดสินใจ (MIS&EIS) ของกรมธนารักษ์
- ที่ปรึกษาโครงการเพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงระบบ ERP ของสำนักศึกษาปล้น กรมธนารักษ์

ทุนที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

- เคยได้รับทุนจาก NECTEC เพื่อทำวิจัยระบบชุมสายขนาดกลาง 384 คู่สาย (พ.ศ. 2534)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (ปี 2007 – ปัจจุบัน)

- [1] R. Puchalard, A. Lorsawatsiri, W. Loetwassana, J. Koseeyaporn, P. Wardkein and A. Roeksabutr, “Direct frequency estimation based adaptive algorithm for a second-order adaptive FIR notch filter,” *Signal Processing*, pp. 315 - 325, Volume 88, Issue 2, Feb. 2008.
- [2] R. Puchalard, A. Lorsawatsiri, J. Koseeyaporn, P. Wardkein and A. Roeksabutr, “Adaptive IIR notch filters based on new error criteria,” *Signal Processing*, pp. 685 - 703, Volume 88, Issue 3, Mar. 2008.
- [3] T. Maneechukate, J. Koseeyaporn, P. Wardkein and P. Koseeyaporn, “Wide-band amplitude control of the second-order oscillator circuit,” *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, pp. 666 - 673, Volume 62, Issue 9, Oct. 2008.
- [4] R. Puchalard, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, “Adaptive IIR notch filter using a modified sign algorithm,” *Signal Processing*, pp. 239 - 243, Volume 89, Issue 2, Feb. 2009.
- [5] P. Tuwanut, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, “A novel versatile modulator circuit,” *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, pp. 387 - 397, Volume 63, Issue 5, May 2009.
- [6] R. Puchalard, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, “Indirect frequency estimation based on second-order adaptive FIR notch filter,” *Signal Processing*, pp. 1428 - 1435, Volume 89, Issue 7, July 2009.
- [7] K. Watcharasitthiwat and P. Wardkein, “Reliability optimization of topology communication network design using an improved ant colony optimization,” *Computers & Electrical Engineering*, pp. 730 - 747, Volume 35, Issue 5, September 2009.
- [8] W. Petchakit, A. Lorsawatsiri, W. Kiranon, C. Wongtaychathum and P. Wardkein, “Current-mode squaring, square-rooting and vector summation circuits,” *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, pp. 443 - 449, Volume 64, Issue 5, May 2010.
- [9] W. Loetwassana, R. Puchalard, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, “Unbiased plain gradient algorithm for a second-order adaptive IIR notch filter with constrained poles and zeros,” *Signal Processing*, pp. 2513 - 2520, Volume 90, Issue 8, August 2010.

- [10] A. Lorsawatsiri, W. Kiranon, C. Wongtaychatham, W. Sangpisit and P. Wardkein, "Architecture for instantaneous frequency and amplitude detection," AEU - International Journal of Electronics and Communications, pp. 204 - 208, Volume 65, Issue 3, March 2011.
- [11] R. Puchalard and P. Wardkein, "Linear prediction based adaptive algorithm for a complex sinusoidal frequency estimation," AEU - International Journal of Electronics and Communications, pp. 521 - 527, Volume 67, Issue 6, June 2013.
- [12] Anchalee Manosueb, Jeerasuda Koseeyaporn, and Paramote Wardkein, "PLI Cancellation in ECG Signal Based on Adaptive Filter by Using Wiener-Hopf Equation for Providing Initial Condition", Computational and Mathematical Methods in Medicine, Volume 2014 (2014), Article ID 471409, 11 pages.
- [13] NGAMTAWEE, R. and WARDKEIN, P., "Simplified Genetic Algorithm: Simplify and Improve RGA for Parameter Optimizations", Advances in Electrical and Computer Engineering, Volume 14, Issue 4, Year 2014, On page(s): 55 - 64.
- [14] A. Kitipongwatana, P. Koseeyaporn, J. Koseeyaporn, P. Wardkein, "Fundamental Behavior Analysis of Single-Frequency Sine Wave Forced Oscillator based on Linear Model and Multi-Time Technique", Radioengineering, June 2014, Volume 23, Number 2, On page(s): 697 - 708.

ผลงานตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ (ปี 2007 – ปัจจุบัน)

- [1] T. Wijitpornchi, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, "Signature Identification Using Linear Predictive Code Coefficients and Neural Network," ECTI-CON 2007, pp. 525 - 528, May 9 -12, 2007.
- [2] P. Wisartpong, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, "QPSK Modulator Based On Phase Locked Loop," ECTI-CON 2007, pp. 868 – 871, May 9 - 12, 2007.
- [3] W. Loetwassana, R. Puchalard, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, "Variable Momentum LMS Algorithm for Adaptive Howling Suppression in Audio Amplifier Systems," ECTI-CON 2007, pp. 1046 - 1049, May 9 -12, 2007.
- [4] W. Loetwassana, R. Puchalard, A. Lorsawatsiri, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, "Adaptive Howling Suppressor in an Audio Amplifier System," APCC 2007, pp. 445 - 448, Oct. 18 – 20, 2007
- [5] R. Puchalard, A. Lorsawatsiri, W. Loetwassana, J. Koseeyaporn, P. Wardkein, and A. Roeksabutr, "Steady-State Analysis of an Unbiased Equation Error Adaptive IIR Notch Filter," APCC 2007, pp. 437 - 440, Oct. 18 – 20, 2007.
- [6] R. Puchalard, A. Lorsawatsiri, W. Loetwassana, J. Koseeyaporn, P. Wardkein, and A. Roeksabutr, "Unbiased Constrained Adaptive IIR Notch Filter Using Direct Frequency Estimation Algorithm," APCC 2007, pp. 453 - 456, Oct. 18 – 20, 2007.
- [7] S. Sang-Ngern, P. Wisartpong, P. Wardkein and A. Roeksabutr, "Electronic Feedback Circuit for Stabilization of Fiber Ring Resonator Output Light," APCC 2007, pp. 339 - 342, Oct. 18 – 20, 2007.
- [8] R. Puchalard, A. Lorsawatsiri, W. Loetwassana, J. Koseeyaporn, P. Wardkein, and A. Roeksabutr, "Unbiased Plain Gradient Algorithm for Adaptive IIR Notch Filter with Constrained Poles and Zeros," TENCON 2007, pp. 1 - 4, Oct. 30 - Nov. 2, 2007.
- [9] S. Sang-Ngern, P. Wisartpong, P. Wardkein and A. Roeksabutr, "Electronic Feedback Circuit for Stabilization of Fiber Ring Resonator Output Light," TENCON 2007, pp. 1 - 4, Oct. 30 - Nov. 2, 2007.
- [10] R. Puchalard, A. Lorsawatsiri, W. Loetwassana, J. Koseeyaporn, P. Wardkein, and A. Roeksabutr, "Unbiased Equation Error Adaptive IIR Notch Filter," TENCON 2007, pp. 1 - 3, Oct. 30 - Nov. 2, 2007.
- [11] K. Chaiwong, P. Phromsuphorn, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, "A New Technique for Routing and Wavelength Assignment for WDM Mesh Networks," ICCS 2008, pp. 704 - 708, Nov. 19 - 21, 2008.
- [12] R. Puchalard, W. Loetwassana, J. Koseeyaporn, and P. Wardkein, "Statistical Analysis of an Unbiased Plain Gradient Algorithm for a Constrained Adaptive IIR Notch Filter," APCC 2008, pp. 1 - 5, Oct. 14 - 16, 2008.

- [13] R. Panchalard, J. Koseeyaporn, and P. Wardkein, "Modified Sign Algorithm for a Constrained Adaptive IIR Notch Filter," APCC 2008, pp. 1 - 5, Oct. 14 - 16, 2008.
- [14] P. Wisartpong, J. Koseeyaporn, and P. Wardkein, "Pulse Width Modulation Based On Phase Locked Loop," ECTI-CON 2008, pp. 697 - 700, May 14 - 17, 2008.
- [15] R. Panchalard, J. Koseeyaporn, and P. Wardkein, "Mean Square Error Analysis of the PG Algorithm for Adaptive IIR Notch Filter with Constrained Poles and Zeros Using Power Spectral Density Method," APCCAS 2008, pp. 193 - 196, Nov. 30 - Dec. 3, 2008.
- [16] P. Phromsuphorn, J. Koseeyaporn, and P. Wardkein, "Performance Analysis of Soft Switch Network Based on Jackson Network Theory," ICCAS 2008, pp. 534 - 537, May 25 - 27, 2008.
- [17] K. Kittipute, J. Koseeyaporn, and P. Wardkein, "Amplitude Demodulation Based on Time-Varying Forced Input of Second-Order Oscillator Circuit," TENCON 2009, pp. 1 - 4, Jan. 23 - 26, 2009.
- [18] P. Wisartpong, J. Koseeyaporn, and P. Wardkein, "Pulse Position Modulation Based On Phase Locked Loop," ECTI-CON 2009, pp. 578 - 581, May 6 - 9, 2009.
- [19] R. Panchalard, J. Koseeyaporn, and P. Wardkein, "Novel digital FM Demodulation," TENCON 2009, pp. 1 - 4, Jan. 23 - 26, 2009.
- [20] P. Koseeyaporn, J. Koseeyaporn, and P. Wardkein, "An Enhanced Adaptive Algorithm for PLI Cancellation in ECG signals," ICICS 2009, pp. 1 - 5, Dec. 8 - 10, 2009.
- [21] A. Kitipongwatana, P. Koseeyaporn, J. Koseeyaporn, and P. Wardkein, "AC Power Load Controlling by Using PWM Based on Phase Locked Loop," ECTI-CON 2009, pp. 74 - 77, May 6 - 9, 2009.
- [22] R. Panchalard, V. Silaphan, J. Koseeyaporn, and P. Wardkein, "First Order Complex Adaptive FIR Notch Filter," ECTI-CON 2010, pp. 151 - 153, May 19 - 21, 2010.
- [23] W. Narksarp, P. Pawarangkoon, S. Buakaew, W. Kiranon, and P. Wardkein, "A Four-Quadrant Multiplier Based on CCII+s," ECTI-CON 2010, pp. 225 - 228, May 19 - 21, 2010.
- [24] V. Silaphan, R. Panchalard, W. Loetwassana, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, "Statistical Performance of the Direct Frequency Estimation Algorithm for the Adaptive FIR Notch Filter," ECTI-CON 2010, pp. 137 - 141, May 19 - 21, 2010.
- [25] A. Lorsawatsiri, W. Kiranon, V. Silarum, W. Sangpisit, and P. Wardkein, "Simple and Accurate Frequency to Voltage Converter," ECTI-CON 2010, pp. 212 - 215, May 19 - 21, 2010.

- [26] A. Nosan, R. Punchalard, P. Wardkein and J. Koseeyaporn, "Novel Algorithm for Sinusoidal Interference Cancellation," ISPACS 2011, pp. 1 - 4, Dec. 7 - 9, 2011.
- [27] P. Chaiyakum and P. Wardkein, "A New ECG Compression by Using Adaptive Cosine Fourier Transform," ECTI-CON 2012, pp. 1 - 4, May 16 - 18, 2012.
- [28] R. Ngamtawee and P. Wardkein, "Multi-band FIR Filter Design Using Particle Swarm Optimization with Minimax Initialization," ECTI-CON 2012, pp. 1 - 4, May 16 - 18, 2012.
- [29] K. Phothi, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, "Independent Rise and Fall edge Dead time Generator Based on Monostable Multivibrator Circuit," ECTI-CON 2012, pp. 1 - 4, May 16 - 18, 2012.
- [30] A. Rungchamrus, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, "Adaptive frequency technique for eliminating power line interference in ECG signal," ECTI-CON 2012, pp. 1 - 4, May 16 - 18, 2012.
- [31] K. Chaiwong, S. Wichaidit, P. Phromsaphorn and P. Wardkein, "Performance Analysis of Node Architecture in WDM Mesh Network," ICACT 2013, pp. 128 - 132, Jan. 27 - 30, 2013.
- [32] R. Ngamtawee and P. Wardkein, "Linear-phase FIR Design using PSO Method with Zero-phase Pre-design," ECTI-CON 2013, pp. 1 - 5, May 15 - 17, 2013.
- [33] P. Phromsaphorn, K. Chaiwong and P. Wardkein, "Adapted of full-layered Softswitch network architecture," ICACT 2013, pp. 523 - 527, Jan 27 - 30, 2013.
- [34] S. Sinchai, S. Saechia, T. Limpiti, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, "Estimating an Optimal Setpoint to Lessen Errors in Filling Weighing System based on Kalman Filtering," ICASSP 2014, pp. 2189 - 2193, May 4 - 9, 2014.

ประวัติส่วนตัว ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล นาย พิระเมศร์ โชติทวีกิจญาดา

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
Ph.D.	Aerospace Engineering	Tokyo Metropolitan University	2559
วศ.ม.	วิศวกรรมโทรคมนาคม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2555
วศ.บ.	วิศวกรรมโทรคมนาคม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2553

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2555	โครงการวิจัยและพัฒนาาระบบเรดาร์ระยะสั้น ด้วยวงจรแบบอโต้ไดน์	สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงกลาโหม
2556	Asian Human Resource Fund	Tokyo Government

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (ปี 2012 – ปัจจุบัน)

- [1] P. Chodkaveekityada and H. Fukuchi, “ Prediction Model of Time Diversity Using Rain Radar Data,” International journal of satellite communication and networking, 2016, DOI: 10.1002/sat. 1182.
- [2] P. Chodkaveekityada and H. Fukuchi, “Time Diversity Evaluation for Attenuation Mitigation Method Using Attenuation Data in Thailand and Japan,” International journal of satellite communication and networking, 2016, DOI: 10.1002/sat. 1184.
- [3] P. Chodkaveekityada and H. Fukuchi, “Evaluation of Adaptive Satellite Power Control Method Using Rain Radar Data,” IEICE Transaction on Communication, Vol. E99-B, No. 11, Nov 2016.
- [4] P. Chodkaveekityada and H. Fukuchi, “Effect of Raindrop Size Distribution and Rain Rate Inhomogeneity on the Relationship between Attenuation and Depolarization,” International journal of satellite communication and networking, 2016.
- [5] P. Chodkaveekityada and H. Fukuchi, “ Differences in the Dynamic Properties of Rain Fade between Temperate and Tropical Regions,” Advances in Space Research, 2016, DOI: 10.1016/j.asr.2016.11.038.

ผลงานตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ (ปี 2012 – ปัจจุบัน)

- [1] P. Chodkaveekityada and H. Fukuchi, “On-board Adaptive Attenuation Compensation Technique for Future Satellite Communication,” International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Kaohsiung, Taiwan, December 2 – 5, 2014.
- [2] H. Fukuchi and P. Chodkaveekityada, “Spatial Correlation Property Derived from Radar Rain Map and Site-Diversity Effect Evaluation,” International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Kaohsiung, Taiwan, December 2 – 5, 2014.
- [3] P. Chodkaveekityada and H. Fukuchi, “Improvement of Depolarization Formula Using Gamma Raindrop Size Distribution Up to 1 0 0 GHz,” Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), Bali Island, Indonesia, June 30 – July 3, 2015.

- [4] H. Fukuchi and P. Chodkaveekityada, "Propagation Impairments Along Satellite-To-Earth Path and Their Mitigation Technologies," Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), Bali Island, Indonesia, June 30 – July 3, 2015.
- [5] P. Chodkaveekityada, H. Fukuchi, T. Limpiti and P. Supnithi, "Time Diversity Evaluation for Attenuation Mitigation Method Using Attenuation Data in Thailand and Japan," International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Kobe-Hyogo, Japan, July 4 – 10, 2015.
- [6] P. Chodkaveekityada, Y. Inose and H. Fukuchi, "Modeling of Site Diversity Gain Using Rain Radar Data in Japan," 33rd AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC), Gold Coast, Australia, September 7 – 10, 2015.
- [7] P. Chodkaveekityada and H. Fukuchi, "Combination Benefits of Short-Time Diversity and Adaptive Satellite Power Control," International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Hobart, Tasmania, Australia, November 9 – 12, 2015.
- [8] P. Chodkaveekityada and H. Fukuchi, "Variation of Boost Constants Effects for Adaptive Satellite Power Control," 10th International Conference on Information, Communication and Signal Processing (ICICS), Singapore, December 2 – 4, 2015.
- [9] P. Chodkaveekityada and H. Fukuchi, "Spatial Correlation Property Using Rain Gauge Network in Thailand to Improve Site Diversity Effect," International Conference on Electrical Engineering/ Electronic, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Chiang Mai, Thailand, June 28 – July 1, 2016.
- [10] P. Chodkaveekityada and H. Fukuchi, "Fade Slope Comparison between Thailand and Japan for Ka band Rain Attenuation," International Technical Conference on Circuits/ Systems, Computer and Communication (ITC-CSCC), Okinawa, Japan, July 10 – 13, 2016.