

การพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็กและการประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดสภาพอากาศ
CANSAT DEVELOPMENT AND APPLICATION FOR WEATHER
OBSERVATION

โดย

นางสาวนัชมีย์ อามีเราะ
นางสาวนัทธมน ตวงรัตนสิริกุล
นางสาวประภัสสร เลิศวาสนา

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็กและการประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดสภาพอากาศ
CANSAT DEVELOPMENT AND APPLICATION FOR WEATHER
OBSERVATION

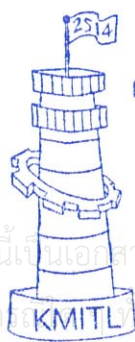
โดย

นางสาวนัชมีย์	อามีเราะ	58010659
นางสาวนัทมน	ตวงรัตนสิริกุล	58010664
นางสาวประภัสสร	เลิศวาสนา	58010734


อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.พีระเมศร์ โชติกวีกิจญาดา

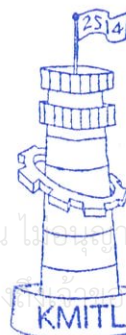
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561




ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

()
อาจารย์ที่ปรึกษา
22/5/62

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

()
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน
22/5/62

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย และต้องแจ้งให้สถาบันทราบ

ปริญญาโทปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก และการประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดสภาพอากาศ

CANSAT DEVELOPMENT AND APPLICATION FOR WEATHER OBSERVATION

ผู้จัดทำ

1. นางสาวนัชมีย์ อามีเราะ 58010659
2. นางสาวนัทธมน ดวงรัตนสิริกุล 58010664
3. นางสาวประภัสสร เลิศวาสนา 58010734



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.พีระเมศร์ โชติทวีกิจญาติ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี อันเกิดจากความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พีระเมศร์ โชติกวิกิจญาดา อาจารย์ผู้ให้ความรู้ ความเข้าใจ และคำแนะนำในกระบวนการทำงาน อยู่เสมอ ทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ อีกทั้งยังเป็นผู้จุดประกายความคิดในการริเริ่มทำ ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งยังชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหา ตลอดจนมอบประสบการณ์ที่ดี ให้แก่ผู้จัดทำอีกด้วย

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อนๆ ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหาและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด ส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันเกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบให้กับคุณบิดามารดาผู้เป็นที่รัก ตลอดจนครูบาอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และมอบประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้จัดทำ สุดท้ายนี้ผู้จัดทำคาดหวังว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะสามารถเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจ เพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดให้เกิดประโยชน์สูงสุดในอนาคตได้ไม่มากก็น้อย

นางสาวนัชมีย์ อามีเราะ
นางสาวนัทธมน ดวงรัตนสิริกุล
นางสาวประภัสสร เลิศวาสนา
ผู้จัดทำ

การพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก และการประยุกต์ใช้เพื่อ
ตรวจวัดสภาพอากาศ
CANSAT DEVELOPMENT AND APPLICATION FOR
WEATHER OBSERVATION

โดย นางสาวนัชมีย์ อามีเราะ 58010659
นางสาวนัทธมน ดวงรัตนสิริกุล 58010664
นางสาวประภัสสร เลิศวาสนา 58010734

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. พระเมศร์ โชติกวีกิจญาติ

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็กและนำไปประยุกต์ใช้กับภารกิจต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนดังนี้ ส่วนแรกเป็นการออกแบบและสร้างดาวเทียมขนาดเล็กในส่วนของภาคส่ง มีจุดประสงค์ในการจัดทำขึ้นเพื่อเข้าร่วมการแข่งขัน CANSAT ประจำปี 2019 ให้ดาวเทียมขนาดเล็กนั้นปฏิบัติตามที่ได้รับมอบหมาย โดยทำการออกแบบและจัดทำทั้งส่วนโครงสร้างทางกายภาพ และส่วนการสื่อสารข้อมูลไร้สายระยะไกล โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์เพื่อวัดค่าสำคัญต่างๆ ได้แก่ ค่าความดันอากาศ อุณหภูมิ ค่าความสูงจากระดับพื้นดิน เวลา ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ค่าความเร่งสามแกน และค่าแบตเตอรี่คงเหลือของระบบ ทำการรวบรวมและประมวลผลข้อมูลดังกล่าว และส่งข้อมูลนั้นมาแสดงผล ณ สถานีภาคพื้นดิน รวมถึงมีการติดตั้งกล้องถ่ายภาพเพื่อบันทึกภาพเคลื่อนไหวระหว่างปฏิบัติการอีกด้วย สำหรับการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินนั้น จะใช้ร่มชูชีพและใบพัดในการควบคุมความเร็ว เพื่อช่วยในการลดแรงกระแทกที่จะเกิดขึ้น และป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ภายในได้รับความเสียหาย นอกจากนี้ยังมีการจัดการส่วนการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบทั้งหมด เพื่อให้เพียงพอตลอดระยะเวลาในการใช้งาน

ส่วนที่สอง เป็นการนำดาวเทียมขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ โดยศึกษารูปแบบการรับส่งข้อมูลโทโพโลยีรูปแบบดาว (STAR TOPOLOGY) ที่มีการรับส่งแบบ MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT (MIMO) โดยมีตัว MASTER เป็นตัวรวบรวมข้อมูลจากดาวเทียมขนาดเล็กอื่นรอบข้าง จากนั้นประมวลผลและส่งมาแสดงผล ณ สถานีภาคพื้นดิน ซึ่งในส่วนนี้ทำการพัฒนาเลือกใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดสภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพมากกว่าในการ

ทำดาวเทียมขนาดเล็กในส่วนแรก เพื่อให้ผลที่ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถเทียบเคียงได้กับอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดสภาพอากาศจริงในปัจจุบัน

ABSTRACT

This thesis is designed to develop CanSat and apply this CanSat to various missions. It can be divided into two parts. The first part is design and construction of CanSat model in the transmission part. The purpose is to prepare for the 2019 CanSat competition, providing a CanSat model that performs the mission as assigned. We design and construct the external physical structure and equip with sensors such as temperature sensors, relative humidity, air pressure, altitude, geographic coordinates, three-axis acceleration, magnetic field and real time clock to work together systematically and send data to the ground station. We attach a camera to recording video. Moreover we attach a device that help it to reduce the impact of the CanSat model while landing and do not let the internal equipment get damaged. In addition we manage the internal power consumption of all internal devices to ensure that enough to use.

The second part is to use the CanSat model to apply for weather monitoring for various missions and learn the Star topology transmission network with Multiple Input Multiple Output (MIMO) communication and have a master to compile data. The data is then processed and sent to the ground station. In the preparation of the external physical structure we attach a more efficient weather sensor for the CanSat to be comparable to current devices in real world mission.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ดาวเทียมขนาดเล็ก (CANSAT)	3
2.2 รายละเอียดการแข่งขัน CANSAT ประจำปี 2019	3
2.3 ร่มชูชีพ (PARACHUTE)	5
2.4 ระบบย่อยกลไกและโครงสร้าง	9
2.5 รูปแบบการสื่อสารการรับ-ส่งข้อมูล	11
2.6 หลักการทำงานของโมดูลสื่อสาร XBEE ความถี่ 2.4 GHz ในการสื่อสารกันด้วยรูปแบบ STAR TOPOLOGY	15
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์	
3.1 การออกแบบ	17
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	35
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการออกแบบในส่วนของการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก	50
4.2 ผลการออกแบบในส่วนของชุดตรวจวัดสภาพอากาศที่ทำการสื่อสารกันด้วยโทโพโลยีรูปดาว	69
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	78
5.2 ข้อเสนอแนะ	79
บรรณานุกรม	80
ภาคผนวก ก โค้ดสำหรับการทำงานของระบบย่อยในดาวเทียมขนาดเล็ก	82
ภาคผนวก ข โค้ดสำหรับการทำงานของระบบย่อยในชุดตรวจวัดสภาพอากาศ	95

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	2
2.1	6
2.2	6
2.3	7
2.4	7
2.5	9
2.6	9
2.7	10
2.8	11
2.9	12
2.10	12
2.11	13
2.12	13
2.13	14
2.14	15
2.15	16
3.1	17
3.2	18
3.3	19
3.4	20
3.5	22
3.6	22
3.7	23
3.8	24
3.9	25
3.10	25
3.11	26
3.12	26

สารบัญรูป (ต่อ)

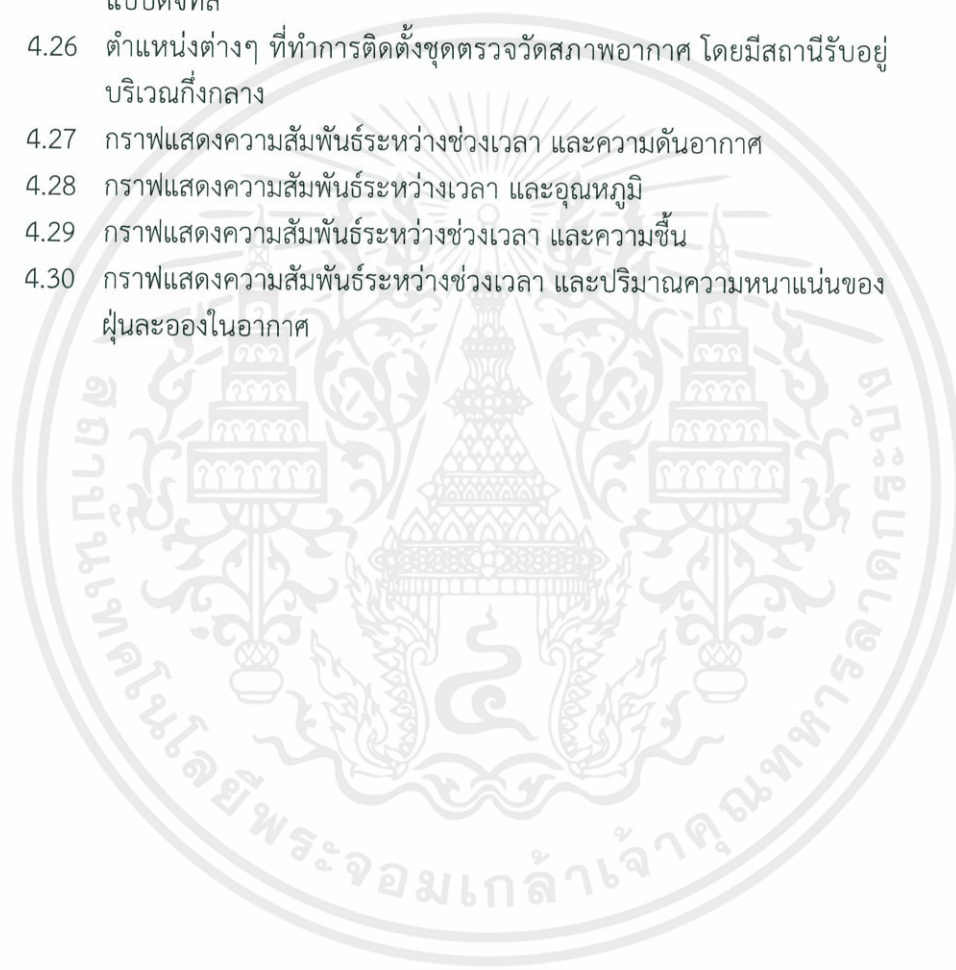
รูปที่	หน้า
3.13 กลไกการกางออกและหุบเก็บของใบพัด	27
3.14 ขาดังสำหรับส่วนโครงสร้างภายใน	28
3.15 ระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในส่วนโครงสร้างภายนอก	28
3.16 ระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในส่วนโครงสร้างภายใน	29
3.17 การโปรแกรมการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์ และระบบย่อยการสื่อสารข้อมูล	30
3.18 การโปรแกรมการทำงานของกลไกการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอกให้เปิดออก	31
3.19 การออกแบบโครงสร้างของชุดลูกข่ายเพื่อใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ	32
3.20 เซนเซอร์ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ	33
3.21 สถานีรับส่วนกลางที่ได้ทำการออกแบบไว้	34
3.22 โปรแกรมการทำงานของอุปกรณ์ชุดลูกข่ายเพื่อประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ	34
3.23 เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180)	35
3.24 เซนเซอร์ GPS วัดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GY-NEO6MV2)	36
3.25 เซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน (GY-291 ADXL345)	37
3.26 ลักษณะของมุม PITCH ROLL และ YAW ตามลำดับ	37
3.27 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบการหมุนของใบพัด	38
3.28 เซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า (VOLTAGE SENSOR)	38
3.29 โมดูลสื่อสารไร้สาย XBEE PRO S1	39
3.30 โมดูลนาฬิกาแบบเรียลไทม์ (RTC)	39
3.31 อุปกรณ์หน่วยความจำสำรอง (MICRO SD CARD) และโมดูล ADAPTER	40
3.32 อุปกรณ์ LOCATED AUDIO BEACON หรือ BUZZER	40
3.33 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22	41
3.34 เซนเซอร์วัดปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละออง	41
3.35 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม ARDUINO IDE	42
3.36 หน้าต่างเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม X-CTU	42
3.37 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม ZIGBEE OPERATOR	43
3.38 หน้าต่างเว็บเบราว์เซอร์ของโปรแกรม TINKERCAD	44
3.39 รูปแบบของแพคเกจข้อมูลที่ต้องทำการรับค่า	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.40 การจำลองติดตั้งดาวเทียมขนาดเล็กในรูปแบบโทโพโลยีรูปแบบดาว	48
4.1 การทดสอบความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของร่มชูชีพ	50
4.2 การทดสอบความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของใบพัด	51
4.3 ดาวเทียมขนาดเล็กที่จัดทำขึ้น	52
4.4 กลไกการเปิดส่วนโครงสร้างภายนอกด้วยมอเตอร์เซอร์โวทำงานได้ตาม ระยะที่กำหนด	53
4.5 ความดันอากาศที่วัดได้จากเซนเซอร์ เปรียบเทียบกับแอปพลิเคชันบน โทรศัพท์เคลื่อนที่	54
4.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ BMP180 และเครื่องมือวัด อุณหภูมิดิจิทัล	55
4.7 ค่าสัญญาณบิตข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180)	56
4.8 ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ GPS บริเวณหน้าตึกภาควิชาโทรคมนาคม	57
4.9 การปรับเปลี่ยนทิศของเซนเซอร์ตามค่ามุมต่างๆ เพื่อคำนวณมุม PITCH	58
4.10 การปรับเปลี่ยนทิศของเซนเซอร์ตามค่ามุมต่างๆ เพื่อคำนวณมุม ROLL	59
4.11 ค่าความเร็วรอบการหมุนใบพัดพัดลมทำความเย็นที่อ่านได้จากเซนเซอร์	60
4.12 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (VOLTAGE SENSOR)	61
4.13 แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือออสซิลอโคป	61
4.14 ดาวเทียมขนาดเล็กขณะเคลื่อนที่ตกลงจากชั้น 12 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ สู่พื้นดิน	62
4.15 แพคเกจข้อมูลจริงที่อ่านได้จากหน้าจอโปรแกรม ZIGBEE OPERATOR	63
4.16 แพคเกจข้อมูลที่นำมาประมวลผล	63
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และความสูง	64
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูง ความดันอากาศ และอุณหภูมิ	64
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และแรงดันไฟฟ้าคงเหลือของ แบตเตอรี่	65
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และค่ามุม PITCH, มุม ROLL	66
4.21 ภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกได้จากกล้องภายในดาวเทียมขนาดเล็ก	66
4.22 ระยะทางสูงสุดที่โมดูลสื่อสารสามารถส่ง และรับข้อมูลได้	67
4.23 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ DHT22 และเครื่องมือวัด อุณหภูมิดิจิทัล	69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.24	ความดันอากาศที่วัดได้จากเซนเซอร์เปรียบเทียบกับแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่	72
4.25	ปริมาณความหนาแน่นฝุ่นที่ได้จากเซนเซอร์ เปรียบเทียบกับค่าจากตัววัดแบบดิจิทัล	72
4.26	ตำแหน่งต่างๆ ที่ทำการติดตั้งชุดตรวจวัดสภาพอากาศ โดยมีสถานีรับอยู่บริเวณกึ่งกลาง	74
4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และความดันอากาศ	74
4.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และอุณหภูมิ	75
4.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และความชื้น	76
4.30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละอองในอากาศ	76



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	4
4.1	51
4.2	52
4.3	53
4.4	55
4.5	57
4.6	59
4.7	60
4.8	68
4.9	68
4.10	70
4.11	71
4.12	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีต่างๆ ในปัจจุบันนั้นได้พัฒนาไปอย่างก้าวกระโดด รวมไปถึงเทคโนโลยีอวกาศและเทคโนโลยีดาวเทียมที่ได้รับความนิยมมากขึ้น โดยเฉพาะการทดลองสร้างดาวเทียมขนาดเล็ก (CanSat) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้จำลองการทำงานของดาวเทียมจริง มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการเรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีทางด้านอวกาศ แบบไม่ได้ปล่อยเข้าสู่โคจรในอวกาศจริง แต่ดาวเทียมขนาดเล็กนั้น จะถูกปล่อยออกจากพาหนะนำร่องต่างๆ เช่น อากาศยาน จรวด บอลลูน หรือโดรน ณ ความสูงประมาณ 100 - 4,000 เมตร โดยในระหว่างที่ดาวเทียมขนาดเล็กเคลื่อนที่ลงสู่พื้นดิน จะมีการปฏิบัติการทางวิศวกรรมศาสตร์ที่กำหนดไว้ เช่น วัดค่าอุณหภูมิ ค่าความสูง ค่าตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ค่าความเร่งสามแกน เป็นต้น จากนั้นทำการส่งค่าดังกล่าวมาแสดงผลยังสถานีภาคพื้นดิน ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สายระยะไกล รวมถึงอาจมีการบันทึกภาพก่อนที่จะตกลงพื้นดินอีกด้วย

ด้วยคณะผู้จัดทำมีความสนใจในเทคโนโลยีดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษา ออกแบบ และสร้างดาวเทียมขนาดเล็กในส่วนของภาคส่งขึ้น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับภารกิจตรวจวัดสภาพอากาศต่างๆ อีกทั้งพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เข้าร่วมการแข่งขัน CanSat ประจำปี 2019 ภายใต้โครงการ The American Astronautical Society (AAS) โดยในการออกแบบ และสร้างดาวเทียมขนาดเล็กนั้น ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการแข่งขัน และปฏิบัติการตามที่ได้รับมอบหมายได้อย่างสมบูรณ์

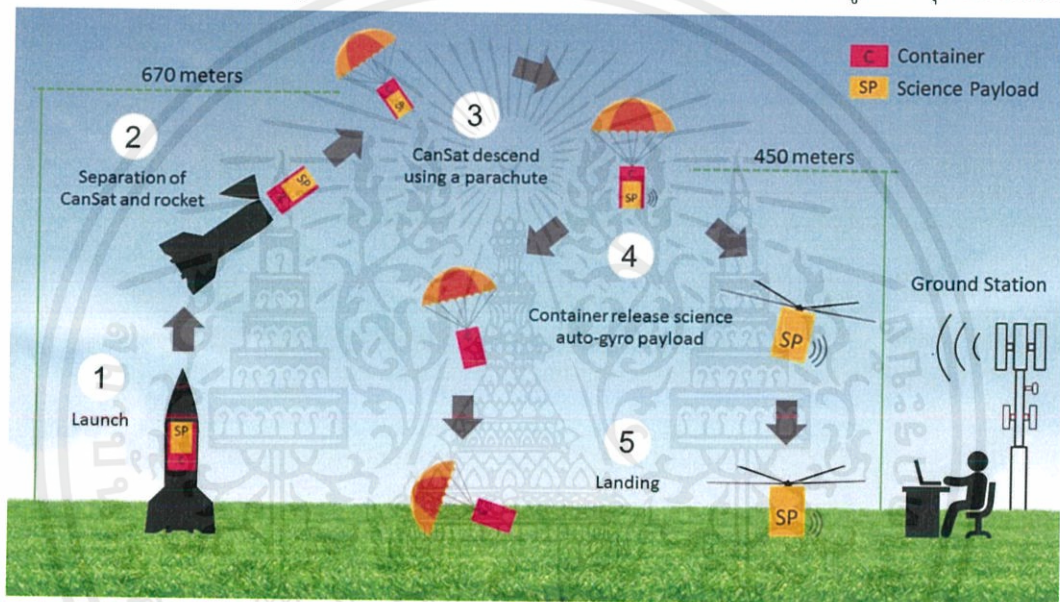
1.2 วัตถุประสงค์

- 1) พัฒนา ออกแบบ และสร้างดาวเทียมขนาดเล็กในส่วนของภาคส่ง เพื่อเข้าร่วมการแข่งขัน CanSat ประจำปี 2019 ภายใต้โครงการ The American Astronautical Society (AAS)
- 2) มุ่งเน้นการทำงานของดาวเทียมขนาดเล็กที่มีกลไกใบพัด สำหรับควบคุมความเร็วในการตกลงสู่พื้นดิน ให้ทำงานเป็นไปตามข้อกำหนด เพื่อลดแรงกระแทกและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายใน
- 3) ออกแบบและสร้างดาวเทียมขนาดเล็กเพื่อประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ โดยพัฒนาให้น้ำหนักเบาและมีความแม่นยำ

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1) ออกแบบและสร้างดาวเทียมขนาดเล็ก ประกอบด้วยระบบการทำงานย่อยทั้งหมด 5 ส่วน ได้แก่ ระบบย่อยเซนเซอร์ ระบบย่อยการสื่อสารและจัดการข้อมูล ระบบย่อยควบคุมการเคลื่อนที่ ระบบย่อยเชิงกลและโครงสร้าง และระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าของระบบ

2) สามารถควบคุมความเร็วของดาวเทียมได้ โดยที่ระดับความสูง 670-725 เมตรจากพื้นดิน เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที ซึ่งควบคุมการตกโดยรวมชูชีพ ส่วนที่ระดับความสูง 450 เมตร จนกระทั่งเคลื่อนที่ลงสู่ภาคพื้นดิน จะมีความเร็ว 10-15 เมตรต่อวินาที ซึ่งถูกควบคุมโดยใบพัด



รูปที่ 1.1 แผนภาพการทำงานโดยรวมของดาวเทียมขนาดเล็ก

จากรูปที่ 1.1 แสดงการทำงานโดยรวมของดาวเทียมขนาดเล็ก โดยติดตั้งดาวเทียมขนาดเล็กที่สร้างขึ้นกับจรวด เพื่อใช้สำหรับส่งขึ้นไปยังระดับความสูงที่กำหนด เมื่อตัวจรวดปลดดาวเทียมขนาดเล็กออก ที่ระยะ 670 เมตรจากพื้นดิน ร่มชูชีพจะทำงาน ทำให้ดาวเทียมขนาดเล็กเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที และเมื่อเคลื่อนที่ลงถึงระดับความสูง 450 เมตร ส่วนโครงสร้างจะถูกทำให้แยกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนภายนอก (Container) ที่ติดอยู่กับร่มชูชีพ และส่วนภายใน (Science Payload) ที่มีกลไกใบพัด (auto-gyro) ทำให้ส่วนโครงสร้างภายในจะเคลื่อนที่ลงสู่พื้นดินด้วยความเร็ว 10 - 15 เมตรต่อวินาที รวมถึงมีการส่งข้อมูลที่ได้จากระบบย่อยเซนเซอร์และระบบย่อยสื่อสารข้อมูลมาแสดงผล ณ ภาคพื้นดิน

3) สามารถนำแนวคิดของดาวเทียมขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้กับงานตรวจวัดสภาพอากาศได้ โดยมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบโทโพโลยีรูปดาว โดยมีชุดตรวจวัดสภาพอากาศลูกข่าย 3 ชุด วัดค่าความดันอากาศ, อุณหภูมิ, ค่าความชื้นสัมพัทธ์, ค่าดัชนีความร้อนแท้จริง และค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ส่งข้อมูลมายังสถานีรับ 1 สถานีเดียวกัน ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลจากชุดตรวจวัดสภาพอากาศลูกข่ายทั้งหมดรอบข้าง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดาวเทียมขนาดเล็ก (CanSat)

ดาวเทียมขนาดเล็ก (CanSat) [1] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จำลองการทำงานของดาวเทียม โดยสามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กตามที่กำหนด มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการเรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีทางด้านอวกาศ แต่ไม่ได้ถูกปล่อยเข้าสู่วงโคจรในอวกาศจริง ซึ่งในการปล่อยดาวเทียมขนาดเล็กนั้น จะถูกปล่อยออกจากพาหนะนำร่องต่างๆ เช่น อากาศยาน จรวด บอลลูน หรือโดรน ที่ความสูงประมาณ 100 - 4,000 เมตร เมื่อถูกปลดออกจากพาหนะดังกล่าว จะใช้ร่มชูชีพในการกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ลงสู่พื้นดิน โดยในระหว่างที่ดาวเทียมขนาดเล็กกำลังร่มชูชีพร่อนลงมานั้น จะมีการปฏิบัติการทางวิศวกรรมศาสตร์ที่กำหนดไว้ เช่น วัดค่าอุณหภูมิ ค่าความสูง ค่าตำแหน่ง พิกัดทางภูมิศาสตร์ ค่าความเร่งสามแกน เป็นต้น โดยทำการส่งค่าดังกล่าวมาแสดงผลยังสถานีภาคพื้นดิน ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สายระยะไกล รวมถึงอาจมีการบันทึกภาพก่อนที่จะตกถึงพื้นดินอีกด้วย

2.2 รายละเอียดการแข่งขัน CanSat ประจำปี 2019

การจัดการแข่งขันการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ที่มีการทำงานเลียนแบบดาวเทียมเพื่อให้เห็นถึงระบบการบินอวกาศ โดยจัดทำเป็นดาวเทียมขนาดเล็กที่จัดขึ้นในแต่ละปีนั้น จัดโดย American Astronautical Society (AAS) และ American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) โดยจะเปิดโอกาสให้ผู้เข้าแข่งขันสมัครเข้ามาเป็นทีมทั้งจากวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยทุกแห่งทั่วโลกได้เข้าร่วม โดยจะเป็นการวางแผน ออกแบบ สร้างและพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก (CanSat) ให้เป็นไปตามภารกิจที่ได้รับมอบหมาย โดยในแต่ละภารกิจจะเป็นการสะท้อนความต้องการต่างๆ ในการปฏิบัติงานจริงของระบบอวกาศ ซึ่งต้องอาศัยหลักการและความรู้ความเข้าใจทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ โดยในแต่ละปีที่จัดการแข่งขันนั้นจะมีภารกิจที่แตกต่างกันไป และแต่ละทีมจะเป็นการเก็บคะแนนไปตลอดการแข่งขัน ตั้งแต่การวางแผน ออกแบบ นำเสนอ และไปสู่การนำผลงานไปทดลองปล่อยจริง [2]

สำหรับภารกิจประจำปี 2019 จะเป็นการใช้ไบบัต (Auto-gyro) เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของส่วนโครงสร้างภายใน (Science Payload) หลังจากได้แยกตัวออกจาก ส่วนโครงสร้างภายนอก (Container) แล้ว โดย CanSat จะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของโครงสร้างภายใน และส่วนโครงสร้างภายนอก ที่ทำหน้าที่ปกป้องส่วนของโครงสร้างภายใน หลังจากที่ถูกปล่อยออกจากจรวด ซึ่งลำดับการดำเนินงานต้องเป็นดังนี้ [3]

1) ดาวเทียมขนาดเล็กจะถูกปล่อยออกจากจรวดที่ระยะ 670-725 เมตรเหนือพื้นดินที่ปล่อยขึ้นไป โดยจะไม่มีกระบวนการควบคุมทิศทางการปล่อย และ โครงสร้างภายนอก (Container) จะต้องคอยปกป้อง โครงสร้างภายใน (Science Payload) ที่อยู่ภายใน

2) เมื่อดาวเทียมขนาดเล็กถูกปล่อยออกจากจรวด รมซูซีพีที่ติดอยู่เหนือโครงสร้างภายนอก จะทำงานทันที เพื่อให้ดาวเทียมขนาดเล็กตกลงสู่พื้นดินด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที

3) เมื่อดาวเทียมขนาดเล็กตกลงมาอยู่ที่ความสูง 450 เมตรเหนือพื้นดิน โครงสร้างภายนอกจะต้องเปิดออกเพื่อให้ใบพัดที่ติดอยู่กับโครงสร้างภายในทำงานได้ และทำให้โครงสร้างในส่วนนี้ตกลงสู่พื้นดินด้วยความเร็ว 10 - 15 เมตรต่อวินาที

4) ในขณะที่โครงสร้างภายในกำลังเคลื่อนที่ลงอยู่นั้น จะต้องส่งค่าจากระบบเซนเซอร์ ได้แก่ ความสูงที่อ่านจากค่าความดัน ค่าความดันอากาศ อุณหภูมิภายนอก แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เวลา ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ค่ามุม Pitch ค่ามุม Roll และค่าความเร็วรอบการหมุนของใบพัด มาแสดงผลยังภาคพื้นดิน

5) เมื่อโครงสร้างภายในเคลื่อนที่ตกลงถึงพื้นดิน อุปกรณ์จะส่งสัญญาณเสียงแจ้งเตือน และการส่งข้อมูลจะยุติลง

ในการแข่งขันนั้น ต้องปฏิบัติตามคำแนะนำข้อกำหนดพื้นฐานของการแข่งขัน แสดงได้ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดพื้นฐานของการแข่งขัน [4]

ข้อที่	ข้อกำหนด
1	น้ำหนักรวมของ CanSat (น้ำหนักโครงสร้างภายนอกพร้อมกับโครงสร้างภายใน) ไม่เกิน 500 กรัม +/- 10 กรัม
2	CanSat ควรบรรจุอยู่ในจรวดที่บรรจุทรงกระบอก ที่มีขนาด 125 mm x 310 mm ได้อย่างพอดี
3	โครงสร้างภายนอก ไม่ควรมีส่วนที่เป็นมุม เพราะอาจทำให้เกิดการติดขัดอยู่ในจรวด เมื่อต้องทำการปล่อย
4	โครงสร้างภายนอกควรเป็นสีสะท้อนแสง เช่น ชมพู แดง หรือส้ม
5	ตัวจรวดไม่มีส่วนช่วยในการแยกตัวของ CanSat
6	ตัวจรวดไม่มีส่วนช่วยในการทำงานติดต่อสื่อสารของ CanSat
7	เมื่อ CanSat ถูกปล่อยออกจากจรวด รมซูซีพีที่ติดอยู่กับส่วนโครงสร้างภายนอก ควรทำงานทันที

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดพื้นฐานของการแข่งขัน (ต่อ)

ข้อที่	ข้อกำหนด
8	ความเร็วในการตกลงสู่พื้นดินของ CanSat เป็น 20 m/s +/- 5 m/s
9	ส่วนโครงสร้างภายนอกจะทำการแยกตัวจากส่วนโครงสร้างภายใน ที่ระดับความสูง 450 m +/- 10 m จากพื้นดิน
10	โครงสร้างภายในตกลงสู่พื้นดินโดยการควบคุมจากระบบใบพัด (auto-gyro)
11	ความเร็วในการตกลงสู่พื้นดินของส่วนโครงสร้างภายในหลังจากแยกตัวออกจากส่วนโครงสร้างภายนอก เป็น 10-15 m/s
12	องค์ประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดจะถูกปิดล้อมและมีที่ปิดกันจากสิ่งแวดล้อม พร้อมกับการยกเว้นของเซนเซอร์
13	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดจะต้องติดตั้งอย่างมั่นคง เช่น ยึดด้วยสกรูหรือกาวที่มีประสิทธิภาพสูง
14	กลไกทั้งหมดต้องสามารถทำงานได้ภายใต้แรงกระทำทั้งหมด
15	กลไกต้องไม่ใช้วัสดุที่ทำให้เกิดการระเบิด ติดไฟ หรือสารเคมี
16	กลไกที่ใช้ความร้อน (เช่น ลวดนิโครม) ไม่ควรสัมผัสกับสภาพแวดล้อมภายนอก เพื่อลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากไฟ
17	ส่วนโครงสร้างภายในวัดความสูงโดยใช้เซนเซอร์วัดความดันอากาศ
18	ส่วนโครงสร้างภายใน หาพิกัดตำแหน่งโดยใช้ GPS
19	ส่วนโครงสร้างภายใน สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ได้
20	ส่วนโครงสร้างภายใน สามารถวัดอุณหภูมิภายนอกได้
21	ส่วนโครงสร้างภายในสามารถวัดอัตราการหมุนของใบพัดโดยเทียบกับการหมุนของส่วนโครงสร้างภายในได้
21	ส่วนโครงสร้างภายในสามารถวัดค่า pitch และ roll ได้
22	ระบบจะส่งข้อมูลเซนเซอร์ทั้งหมด ในระบบส่งข้อมูลระยะไกล โดยใช้ โมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ที่ความถี่ 2.4 GHz หรือ 9 GHz
23	ร่มชูชีพควรเป็นสีสะท้อนแสง เช่น ชมพู หรือ ส้ม

2.3 ร่มชูชีพ (PARACHUTE)

2.3.1 ชนิดของร่มชูชีพ [5]

จากการศึกษา พบว่า ร่มชูชีพนั้นมีชนิด ลักษณะ รูปร่าง ที่แตกต่างกันไป เพื่อให้เลือกใช้ให้เหมาะสมกับประเภทการใช้งาน แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 – 2.4

2.3.1.1 ร่มชูชีพแบบ Semi-Spherical



รูปที่ 2.1 ร่มชูชีพแบบ Semi-Spherical

จากรูปที่ 2.1 แสดงลักษณะ รูปร่างของร่มชูชีพแบบ Semi-Spherical ซึ่งมีลักษณะเป็น ครึ่งทรงกลม และเจาะรูตรงกลางเป็น 5% ของพื้นที่ร่มทั้งหมดเพื่อเพิ่มแรงต้านอากาศ ทำให้ตกลงสู่พื้นดินช้าลง ทั้งนี้เป็นร่มที่มีค่าสัมประสิทธิ์ (C_d) เท่ากับ 1.5

2.3.1.2 ร่มชูชีพแบบ Parapent



รูปที่ 2.2 ร่มชูชีพแบบ Parapent

จากรูปที่ 2.2 แสดงลักษณะ รูปร่างของร่มชูชีพแบบ Parapent ซึ่งเป็นร่มที่บังคับทิศทางได้ เนื่องจากลักษณะที่คล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีการติดเชือกที่ทั้งสองข้างซ้ายขวาของตัวร่ม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ (C_d) ที่จะขึ้นกับผู้ออกแบบ

2.3.1.3 ร่มชูชีพแบบ Flat parachute



รูปที่ 2.3 ร่มชูชีพแบบ Flat parachute

จากรูปที่ 2.3 แสดงลักษณะ รูปร่างของร่มชูชีพแบบ Flat parachute ซึ่งจะเป็นร่มที่เป็นการนำแผ่นสามเหลี่ยมมาต่อกันลักษณะคล้ายร่ม รูปทรงที่ได้ออกมาจะคล้ายกับร่มชูชีพแบบ Semi-Spherical แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ (C_d) เท่ากับ 0.75

2.3.1.4 ร่มชูชีพแบบ Cross



รูปที่ 2.4 ร่มชูชีพแบบ Cross

จากรูปที่ 2.4 แสดงลักษณะ รูปร่างของร่มชูชีพแบบ Cross ลักษณะของร่มชูชีพจะคล้ายกับตัว X ซึ่งเป็นร่มชูชีพที่มีค่าสัมประสิทธิ์ (C_d) เท่ากับ 0.8

2.3.2 หลักการทำงานและการคำนวณหาความเร็วของร่มชูชีพ [6]

ในการสร้างร่มชูชีพนั้นมีจุดประสงค์เพื่อให้ดาวเทียมขนาดเล็กนั้นตกกระทบพื้นโลกโดยไม่เสียหายจากแรงดึงดูดของโลก (Gravity Force) ดังนั้น การควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ตกสู่พื้นดินจึงมีความสำคัญ ในขณะที่ร่มชูชีพตกสู่พื้นดินนั้น จะเกิดแรงในสองทิศทาง โดยหลักการที่ทำให้ความเร็วของร่มชูชีพมีค่าคงที่ได้ั้น ต้องออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่มชูชีพให้เกิดแรงที่เรียกว่า Drag (F_D) ซึ่งเป็นแรงที่เกิดขึ้นในทิศตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลก แสดงได้ดังนี้

$$F_D = mg = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (2.1)$$

โดย d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่มชูชีพ (m)

m คือ มวลทั้งหมดของดาวเทียมขนาดเล็กที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ คือ 0.55 kg

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ มีค่า 1.225 kg/m^3

C_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของร่มชูชีพ โดยขึ้นอยู่กับรูปร่างของร่ม กำหนดให้มีค่า 0.21

v คือ ค่าความเร็วของร่มชูชีพในการเคลื่อนที่ตกสู่พื้นดิน กำหนดให้มีค่า 20 m/s

เมื่อขนาดของพื้นที่หน้าตัดของร่มชูชีพที่สัมผัสกับอากาศเป็นวงกลม จะได้ว่า

$$F_D = mg = \frac{1}{2} \rho C_d \left(\frac{4\pi}{d^2}\right) v^2 \quad (2.2)$$

จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 เมื่อกำหนดให้ค่ามวลที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ คือ 550 กรัม หรือ 0.55 กิโลกรัม และค่าความเร็วที่กำหนดในการตกสู่พื้นโลกเท่ากับ 20 เมตรต่อวินาที จะได้ว่าสามารถหาค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่มชูชีพได้ ดังสมการนี้

$$d = \sqrt{\frac{8mg}{\pi \rho C_d v^2}} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ 2.3 จะได้ว่า สามารถคำนวณหาค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่มชูชีพที่ทำให้ความเร็วในการตกสู่พื้นดินของร่มชูชีพมีค่าคงที่ตามที่ต้องการได้

2.4 ระบบย่อยกลไกและโครงสร้าง

2.4.1 หลักการทำงานของมอเตอร์เซอร์โว



รูปที่ 2.5 มอเตอร์เซอร์โวชนิดอาร์ซี [7]

จากรูปที่ 2.5 แสดงมอเตอร์เซอร์โวชนิดอาร์ซี จะได้ว่า หลักการทำงานของมอเตอร์นี้ คือ มอเตอร์จับคู่กับเครื่องเข้ารหัสบางประเภทเพื่อให้ได้ตำแหน่งและความเร็วป้อนกลับ ในกรณีที่ยากที่สุดเป็นเพียงการวัดตำแหน่งเท่านั้น ตำแหน่งที่วัดได้ของเอาต์พุตจะถูกเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่สั่งการจากอินพุตภายนอกที่ป้อนเข้าสู่ตัวควบคุม หากตำแหน่งเอาต์พุตแตกต่างจากที่ต้องการ จะมีการสร้างสัญญาณผิดพลาด ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งตามต้องการเพื่อให้เพลลาขาออกหมุนไปยังตำแหน่งที่เหมาะสม กล่าวคือ เป็นการตรวจสอบข้อผิดพลาดจากสัญญาณตอบกลับและปรับค่าให้ถูกต้องอย่างต่อเนื่อง เมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งที่ถูกต้องสัญญาณผิดพลาดจะลดลงเป็นศูนย์และมอเตอร์จะหยุดทำงาน



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของมอเตอร์เซอร์โว

จากรูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของมอเตอร์เซอร์โว โดยจะใช้สัญญาณพัลส์ควบคุมทิศทางและองศาการหมุน ที่เรียกว่า Pulse Width Modulation (PWM) ซึ่งตำแหน่งการหมุนขึ้นอยู่กับความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยเมื่อจ่ายสัญญาณพัลส์เข้ามายังมอเตอร์เซอร์โว ส่วนของวงจรถวลคุมภายในจะอ่านค่าแล้วประมวลผลค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่เข้ามา แปลค่าเป็นตำแหน่งองศาที่ต้องการให้กับมอเตอร์เซอร์โวหมุนไปยังตำแหน่งนั้น และมีเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งคอยวัดค่ามุมที่มอเตอร์กำลังหมุนเป็นตัวป้อนกลับมาให้วงจรถวลคุมเปรียบเทียบกับค่าอินพุตเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องแม่นยำ

2.4.2 การขึ้นรูปโครงสร้างแบบ 3D Printing ด้วย PLA Filament

การขึ้นรูปโครงสร้างแบบ 3D Printing โดยใช้ 3D Printer เป็นการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้กระบวนการเติมเนื้อวัสดุ เพื่อทำให้เกิดเป็นรูปร่างที่สามารถจับต้องได้ตามที่ต้องการ โดยอาศัยข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล ซึ่งการเติมเนื้อหรือพิมพ์วัสดุลงไปนั้นเรียกว่า Additive Process ซึ่งการพิมพ์นั้นจะค่อยเป็นไปทีละ Layer หรือทีละชั้น แสดงได้ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การทำงานของการทำ 3D Printing [8]

จากรูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของการทำงาน 3D Printing สำหรับหลักการทำงานนั้น จะได้ว่า ก่อนที่เครื่องพิมพ์ 3 มิติจะพิมพ์งานได้ ต้องมีข้อมูลในรูปแบบของดิจิทัล เช่น ไฟล์ .stl ซึ่งสามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำพวก CAD ในการออกแบบ เมื่อได้โมเดลหรือชิ้นงานในรูปแบบของไฟล์ดิจิทัลแล้ว ก็จะนำไฟล์นั้นไปทำการ Slice หรือตัดเลเยอร์งานออกมาให้เป็นแผ่นบางๆ เพื่อที่จะให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ พิมพ์แผ่นหรือชั้นบางๆ นั้นทับต่อกัน จนเกิดเป็นวัตถุ 3 มิติขึ้นมา

ในการทำ 3D Printing นั้น ต้องมีการเลือกเส้นใยให้เหมาะสมกับความต้องการของชิ้นงาน โดยทำการเลือกเส้นใยชนิด PLA หรือ Polylactic-acid เป็นพลาสติกได้มาจากธรรมชาติ เช่น ส่วนประกอบข้าวโพด เนื่องจากเป็นวัสดุที่เกิดจากผลผลิตธรรมชาติ จึงสามารถย่อยสลายได้ คุณสมบัติเด่นของเส้นใยชนิดนี้ คือ มีลักษณะใสและเงา ชิ้นงานที่ออกมามีลักษณะกึ่งใสคล้ายแก้ว จึงเหมาะกับชิ้นงานพวกโมเดล หรือ วัตถุที่ต้องการความเงา สำหรับความแข็ง เนื่องจากมีคุณสมบัติคล้ายแก้ว จึงเหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการความแข็ง แต่ชิ้นงานจะไม่ทนต่อ การบิด และการดึง การขึ้นรูปกับเส้นใยชนิดนี้ ชิ้นงานที่ได้จะมีความสวยงาม คมชัด เนื่องจากเส้นใยมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 180-220 องศา น้ำพลาสติกที่ออกจากหัวฉีดนั้นจะมีความหนืดน้อยกว่า PLA ทำให้เกิดชิ้นงานที่มีความคมมากกว่า เก็บรายละเอียดดีกว่า อีกทั้งมีความสามารถขึ้นรูปได้ง่ายกว่า เนื่องจากจุดหลอมเหลวต่ำ และไม่ต้องใช้แผ่นรองความร้อนขึ้นรูป และเย็นตัวเร็วกว่า แต่ข้อเสีย คือ PLA จัดเป็นเทอร์โมพลาสติก คือ หากถูกความร้อนจะสามารถหลอมละลายเปลี่ยนรูปร่างได้ง่าย

2.4.3 ชนิดและการทำงานของวัสดุรองรับแรงกระแทกสำหรับโครงสร้าง

วัสดุกันกระแทก คือ วัสดุที่นำมาใช้เพื่อปกป้องวัตถุจากการสูญเสียเนื่องมาจากการกระแทกอย่างรุนแรงหรือการสั่นสะเทือน หลักการพื้นฐานที่สำคัญ 2 ประการของวัสดุกันกระแทกในการป้องกันการเสียหาย ได้แก่ วัสดุกันกระแทกถูกนำมาใช้เพื่อดูดซับแรงกระแทกและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับวัตถุ และวัสดุกันกระแทกมีประสิทธิภาพในการลดการเคลื่อนที่มากระแทกกันจากการสั่นสะเทือน

ในการเลือกใช้วัสดุกันกระแทกควรเลือกใช้ชนิดของวัสดุกันกระแทกให้เหมาะสำหรับการใช้งาน เพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวัสดุรองรับแรงกระแทกที่เลือกใช้ เป็นสปริงกด (Compression Springs) [9]



รูปที่ 2.8 สปริงกด (Compression Springs) [9]

จากรูปที่ 2.8 แสดงลักษณะ รูปร่างของสปริงกด โดยสปริงกด คือ สปริงที่ใช้เพื่อรับน้ำหนักหรือเพื่อลดแรงกระแทก จะมีการหดตัวเมื่อได้รับแรงกดหรือแรงกระแทก โดยสปริงที่เลือกใช้มีค่านิจสปริงเท่ากับ 0.0875 kgf/mm

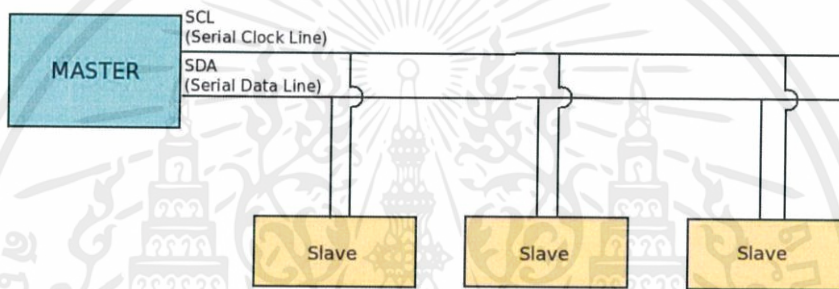
2.5 รูปแบบการสื่อสารการรับ-ส่งข้อมูลในระบบย่อยการสื่อสารและการจัดการข้อมูล

ในการสื่อสารรับ-ส่งข้อมูล มีการใช้โมดูลหลายตัว ซึ่งแต่ละตัวมีรูปแบบการสื่อสารต่างกัน ดังนี้ โมดูลที่ใช้การสื่อสารแบบ I²C (Inter-Integrated Circuit) ได้แก่ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความดัน ความสูง (GY-68 BMP 180) เซนเซอร์วัดความเร่งสามแกน (GY-291 ADXL 345) เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า เซนเซอร์วัดความเร็วรอบการหมุนของใบพัด และโมดูลนาฬิกาแบบเรียลไทม์ (Real Time Clock DS1307)

อุปกรณ์ที่ใช้รูปการสื่อสารแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) ได้แก่ เซนเซอร์ GPS GY-NEO6MV2 และโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee Pro S1

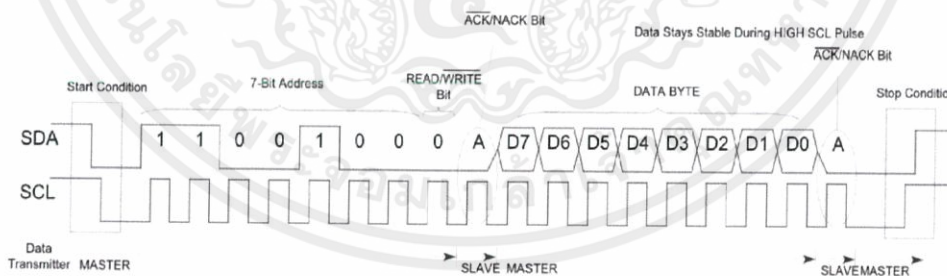
2.5.1 การสื่อสารข้อมูลรูปแบบ I²C (Inter-Integrated Circuit) [10]

การสื่อสารแบบ I²C เป็นการสื่อสารอนุกรมแบบ synchronous เพื่อใช้สื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ความเร็วต่ำ I²C มีความโดดเด่นที่การเชื่อมต่อกันเป็นระบบบัสแบบรับและส่งข้อมูลซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์จำนวนมากได้โดยใช้สายเพียงแค่ 2 เส้น ทำให้ลดจำนวนของสายไฟและขนาดของอุปกรณ์ไปได้ จึงทำให้เป็นการสื่อสารที่นิยมสำหรับระบบฝังตัว (embedded system) ขนาดเล็ก แสดงได้ ดังรูปที่ 2.9 - 2.11



รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I²C

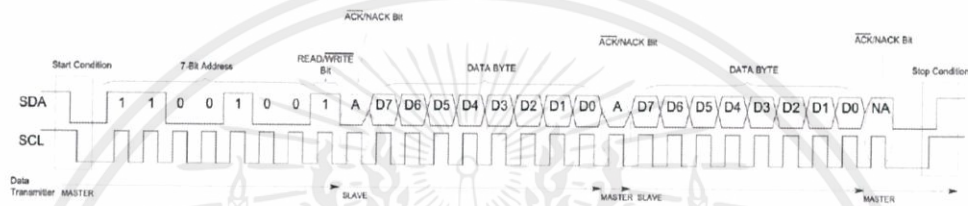
จากรูปที่ 2.9 สาย 2 เส้นที่จะเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์คือ SCL และ SDA โดยสาย SCL จะส่งสัญญาณนาฬิกา เพื่อบอกว่าข้อมูลที่รับหรือส่ง จะทำที่ความถี่เท่าใด ส่วนสาย SDA จะใช้ในการส่งสัญญาณเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.10 ข้อมูลการเขียน I²C แบบสมบูรณ์

จากรูปที่ 2.10 เป็นการเขียนข้อมูลจากฝั่งของ Master โดยให้ Slave เป็นฝั่งรับข้อมูลโดยแรกเริ่ม Master จะส่งสัญญาณ START เพื่อให้ Slave ทุกตัวรอรับข้อมูล 7 บิตแรกจะเป็น address ของ Slave ที่จะเรียกใช้ ตัวที่จะทำงานคือตัวที่ address ตรงกันกับตัวของมันเท่านั้น สัญญาณการอ่าน/เขียน เพื่อบอก Slave ว่าข้อมูลที่ Master ส่งมาต้องอ่านหรือเป็นสัญญาณบอก

เพื่อให้เขียนข้อมูลกลับไป (0 คือให้อ่าน 1 คือให้ส่งข้อมูลกลับไป) เมื่อ Slave ทุกตัวได้รับข้อมูลจะตรวจสอบ address ว่าตรงกับของตนหรือไม่ ถ้าตรงกันก็จะส่งสัญญาณ ACK กลับไปให้ Master เพื่อบอกว่า address ที่เรียกมีการเชื่อมต่ออยู่ เพราะอุปกรณ์ที่ address ไม่ตรงกันจะส่งสัญญาณ NACK กลับไป ซึ่งมีความหมายว่าไม่ต้องทำอะไร ในขั้นถัดไปจากนี้จะเป็นการส่งสัญญาณมาให้ทีละ 8 บิต (1 byte) หลังจากโอนข้อมูลแต่ละ 1 byte Slave จะต้องตอบสนองด้วยสัญญาณ ACK เพื่อให้รู้ว่าการส่งข้อมูลไม่ผิดพลาดหรือสูญหาย (หากไม่ส่งกลับ Master จะส่งข้อมูลชุดเดิมมาใหม่) และเมื่อ Master ส่งข้อมูลเสร็จสิ้นก็จะส่งสัญญาณ STOP มาให้ Slave รู้

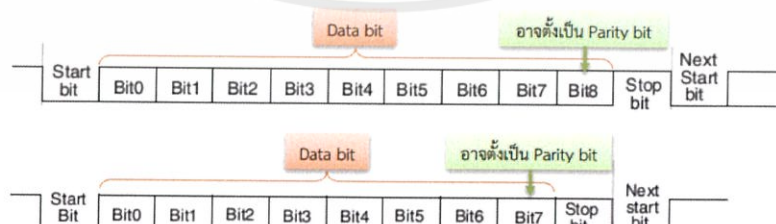


รูปที่ 2.11 ข้อมูลการอ่าน I²C แบบสมบุรณ์

จากรูปที่ 2.11 แสดงการเขียนข้อมูลจากฝั่งของ Slave ให้ Master เป็นฝั่งรับข้อมูล ขั้นตอนช่วงแรกก็จะคล้ายกับการอ่านข้อมูล เพียงแค่ bit ที่บอกการอ่าน/เขียน นั้นจะแตกต่างกัน เพราะทำคนละหน้าที่ ส่งสัญญาณ ACK กลับไปเพื่อบอกว่าอุปกรณ์ address ที่เรียกมีอยู่ในการเชื่อมต่อ ส่วนของข้อมูลตรงนี้ Slave จะเป็นคนเขียนกลับไปให้ Master ดูได้จากเส้น Data Transmitter เราจะเห็นว่า Slave จะส่งข้อมูลกลับไปให้ Master 8 bit เมื่อครบ 8 bit แล้ว Master จะต้องส่งสัญญาณตอบสนองต่อการส่งแต่ละ byte ด้วยสัญญาณ ACK แต่เมื่อ Master ไม่ต้องการข้อมูลแล้ว หลัง byte สุดท้าย Master จะต้องส่งสัญญาณ NACK กลับมา และสุดท้าย Master จะส่งสัญญาณ STOP มาเพื่อสิ้นสุดการส่งด้วย

2.5.2 การสื่อสารข้อมูลรูปแบบ UART [11]

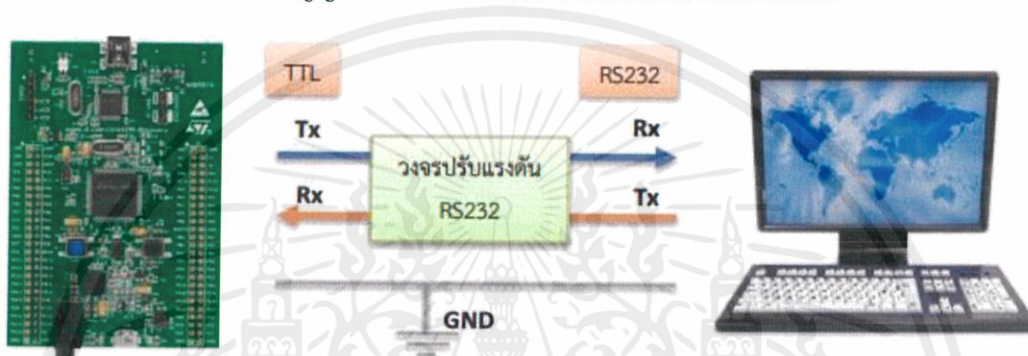
การสื่อสารแบบ UART เป็นการเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลอนุกรมกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์, RFID, GPS, GSM Module, Wifi Module เป็นต้น



รูปที่ 2.12 รูปแบบการสื่อสารแบบ UART

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

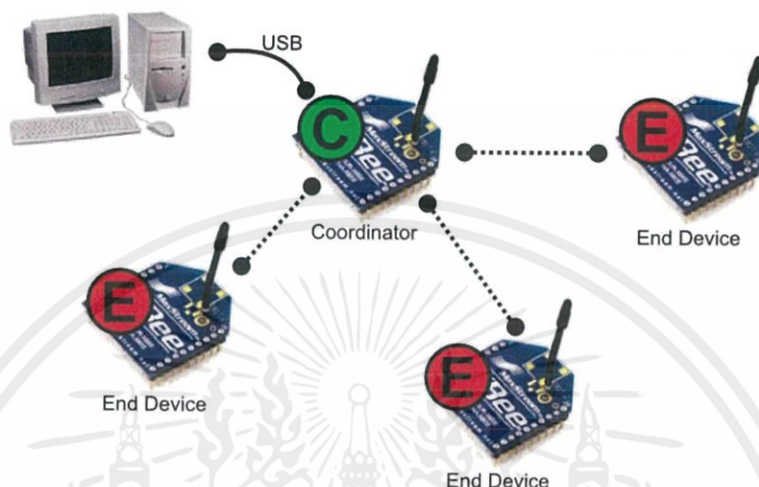
จากรูปที่ 2.12 แสดงรูปแบบการสื่อสารของ UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) โดยผู้ใช้ต้องกำหนดคุณสมบัติเหล่านี้ให้เหมือนกันทั้งฝั่งตัวรับ (Receiver) และตัวส่ง (Transmitter) ซึ่งประกอบด้วยบิตเริ่มต้น (Start Bit) เป็นสถานะ Low ผู้ใช้งานสามารถกำหนดจำนวนข้อมูลของบิตข้อมูล (Data Bit) ให้เป็น 8 หรือ 9 บิต โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดชนิดของ Parity Bit แบบ Odd, Even หรือ None c และบิตสิ้นสุด (Stop Bit) มีจำนวน 0.5, 1, 1.5 หรือ 2 บิตได้ นอกจากนี้ระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณการสื่อสารแบบ UART เรียกว่า TTL ซึ่งเป็นระดับสัญญาณแบบดิจิทัลทั่วไปที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.13 การเชื่อมต่อสายสัญญาณสื่อสารแบบ UART

จากรูปที่ 2.13 แสดงการเชื่อมต่อสัญญาณสื่อสารแบบอนุกรมระหว่างอุปกรณ์ ขา Transmit Data (Tx) ของตัวส่ง (Transmitter) จะเชื่อมต่อกับ ขา Receive Data (Rx) ของตัวรับ (Receiver) เพื่อส่งข้อมูลไปยังตัวรับ (Receiver) ขา Rx ของตัวส่ง (Transmitter) เชื่อมต่อกับขา Tx ของตัวรับ (Receiver) เพื่อรับข้อมูลจากตัวรับ (Receiver) และขา GND ของอุปกรณ์ทั้งสองควรต่อกัน ถ้าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ผู้ใช้งานควรเพิ่มวงจรปรับแรงดันของสัญญาณ เช่น IC เบอร์ MAX232

2.6 หลักการทำงานของโมดูลสื่อสาร Xbee ความถี่ 2.4 GHz ในการสื่อสารกันด้วยรูปแบบ Star topology [12]



รูปที่ 2.14 โมดูลสื่อสาร Xbee ทำการติดต่อสื่อสารกันแบบ Star topology

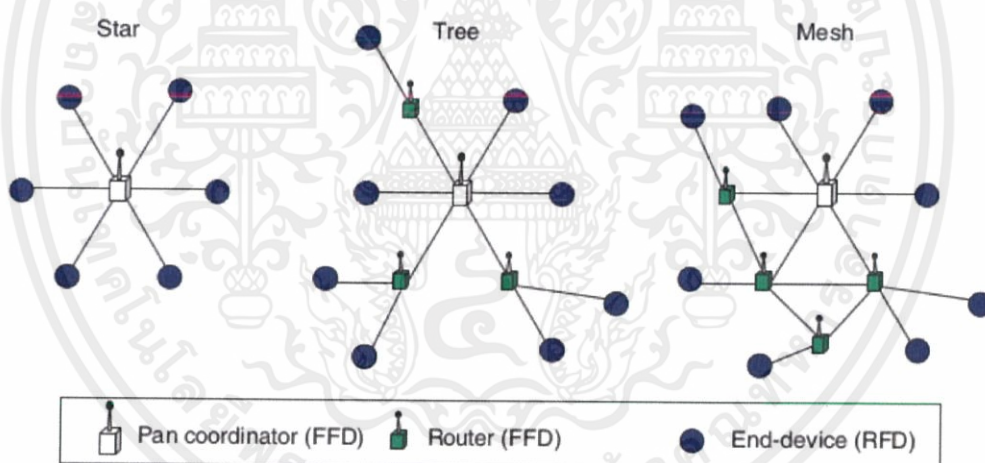
จากรูปที่ 2.14 แสดงโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee 2.4 GHz มากกว่า 1 ตัว ที่ทำการติดต่อสื่อสารกันแบบโทโพโลยีรูปดาว (Star topology) โดย Xbee หรือ Zigbee เป็นมาตรฐานเครือข่ายการสื่อสารสากล สำหรับอุปกรณ์สื่อสารไร้สายแบบ low-cost, low-power, low-data-rate ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ถูกออกแบบมาให้สามารถรองรับการเชื่อมต่อสื่อสารแบบโทโพโลยี (Topology) ได้ โดยโทโพโลยี หรือรูปแบบการเชื่อมโยงของเครือข่ายนั้นมีหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบ Star, Bus, Mesh, Tree เป็นต้น โดยโทโพโลยีรูปดาว (Star topology) นั้นเป็นโทโพโลยีที่จัดการง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถติดตั้งและแก้ไขระบบได้ง่าย ถ้ามีโหนดใดโหนดหนึ่งเสียหาย จะไม่ส่งผลกระทบต่อเครือข่ายทั้งหมด อีกทั้งตัว Hub หรือ Coordinator นั้น จะสามารถควบคุมทุกแพ็คเกจข้อมูลที่รับส่งกันภายในเครือข่ายได้ แต่โทโพโลยีรูปแบบดังกล่าว มีข้อจำกัดในด้านถ้าอุปกรณ์ Hub หรือ Coordinator เสียหาย หรือใช้การไม่ได้ เครือข่ายทั้งหมดก็ไม่สามารถใช้การได้เช่นกัน และถ้าหากลูกข่ายแต่ละโหนดต้องการพูดคุยกันเอง เนื่องด้วยตัวอุปกรณ์ Hub หรือ Coordinator เป็นช่องทางการรับส่งข้อมูลช่องทางเดียว ถ้าหากมีการรับส่งข้อมูลมากๆ ช่องทางสื่อสารของตัว Hub จะกลายเป็นลักษณะคอขวด ส่งผลให้ทราฟฟิกในการส่งและรับข้อมูลมีปัญหา

ในการสร้างโครงข่ายไร้สายของ ZigBee นั้น จะต้องประกอบด้วยโหนด จำนวนอย่างน้อยที่สุด 2 ชนิด คือ Coordinator node และ node ลูกข่าย ชนิดใดชนิดหนึ่ง (Router/End device) จึงจะสามารถสื่อสารและทำงานในรูปแบบของ PAN (Personal area network) ได้ โดยใน

โทโพลีรูปร่างนั้น จะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ 2 ชนิด ได้แก่ อุปกรณ์ Coordinator และอุปกรณ์ End device โดยแต่ละอุปกรณ์ จะมีคุณสมบัติ ดังนี้

สำหรับอุปกรณ์ Coordinator นั้น เป็นผู้เริ่มต้นและจัดการเครือข่าย ภายในหนึ่งเครือข่าย จะมี coordinator เพียงตัวเดียวเสมอ สามารถกำหนด Channel และ PAN ID ของเครือข่าย อนุญาตให้ Router และ End device สามารถเข้าร่วมเครือข่ายได้ อีกทั้งยังเป็นตัวจัดหาเส้นทาง ถ่ายโอนข้อมูล และสามารถเป็นที่พักข้อมูลที่รับส่งกันภายในเครือข่าย โดยอุปกรณ์ Coordinator ไม่สามารถเข้าสู่โหมด Sleep mode ได้ จะต้องพร้อมทำงานอยู่เสมอ

อุปกรณ์ End device ทำหน้าที่เป็นลูกข่าย สามารถเข้าร่วมกับเครือข่ายที่มีอยู่ได้ แต่ไม่อนุญาตให้โมดูลอื่นๆ เข้ามาร่วมเป็นลูกข่ายตัวเองได้ สามารถรับหรือส่ง ข้อมูลได้ แต่ไม่สามารถเป็นตัวถ่ายทอดข้อมูลไปยังโหนดอื่นๆได้ อีกทั้งสามารถใช้งาน Sleep mode เพื่อประหยัดพลังงานได้ แต่จำเป็นที่จะต้องมียุทธ Parent คอยดูแลอยู่เสมอ ในกรณีที่เข้าสู่ Sleep mode เพื่อประหยัดพลังงาน จะไม่สามารถรับหรือส่งข้อมูลได้ โหนด Parent จึงเป็นตัวทำการพักข้อมูลเอาไว้ให้ โดยสามารถใช้อุปกรณ์ Coordinator ทำหน้าที่ดังกล่าวได้



รูปที่ 2.15 การเชื่อมต่ออุปกรณ์การสื่อสารแบบโทโพลีต่างๆ

จากรูปที่ 2.15 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์การสื่อสารแบบโทโพลีต่างๆ ในการจัดทำโทโพลีรูปร่าง เพื่อประยุกต์ใช้ในงานตรวจวัดสภาพอากาศนั้น สามารถทำได้โดยกำหนดให้ Xbee 2.4 GHz ส่วนกลาง ทำหน้าที่เป็น Coordinator ในการรับข้อมูลจากลูกข่ายที่ต้องการจะติดต่อสื่อสารกัน โดยลูกข่ายจะทำหน้าที่เป็น End device ในการส่งข้อมูลเข้าหาอุปกรณ์ Xbee 2.4 GHz ส่วนกลาง จากนั้นอุปกรณ์ส่วนกลาง จะทำการส่งข้อมูลที่ได้จากลูกข่ายทั้งหมด ไปยังสถานีภาคพื้นดิน

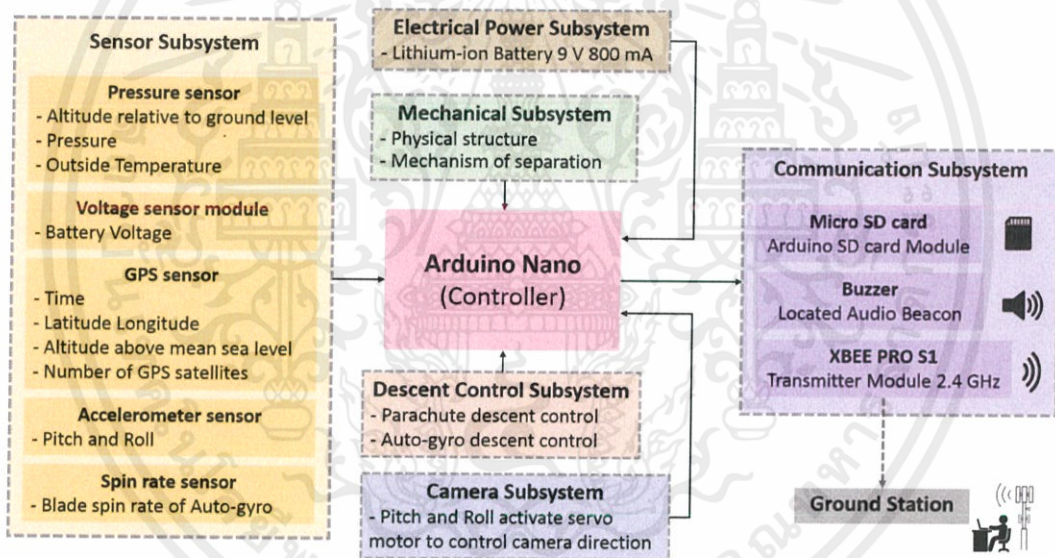
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญาบัตร

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของดาวเทียมขนาดเล็ก

สำหรับการออกแบบเพื่อเชื่อมต่อและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ให้สามารถทำงานร่วมกันได้นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ระบบย่อย ได้แก่ ระบบย่อยเซนเซอร์ ระบบย่อยการควบคุมการเคลื่อนที่ ระบบย่อยเชิงกลและโครงสร้าง ระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้า เป็นส่วนรับเข้า (Input) สู่อุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ที่เป็นส่วนประมวลผล (Processor) จากนั้นระบบย่อยการสื่อสารและจัดการข้อมูลนั้น จะเป็นส่วนส่งออก (Output) สู่สถานีภาคพื้น (Ground Station) อีกทั้งมีการสำรองข้อมูลเก็บไว้ในส่วนจัดเก็บข้อมูล (Storage) อีกด้วย แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการออกแบบการเชื่อมต่อและติดตั้งอุปกรณ์ ให้สามารถทำงานร่วมกัน

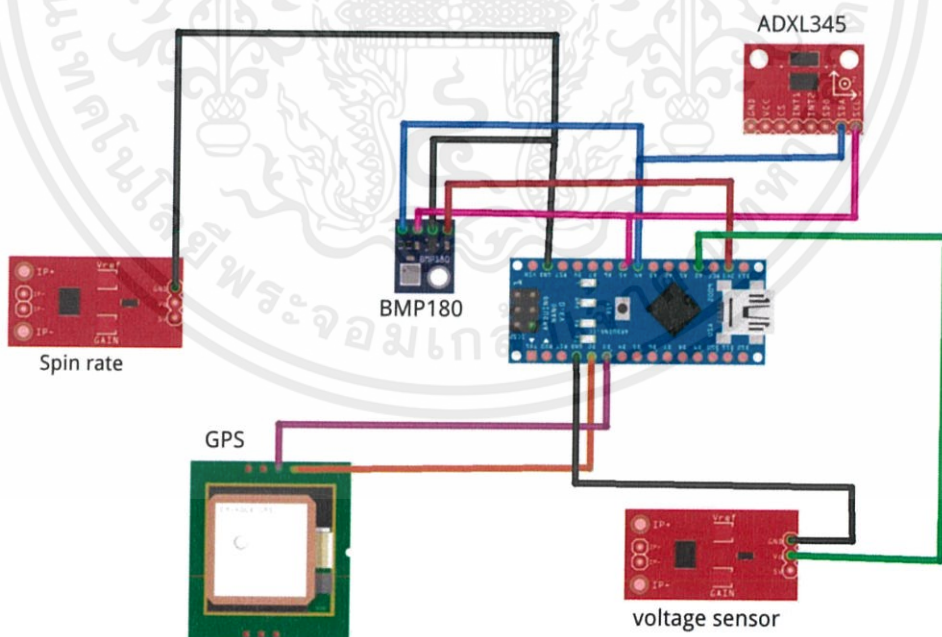
จากรูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบการเชื่อมต่อ ติดตั้งอุปกรณ์ และหน้าที่การทำงานโดยรวมทั้งหมดของดาวเทียมขนาดเล็กส่วนภาคส่ง โดยเริ่มจากระบบย่อยเซนเซอร์ที่ประกอบด้วย เซนเซอร์วัดความดันอากาศ แสดงค่าความดันอากาศ อุณหภูมิ และความสูงจากพื้นดิน, เซนเซอร์วัดกำลังไฟฟ้า แสดงค่าแบตเตอรี่ที่คงเหลือของระบบ, เซนเซอร์ GPS แสดงค่าเวลา ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และจำนวนดาวเทียมที่สามารถตรวจจับได้ เซนเซอร์วัดความเร่งสามแกน แสดงค่า มุม Pitch และมุม Roll สำหรับเซนเซอร์วัดความเร็วรอบการหมุนของใบพัด แสดงค่าอัตราการหมุนของใบพัดในหน่วย รอบต่อนาที (rpm) โดยค่าที่วัด

ได้จากเซนเซอร์ทั้งหมดจะถูกรวบรวมและประมวลผลที่อุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ จากนั้นส่งข้อมูลทั้งหมดไปแสดงผล ณ สถานีภาคพื้นดิน โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สายระยะไกล Xbee ที่ความถี่ 2.4 GHz เป็นตัวกลางในการสื่อสาร มีการสำรองข้อมูลเก็บไว้ในหน่วยความจำ (SD Card) และเมื่อดาวเทียมขนาดเล็กมีระยะห่างจากพื้นดินในแนวตั้ง 0 - 1 เมตร อุปกรณ์ Located Audio Beacon หรืออุปกรณ์ Buzzer จะทำการแจ้งเตือนโดยการส่งสัญญาณเสียง และการส่งข้อมูลมายังสถานีภาคพื้นดินจะหยุดการทำงาน

นอกจากนี้ข้อมูลค่าความสูงที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดค่าความดันอากาศ จะถูกส่งไปควบคุมระบบย่อยเชิงกล ในส่วนกลไกการแยกโครงสร้างภายนอก และโครงสร้างภายในออกจากกัน ที่ระยะความสูง 450 เมตรจากพื้นดิน

3.1.1.1 การออกแบบการเชื่อมต่อและติดตั้งอุปกรณ์ของระบบย่อยเซนเซอร์

สำหรับระบบย่อยเซนเซอร์ เป็นระบบย่อยที่ประกอบด้วยเซนเซอร์สำคัญที่ใช้ในการปฏิบัติการกิจของดาวเทียมขนาดเล็ก ทั้งหมด 5 เซนเซอร์ ได้แก่ เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180) เซนเซอร์วัดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS GY-NEO6MV2) เซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน (GY-291 ADXL345) เซนเซอร์วัดความเร็วรอบการหมุนของใบพัด (Counter motor speed sensor) และเซนเซอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Voltage sensor) ซึ่งการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างเป็นระบบ แสดงได้ดังรูปที่ 3.2

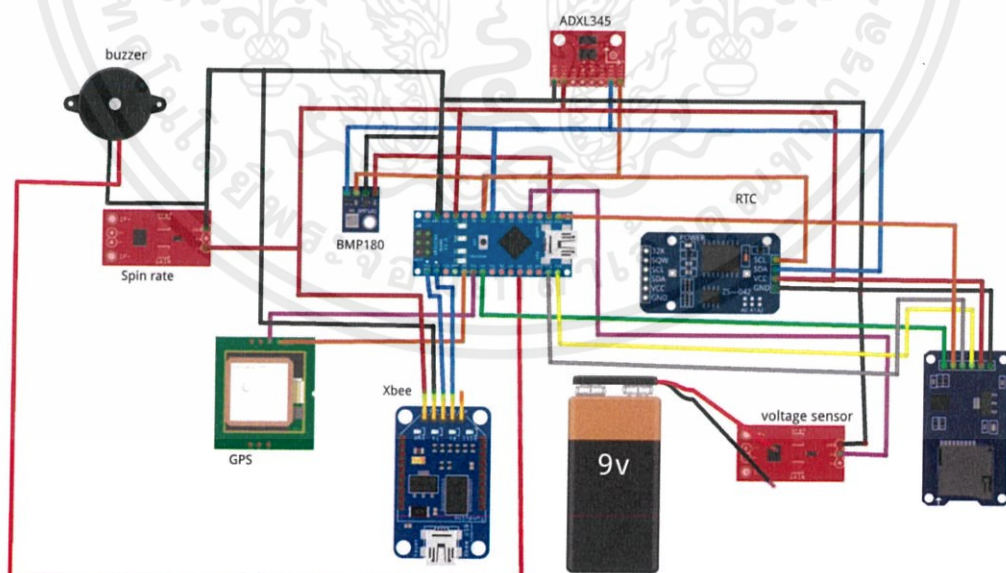


รูปที่ 3.2 การออกแบบการเชื่อมต่อและติดตั้งอุปกรณ์ของระบบย่อยเซนเซอร์

จากรูปที่ 3.2 แสดงการออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบย่อยเซนเซอร์ทั้งหมด โดยทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับบอร์ด Arduino NANO เพื่อใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนี้ เชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180) โดยขา SDA ขา SCL ต่อเข้ากับขา A4 และ A5 ของบอร์ดคอนโทรลเลอร์ และเชื่อมต่อขา 5V และขา GND ของทั้งสองเข้าด้วยกัน ตามลำดับ การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Voltage sensor) จะทำการเชื่อมต่อขาลบ และขา S ของอุปกรณ์เข้ากับขา GND และขา A0 ของบอร์ด ตามลำดับ สำหรับโมดูลเซนเซอร์ GPS ทำการเชื่อมต่อขา VCC ขา GND ขา Rx และขา Tx ของอุปกรณ์ เข้ากับขา 5V ขา GND ขา D2 และขา D3 ของบอร์ด ตามลำดับ การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน (GY-291 ADXL345) นั้น ทำได้โดยเชื่อมต่อ ขา VCC ขา GND ขา SDA และขา SCL ของอุปกรณ์เข้ากับขา 5V ขา GND ขา A4 และขา A5 ของบอร์ด ตามลำดับ และการเชื่อมต่ออุปกรณ์เซนเซอร์วัดความเร็วรอบการหมุนของใบพัด (Counter motor speed sensor) สามารถทำได้โดยเชื่อมต่อขา VCC ขา GND และขา A0 ของอุปกรณ์และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าด้วยกัน ตามลำดับ

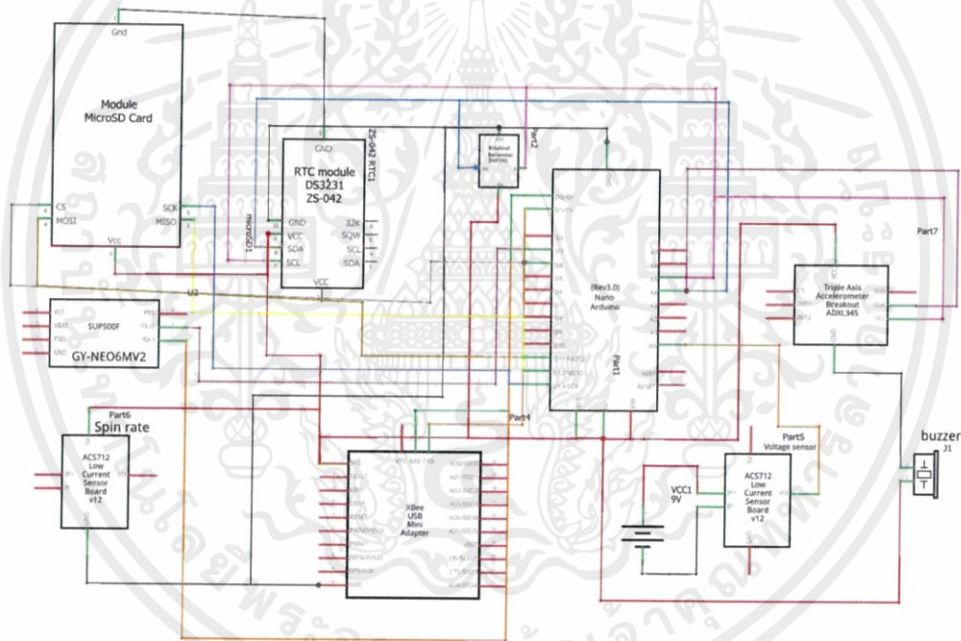
3.1.1.2 การออกแบบอุปกรณ์ของระบบย่อยการสื่อสารข้อมูลและจัดการข้อมูล

ระบบย่อยการสื่อสารและจัดการข้อมูลนั้น เป็นระบบที่นำข้อมูลที่ได้จากระบบย่อยเซนเซอร์ มาทำการรวบรวมและประมวลผลที่อุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ ทำการส่งข้อมูลทั้งหมดไปแสดงผล ณ สถานีภาคพื้นดิน โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สายระยะไกล Xbee ที่ใช้ความถี่ 2.4 GHz เป็นตัวกลางในการสื่อสาร โดยการเชื่อมต่อระบบย่อยเซนเซอร์ทั้งหมดเข้ากับโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee 2.4 GHz แสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การออกแบบการเชื่อมต่อและติดตั้งอุปกรณ์ของระบบย่อยการสื่อสารข้อมูล

จากรูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบการเชื่อมต่อและติดตั้งอุปกรณ์ของระบบย่อยการสื่อสารข้อมูล โดยเมื่อระบบย่อยเซนเซอร์ทำการวัดและเก็บค่าข้อมูล จะต้องทำการส่งข้อมูลดังกล่าวมาประมวลผลและแสดงผล ณ ภาคพื้นดิน ทำให้ต้องมีการเชื่อมต่อระบบย่อยเซนเซอร์เข้ากับอุปกรณ์ส่งสัญญาณสื่อสารไร้สาย เรียกระบบดังกล่าวว่า ระบบย่อยการสื่อสารข้อมูล โดยใช้อุปกรณ์โมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee Pro S1 ความถี่ 2.4 GHz เป็นสื่อกลางในการส่งสัญญาณข้อมูลไร้สายมายังสถานีภาคพื้นดิน โดยมีความถี่ในการส่งชุดข้อมูล คือ 1 Hz กล่าวคือ ใน 1 วินาที จะทำการส่งชุดข้อมูล 1 แพคเก็ต ทำการส่งต่อเนื่องตลอดการปฏิบัติการกิจของดาวเทียมขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมต่อระบบย่อยดังกล่าวเข้ากับอุปกรณ์ SD Card อีกด้วย เพื่อเป็นการเก็บสำรองข้อมูล อีกทั้งมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์แจ้งเตือนด้วยเสียง หรืออุปกรณ์ Buzzer เพื่อทำการส่งสัญญาณเสียงแจ้งเตือน เมื่อดาวเทียมขนาดเล็กเคลื่อนที่ลงถึงพื้นดิน และหยุดปฏิบัติการกิจ โดยการเชื่อมต่อนั้นสามารถแสดงเป็นแผนภาพ Schematic ได้ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนภาพ Schematic ของระบบย่อยการสื่อสารข้อมูลและจัดการข้อมูล

จากรูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพ Schematic ของระบบย่อยการสื่อสารข้อมูลและจัดการข้อมูล โดยเป็นการนำระบบย่อยเซนเซอร์มาต่อรวมกับอุปกรณ์โมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee Pro S1 ความถี่ 2.4 GHz ในการส่งสัญญาณข้อมูลมายังสถานีภาคพื้นดิน อีกทั้งทำการเพิ่มการเชื่อมต่อระบบย่อยดังกล่าวเข้ากับอุปกรณ์ SD Card เพื่อเป็นการเก็บสำรองข้อมูล และอุปกรณ์แจ้งเตือนด้วยเสียง เพื่อทำการส่งสัญญาณเสียงแจ้งเตือน เมื่อดาวเทียมขนาดเล็กมีระยะห่างจากพื้นดิน 0 - 1 เมตร โดยสามารถนำแผนภาพ Schematic นี้ ไปใช้ในการสร้างลายวงจรได้

3.1.1.3 การออกแบบอุปกรณ์ของระบบย่อยการควบคุมการเคลื่อนที่

ในส่วนของระบบย่อยการควบคุมการเคลื่อนที่ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้ร่มชูชีพ โดยให้ความเร็วในการตกลงสู่พื้นดิน 20 - 25 เมตรต่อวินาที และส่วนการใช้ใบพัด ควบคุมการเคลื่อนที่ให้ความเร็วในการตกลงสู่พื้นดิน 10 - 15 เมตรต่อวินาที

1) การออกแบบร่มชูชีพ (Parachute)

เนื่องจากร่มชูชีพเป็นส่วนที่มีความสำคัญในการควบคุมความเร็ว เพื่อลดความเสียหายที่เกิดจากแรงกระแทกในการตกสู่พื้นดินในช่วงระยะแรกของการปล่อยดาวเทียมขนาดเล็ก (CanSat) จากพาหนะนำร่อง โดยความเร็วที่กำหนดเป็น 20 เมตร/วินาที ดาวเทียมขนาดเล็ก มีมวล 550 กรัม เลือกใช้ร่มชูชีพแบบ Semi-Spherical ที่มีการเจาะรูส่วนบน ทำจากวัสดุผ้าร่มไนลอน (Rip-Stop Nylon) สามารถคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของร่มได้ ดังสมการนี้

$$d = \sqrt{\frac{8mg}{\rho C_d v^2}} \quad (3.1)$$

โดย d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่มชูชีพ (m)

m คือ มวลทั้งหมดของดาวเทียมขนาดเล็ก คือ 0.55 kg

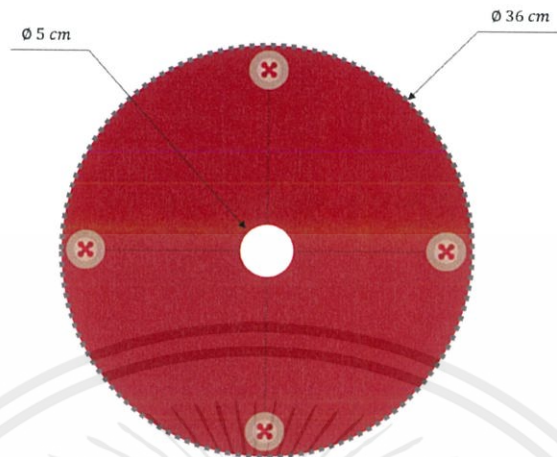
g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ มีค่า 1.225 kg/m^3

C_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของร่มชูชีพ โดยขึ้นอยู่กับรูปร่าง กำหนดให้มีค่า 0.21

และ v คือ ค่าความเร็วของร่มชูชีพในการเคลื่อนที่ตกสู่พื้นดิน กำหนดให้ เท่ากับ 20 m/s

จากสมการที่ 3.1 จะได้ว่า สามารถคำนวณหาค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่มชูชีพที่ต้องการให้ความเร็วในการตกสู่พื้นดิน มีค่า 20 เมตรต่อวินาที เท่ากับ 0.36 เมตร คิดเป็นขนาดพื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 0.101 ตารางเมตร และตัดส่วนพื้นที่ของรูปบริเวณตรงกลางของร่มออก คิดเป็น 5% ของพื้นที่ทั้งหมด จะได้ว่า เหลือพื้นที่หน้าตัดของร่มชูชีพที่สัมผัสกับอากาศทั้งหมด 0.096 ตารางเมตร และความยาวเชือก (l) ที่ผูกปลายร่มติดกับดาวเทียมขนาดเล็ก ออกแบบให้มีค่าความยาวเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่มชูชีพ หรือ 0.36 เมตร แสดงได้ดังรูปที่ 3.5

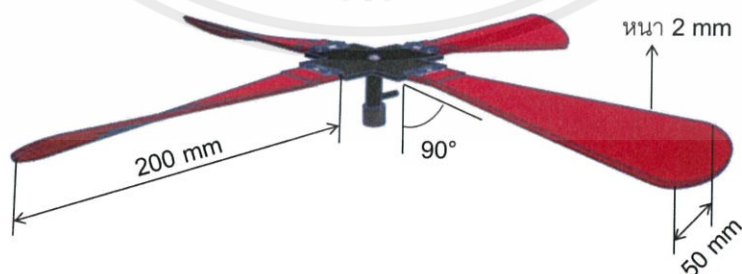


รูปที่ 3.5 การออกแบบร่มชูชีพ

จากรูปที่ 3.5 แสดงการออกแบบร่มชูชีพ โดยเลือกใช้วัสดุผ้าร่มไนลอน (Rip-Stop Nylon) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่มชูชีพ 36 เซนติเมตร หรือ 0.36 เมตร และรูเจาะบริเวณส่วนกลาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร หรือ 0.05 เมตร ซึ่งพื้นที่รูเจาะคิดเป็น 5% ของพื้นที่ร่มชูชีพทั้งหมด และมีการเย็บกระดุมติดไว้ที่ตัวร่มทั้งหมด 4 จุด เพื่อความสะดวกในการนำเชือกที่มีความยาว 36 เซนติเมตร มาผูกยึดระหว่างร่มชูชีพและห่วงที่ติดอยู่กับดาวเทียมขนาดเล็ก

2) การออกแบบใบพัด (Auto-gyro blade)

เมื่อดาวเทียมขนาดเล็กเคลื่อนที่ลงมาถึงระดับความสูง 450 เมตรจากพื้นดิน ส่วนโครงสร้างภายนอกที่มีการติดตั้งร่มชูชีพ จะถูกทำให้เปิดออก เพื่อให้ส่วนโครงสร้างภายในแยกออกมา และตกลงสู่พื้นดิน ทำให้ในส่วนโครงสร้างนี้ต้องมีการใช้ใบพัดในการควบคุมการเคลื่อนที่ลงสู่พื้นดินแทน โดยต้องการให้มีความเร็วในการตกลงสู่พื้นดิน 10 – 15 เมตรต่อวินาที โดยมวลของส่วนโครงสร้างภายใน มีค่า 350 กรัม วัสดุในการทำใบพัด คือ เส้นใย PLA ด้วยวิธีการพิมพ์สามมิติ แสดงขนาดและการออกแบบได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การออกแบบขนาดของใบพัด

จากรูปที่ 3.6 แสดงการออกแบบขนาดและการติดตั้งใบพัด เมื่อส่วนโครงสร้างภายในทำการแยกออกจากส่วนโครงสร้างภายนอกที่ระยะความสูง 450 เมตรนั้น จะได้ว่า อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ลง จากเดิมที่เป็นร่มชูชีพ ได้ทำการเปลี่ยนเป็นใบพัดแทน โดยขณะที่เคลื่อนที่ลงสู่พื้นดิน แรงลมจะทำให้ใบพัดทั้ง 4 ใบที่มีขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาว 200 มิลลิเมตร และความหนา 2 มิลลิเมตร มีความบิดหรือโค้งงอเล็กน้อย เพื่อให้แรงลมได้ไหลผ่านใบพัดจากด้านล่างสู่ด้านบน ทำให้เกิดแรงยกและใบพัดเกิดการหมุนตามต้องการได้ ทำการติดตั้งใบพัดดังกล่าวเข้ากับบานพับ ออกแบบให้สามารถกางออกได้สูงสุด 90 องศากับแนวตั้ง โดยสามารถวัดค่าความเร็วรอบการหมุนของใบพัดได้ การหมุนของใบพัดส่งผลให้เกิดแรงต้านอากาศเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้สามารถควบคุมความเร็วในการตกสู่พื้นดินของส่วนโครงสร้างนี้ ให้มีค่าเท่ากับ 10 -15 เมตรต่อวินาที ตามที่ต้องการได้

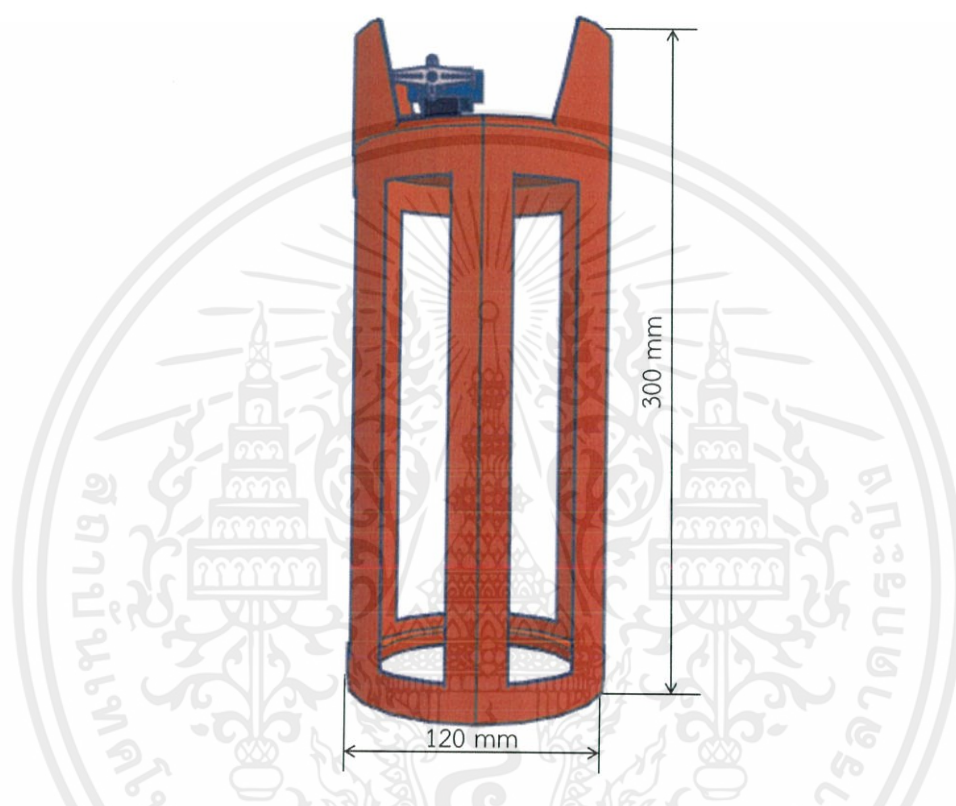
3.1.1.4 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ของระบบย่อยเชิงกลและส่วนโครงสร้าง

สำหรับการออกแบบระบบย่อยเชิงกลและส่วนโครงสร้างนั้น ประกอบด้วย การออกแบบโครงสร้างและกลไกการทำงานหลัก โดยในส่วนโครงสร้างนั้น ต้องทำการออกแบบให้ดาวเทียมขนาดเล็กมีขนาดเป็นไปตามข้อกำหนด และส่วนการออกแบบกลไกการทำงานนั้น ต้องให้สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยแสดงได้ดังรูปที่ 3.7



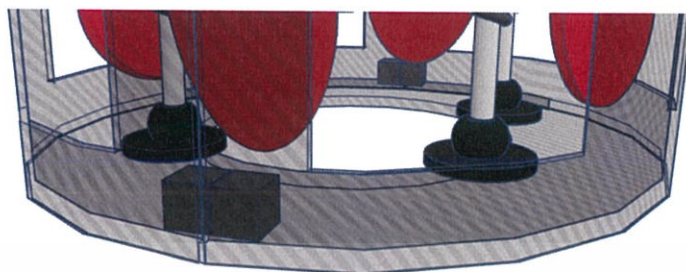
รูปที่ 3.7 โครงสร้างโดยรวมของดาวเทียมขนาดเล็ก

จากรูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างโดยรวมของดาวเทียมขนาดเล็กที่ประกอบด้วย ส่วนโครงสร้างภายนอก (Container) ที่มีกลไกการการดึงแยกแม่เหล็กออกจากกัน ทำให้มีการเปิดพื้นที่ด้านข้างออก และส่วนโครงสร้างภายใน (Science Payload) ที่มีกลไกทำให้ใบพัดกางออกขณะเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดิน โดยแสดงโครงสร้างและกลไกการทำงานทั้งหมด ได้ดังรูปที่ 3.8 - 3.14



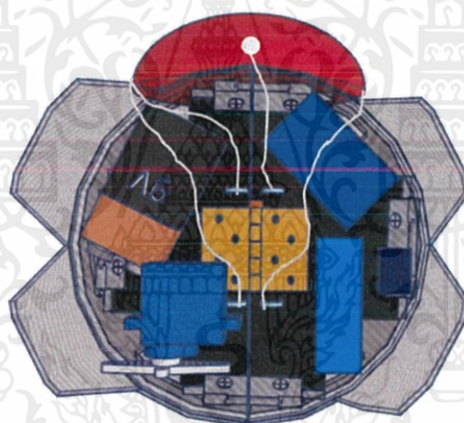
รูปที่ 3.8 ส่วนโครงสร้างภายนอก (Container)

จากรูปที่ 3.8 แสดงส่วนโครงสร้างภายนอกที่ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ ในขณะที่ปล่อยดาวเทียมขนาดเล็กออกจากพาหนะนำร่อง โดยออกแบบให้โครงสร้างนี้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก เลือกใช้วัสดุ เส้นใย PLA ด้วยการพิมพ์สามมิติ ออกแบบให้มีความสูง 300 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกระบอกมีขนาด 120 มิลลิเมตร โดยด้านบนของส่วนโครงสร้างภายนอก มีการติดตั้งบานพับยึดโครงสร้างสองฝั่งเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถเปิดกางหรือหุบส่วนโครงสร้างนี้ได้ รวมถึงมีการติดแม่เหล็กขนาดเล็กเอาไว้ที่ด้านล่างของโครงสร้าง เพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนโครงสร้างภายนอกเปิดออกในระยะความสูงที่ไม่ได้กำหนด นอกจากนี้มีการติดตั้งห่วงยึด (Hook) เพื่อความสะดวกในการนำเชือกของร่มชูชีพมาผูกเข้าด้วยกันกับโครงสร้างในส่วนนี้ แสดงได้ ดังรูปที่ 3.9 - 3.14



รูปที่ 3.9 ภาพด้านล่างของส่วนโครงสร้างภายนอก

จากรูปที่ 3.9 แสดงภาพด้านล่างของส่วนโครงสร้างภายนอก โดยออกแบบให้มีแม่เหล็กขนาดเล็กติดอยู่ เพื่อให้ทั้งสองฝั่งของโครงสร้างสามารถประกอบเข้าหากันได้ และป้องกันไม่ให้โครงสร้างเปิดออกในขณะที่ไม่ต้องการ แต่เมื่อถึงระยะความสูงที่กำหนด ยังสามารถเปิดออกได้ด้วยแรงดึงของมอเตอร์เซอร์โวที่อยู่ด้านบน แสดงดังรูปที่ 3.10



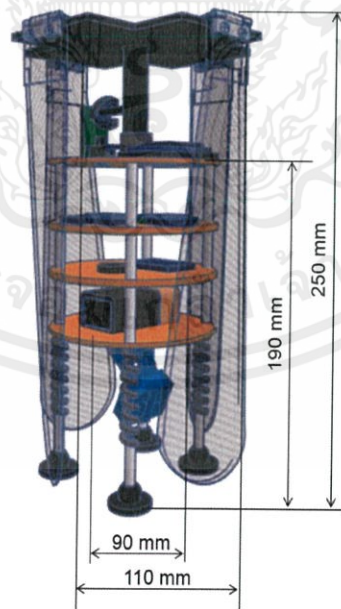
รูปที่ 3.10 ภาพด้านบน (Top View) ของส่วนโครงสร้างภายนอก

จากรูปที่ 3.10 แสดงภาพด้านบนของส่วนโครงสร้างภายนอก โดยออกแบบให้ส่วนโครงสร้างนี้สามารถเปิดกางหรือหุบเก็บได้ ด้วยการติดตั้งบานพับ และในส่วนโครงสร้างนี้มีการควบคุมความเร็วในการตกลงสู่พื้นดินด้วยร่มชูชีพ ทำให้ต้องมีการติดตั้งห่วงยึดเพื่อความสะดวกในการนำเชือกของร่มชูชีพมาผูกเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180) เข้ากับอุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์สำรองข้อมูล เพื่อทำเก็บค่าการวัดและเก็บค่าความดันอากาศ อุณหภูมิ และระดับความสูงจากพื้นดินไว้ใน SD Card อีกทั้งยังนำค่าระดับความสูงจากพื้นดินที่ได้จากเซนเซอร์มาใช้เป็นเงื่อนไขในการทำงานของกลไกควบคุมการเปิดออกของส่วนโครงสร้างนี้ แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กลไกการเปิดออกของส่วนโครงสร้างภายนอก

จากรูปที่ 3.11 แสดงกลไกการเปิดออกของส่วนโครงสร้างภายนอก โดยกลไกจะเริ่มทำงานเมื่อเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180) วัดค่าความสูงได้ 450 เมตรจากระดับพื้นดิน เมื่อคอนโทรลเลอร์รับค่าความสูงดังกล่าว จะสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวที่ได้ทำการโปรแกรมไว้ทำงาน โดยสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวที่มีเชือกยึดอยู่ที่แกนของมอเตอร์กับส่วนท้ายของโครงสร้างภายนอกนั้น หมุนรอบเป็นวงกลม 360 องศาไปเรื่อยๆ ส่งผลให้เชือกที่ทำการยึดอยู่ถูกดึงเก็บขึ้นไป คล้ายลักษณะการทำงานของกรรหมุนเบ็ดตกปลา ทำให้ด้านข้างของส่วนโครงสร้างภายนอกเปิดออกได้ และเมื่อส่วนโครงสร้างภายนอกเปิดออก จะทำให้ส่วนโครงสร้างที่บรรจุอยู่ภายในตกลงสู่พื้นดิน สามารถแสดงส่วนโครงสร้างภายใน ได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ส่วนโครงสร้างภายใน (Science Payload)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

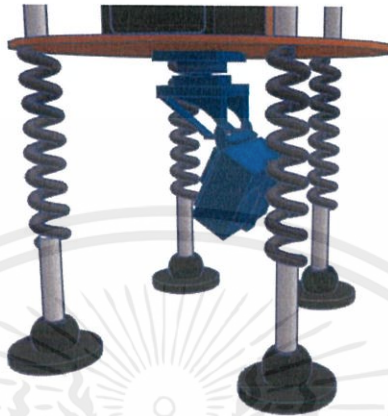
จากรูปที่ 3.12 แสดงส่วนโครงสร้างภายใน ซึ่งเป็นส่วนที่บรรจุอยู่ภายในดาวเทียมขนาดเล็กที่จะตกลงสู่พื้นดิน เมื่อส่วนโครงสร้างภายนอกถูกเปิดออก สำหรับการออกแบบโครงสร้างนั้น กำหนดให้มีความสูง 250 มิลลิเมตร เนื่องจากโครงสร้างนี้ต้องการความแข็งแรง จึงออกแบบให้มีลักษณะเป็นชั้นๆ เชื่อมต่อกันด้วยเสาของพลาสติก โดยแต่ละชั้นเป็นแผ่น PCB วงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบย่อยต่างๆ ได้แก่ ชั้นที่ 1 เป็นชั้นบนสุดที่ติดอยู่กับแกนหมุนของใบพัด ทำให้มีการติดตั้งสวิตช์เปิดปิดการทำงานของระบบทั้งหมดและเซนเซอร์วัดความเร็วรอบการหมุนของใบพัด ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ติดตั้งอุปกรณ์ในระบบย่อย เซนเซอร์และระบบย่อยการสื่อสารและจัดการข้อมูล ชั้นที่ 4 เป็นชั้นจัดการระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้า กล่าวคือมีการติดตั้งแบตเตอรี่ในชั้นนี้ และชั้นสุดท้ายเป็นชั้นของระบบกล้องถ่ายรูป ใช้สำหรับบันทึกภาพเคลื่อนไหวขณะดาวเทียมขนาดเล็กปฏิบัติภารกิจ สำหรับระบบย่อยควบคุมความเร็วในการตกสู่พื้นดินนั้น โครงสร้างนี้จะใช้ใบพัด ในการควบคุมแทนร่มชูชีพ ทำให้ต้องมี การติดตั้งกลไกการกางออกและหุบเก็บใบพัด แสดงได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กลไกการกางออกและหุบเก็บของใบพัด

จากรูปที่ 3.13 แสดงกลไกการกางออกและหุบเก็บของใบพัด โดยมีการใช้ใบพัด 4 ใบในการควบคุมความเร็วในการตกสู่พื้นดินของส่วนโครงสร้างภายใน หลังจากที่ส่วนโครงสร้างภายนอกถูกทำให้เปิดออก สำหรับกลไกการกางออกและหุบเก็บของใบพัดนั้น จะทำการติดตั้งบานพับยึดใบพัดเข้ากับส่วนกบบาทของแกนหมุน โดยทำการติดตั้งให้ใบพัดกางออกได้ในช่วง 0 - 90 องศา กับแนวตั้งเท่านั้น โดยขณะที่เคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดิน แรงลมจะช่วยให้ใบพัดทั้งหมดนี้กางออก และ

เกิดการหมุนตามที่ต้องการได้ และเพื่อลดแรงกระแทกเมื่อโครงสร้างภายในตกลงสู่พื้นดิน จึงมีการติดตั้งขาตั้งที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.14

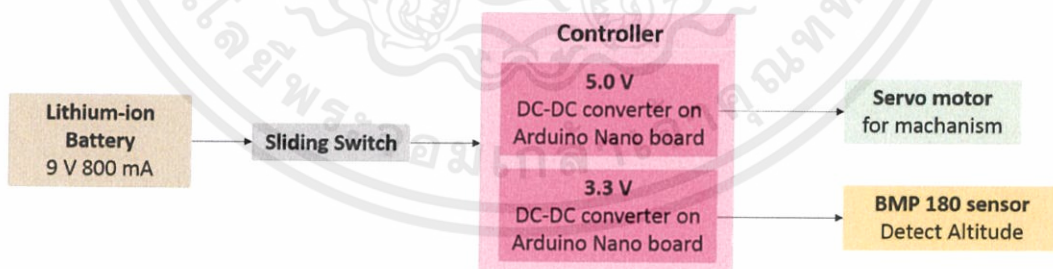


รูปที่ 3.14 ขาตั้งสำหรับส่วนโครงสร้างภายใน

จากรูปที่ 3.14 แสดงลักษณะของขาตั้งสำหรับส่วนโครงสร้างภายใน โดยจะทำการติดตั้งสปริงบริเวณขาตั้งของส่วนโครงสร้างภายใน เพื่อลดแรงกระแทกขณะโครงสร้างตกกระทบพื้นดิน และที่ปลายของสปริงด้านหนึ่งจะติดตั้งฐานที่สามารถทำให้โครงสร้างสามารถตั้งอยู่ได้

3.1.1.5 การออกแบบระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ

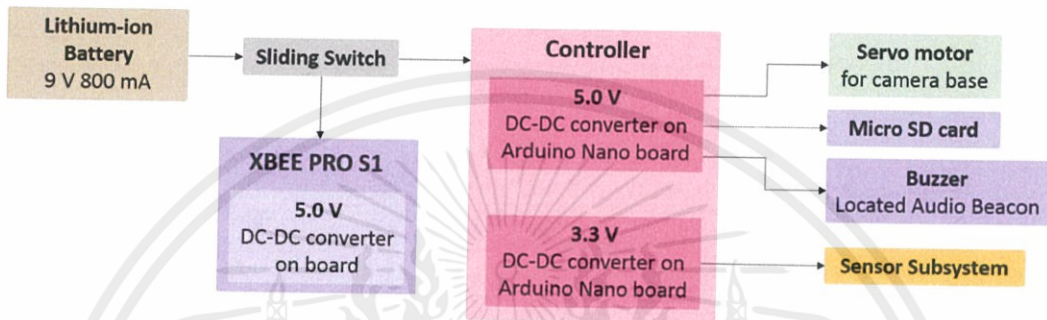
สำหรับการออกแบบระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในส่วนโครงสร้างภายนอก และระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในส่วนโครงสร้างภายใน แสดงได้ดังรูปที่ 3.15 และ 3.16 ตามลำดับ



รูปที่ 3.15 ระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในส่วนโครงสร้างภายนอก

จากรูปที่ 3.15 แสดงระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในส่วนโครงสร้างภายนอก เนื่องด้วยส่วนโครงสร้างภายนอกของของดาวเทียมขนาดเล็กนั้น จะถูกปลดให้แยกส่วน และใช้ร่วมชุดชีพในการควบคุมความเร็วในการตกสู่พื้นดิน โดยในส่วนนี้จะมีการติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์วัดความ

ต้นอากาศ (GY-68 BMP180) และเก็บค่าข้อมูลดังกล่าวไว้ในอุปกรณ์สำรองข้อมูล (SD Card) ทำให้ต้องมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ส่วนนี้ด้วย โดยเลือกใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 1 ก้อน ต่อเข้ากับสวิตช์เพื่อใช้ในการเปิดปิดการจ่ายไฟ เมื่อปิดสวิตช์ แบตเตอรี่จะทำการจ่ายไฟให้กับบอร์ดคอนโทรลเลอร์ และบอร์ดดังกล่าวมีอุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้า จาก 9 โวลต์ ให้เหลือ 5 และ 3.3 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์สำรองข้อมูล และอุปกรณ์เซนเซอร์วัดความดัน ตามลำดับ

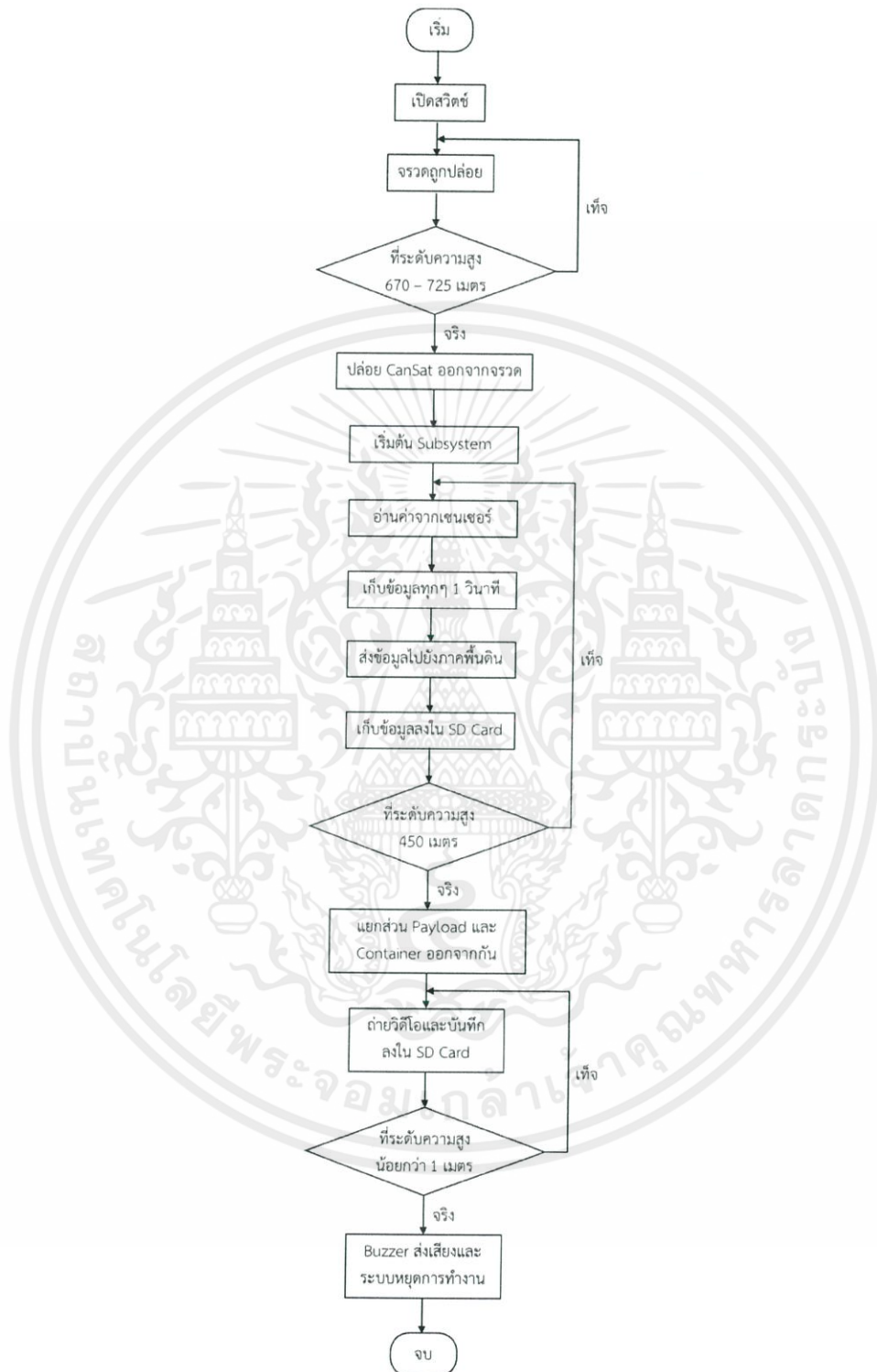


รูปที่ 3.16 ระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในส่วนโครงสร้างภายใน

จากรูปที่ 3.16 แสดงระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในส่วนโครงสร้างภายใน จะได้ว่า แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 1 ก้อน ต่อเข้ากับสวิตช์ เมื่อเปิดสวิตช์ วงจรจะทำงาน โดยแบตเตอรี่จะทำการจ่ายแรงดันให้กับอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย Xbee Pro S1 ที่มีวงจรแปลงแรงดันให้เหลือ 5 โวลต์ และบอร์ดคอนโทรลเลอร์ โดยบอร์ดดังกล่าวมีอุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้าให้เหลือ 5 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์เซอร์โวในส่วนระบบย่อยเชิงกล อุปกรณ์สำรองข้อมูล (SD Card) และอุปกรณ์แจ้งเตือนด้วยเสียง ตามลำดับ นอกจากนี้บนบอร์ดคอนโทรลเลอร์ยังมีอุปกรณ์ที่สามารถทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เหลือ 3.3 โวลต์ เพื่อใช้ในการจ่ายให้กับระบบย่อยเซนเซอร์ทั้งหมดอีกด้วย

3.1.1.6 การออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเก็บค่าผลการปฏิบัติการกิจ ส่วนของระบบย่อยเซนเซอร์ และระบบย่อยการสื่อสารและจัดการข้อมูล

สำหรับส่วนโครงสร้างภายใน ทำการติดตั้งเซนเซอร์เพื่อทำการวัดค่าที่ต้องการ ในส่วนซอฟต์แวร์ ได้ทำการโปรแกรมคำสั่งให้เก็บค่าต่างๆ ได้แก่ ค่าความดันอากาศ ค่าอุณหภูมิ ค่าความสูงจากระดับพื้นดิน วันที่ เวลา ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง จำนวนดาวเทียมที่สามารถตรวจจับได้ ค่ามุม Pitch ค่ามุม Roll ค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ใช้ทำงานในระบบ และค่าความเร็วรอบในการหมุนของใบพัด โดยจะทำการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเป็น 1 แพคเกจ ส่งมาแสดงผล ณ ภาคพื้นดินทุกๆ 1 วินาที และขณะที่ดาวเทียมขนาดเล็กตกลงสู่พื้นดินถึงระยะความสูงจากพื้นดิน 0 – 1 เมตร ระบบทั้งหมดจะหยุดทำงาน และมีการแจ้งเตือนด้วยเสียงจากอุปกรณ์ Buzzer สามารถแสดงรูปแบบโปรแกรมการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์ และระบบย่อยการสื่อสารข้อมูลสำหรับส่วนโครงสร้างภายในได้ ดังรูปที่ 3.17



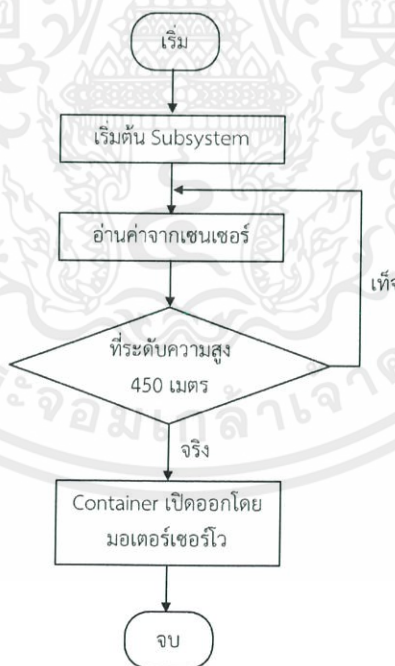
รูปที่ 3.17 การโปรแกรมการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์ และระบบย่อยการสื่อสารข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.17 แสดงโปรแกรมการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์ และระบบย่อยการสื่อสารและจัดการข้อมูลในการเก็บค่าผลการปฏิบัติการกิจ จะได้ว่า การทำงานของระบบเริ่มจากการอ่านค่าผลจากระบบย่อยเซนเซอร์ทั้งหมด ซึ่งจะรับค่าที่ได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ ได้แก่ ค่าความดันอากาศ และค่าอุณหภูมิ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาความสูงจากระดับพื้นดิน ต่อมารับค่าจากเซนเซอร์ GPS ผลจากเซนเซอร์นี้แสดงวันที่ เวลา ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และจำนวนดาวเทียมที่สามารถตรวจจับได้ ต่อมาอ่านค่าจากเซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน เพื่อนำไปหามุม Pitch มุม Roll ต่อมาอ่านค่าจากเซนเซอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อดูแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ใช้งานในระบบ นอกจากนี้ยังรับค่าจากนาฬิกาแบบเรียลไทม์ โดยแยกเก็บค่าเฉพาะวินาที เพื่อนำไปใช้ในการนับเวลาในการกิจการแข่งขัน ทำการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเป็น 1 แพคเกจ แล้วส่งมาแสดงผล ณ ภาคพื้นดินทุกๆ 1 วินาที อีกทั้งมีการจัดเก็บค่าทั้งหมดลง SD Card และจะได้ว่า อุปกรณ์ Buzzer เริ่มทำงานเมื่อดาวเทียมขนาดเล็กมีความสูงจากพื้นดิน 0 – 1 เมตร เมื่อเคลื่อนที่ถึงพื้นดินระบบทั้งหมดจะหยุดทำงาน

3.1.1.7 การออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุมกลไกการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอก

ในการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอกนั้น กลไกจะทำงานก็ต่อเมื่อค่าความสูงที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ GY-68 BMP180 มีค่า 450 เมตร ทำให้มอเตอร์เซอร์โวที่ได้ทำการโปรแกรมไว้ทำงาน แสดงการทำงานของกลไกการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอกได้ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 โปรแกรมการทำงานของกลไกการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอกให้เปิดออก

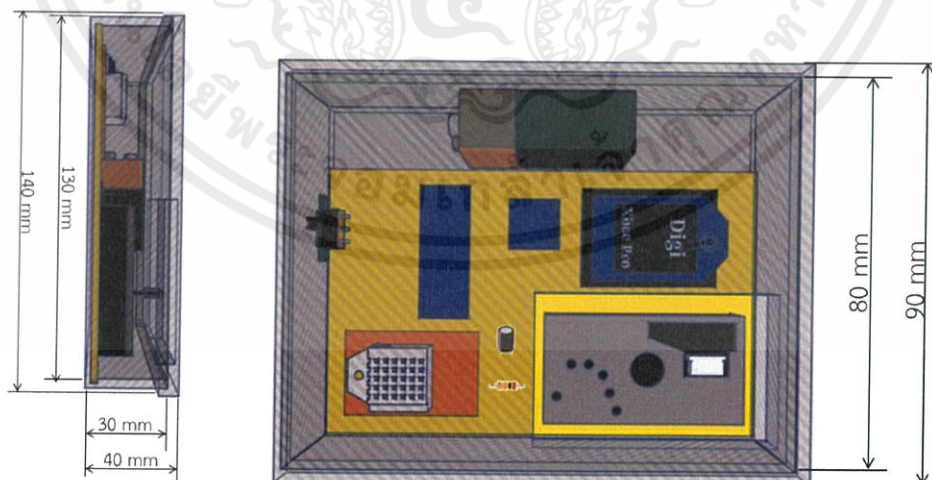
จากรูปที่ 3.18 แสดงโปรแกรมการทำงานของกลไกการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอกให้พื้นที่ด้านข้างถูกทำให้เปิดออก โดยจะได้ว่าในช่วงระยะความสูงเริ่มต้น ไม่มีการทำงานของมอเตอร์เซอร์โว แต่เมื่อค่าความสูงที่ได้จากการคำนวณค่าความดันและอุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ มีค่าตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด คือ 450 เมตร คอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งการให้มอเตอร์เซอร์โวเริ่มทำงานโดยจะหมุนไปทางขวา 360 องศา ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ทำให้ส่วนโครงสร้างภายนอกที่ทำการผูกติดอยู่กับมอเตอร์เซอร์โวที่กำลังหมุน ถูกทำให้เปิดออก ส่งผลให้ส่วนโครงสร้างภายในที่ติดตั้งอยู่ด้านในตกลงสู่พื้นดิน แล้วยังปฏิบัติการกิจโดยควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยใบพัดต่อได้

3.1.2 การออกแบบอุปกรณ์ชุดลูกข่ายที่ทำการติดต่อสื่อสารกันด้วยโทโพโลยีรูปแบบดาว เพื่อประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ

3.1.2.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์ชุดลูกข่ายเพื่อประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ

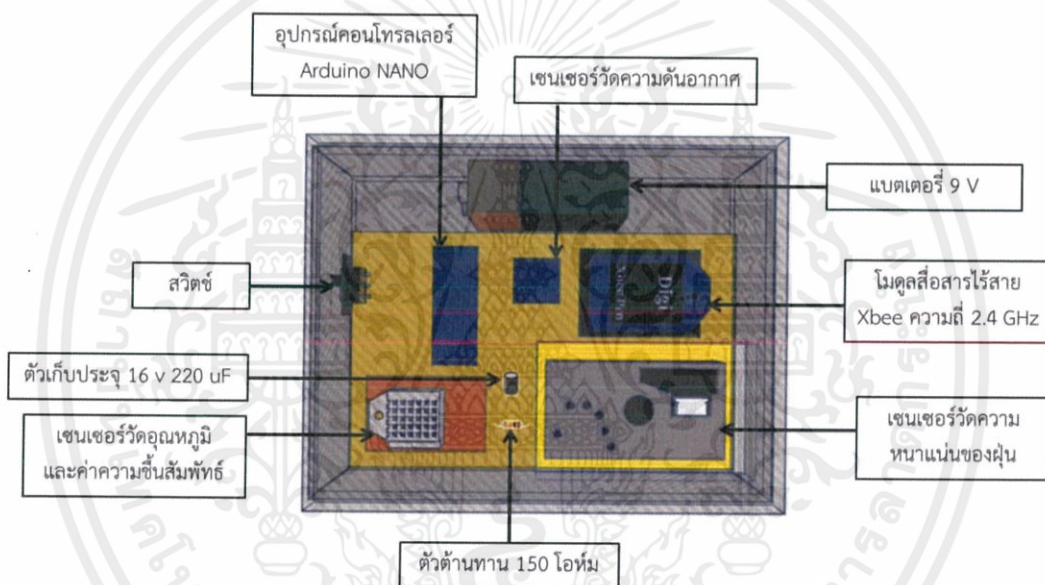
การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ชุดลูกข่ายสำหรับงานตรวจวัดสภาพอากาศ โดยกำหนดให้ทำการติดต่อสื่อสารกันด้วยโทโพโลยีรูปแบบดาว จัดทำขึ้นเพื่อช่วยลดจำนวนและค่าใช้จ่ายของการสร้างสถานีรับภาคพื้นดิน รวมไปถึงเป็นการรวบรวมข้อมูลจากชุดลูกข่ายอื่นๆ ในบริเวณข้างเคียงทั้งหมดให้อยู่ในข้อมูลชุดเดียว เป็นการยืนยันความถูกต้องของค่าข้อมูลที่วัดได้ และเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวเพื่อใช้ในงานด้านอื่นๆ ได้

สำหรับการกำหนดให้เครือข่ายมีการติดต่อสื่อสารกันด้วยโทโพโลยีรูปดาวนั้น จะประกอบไปด้วยชุดลูกข่ายสำหรับงานตรวจวัดสภาพอากาศ ทั้งหมด 3 ชุด และสถานีรับ 1 สถานี แสดงได้ดังนี้



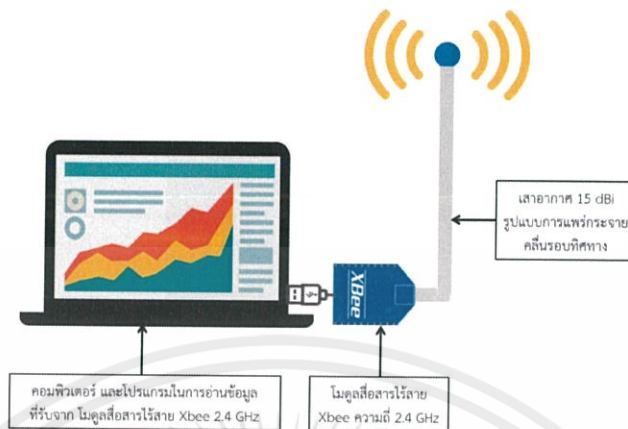
รูปที่ 3.19 การออกแบบโครงสร้างของชุดลูกข่ายเพื่อใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ

จากรูปที่ 3.19 แสดงการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ชุดลูกข่ายสำหรับงานตรวจวัดสภาพอากาศ ใน 2 มุมมอง ได้แก่ ด้านบน และด้านข้าง พร้อมทั้งบอกขนาดของโครงสร้างชุดลูกข่ายสำหรับงานตรวจวัดสภาพอากาศ จะได้ว่า ชุดอุปกรณ์ลูกข่ายแต่ละชุด มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมใส แบบมีฝาปิด ขนาดรวมฝา 130 x 80 x 30 มิลลิเมตร ซึ่งภายในทำการบรรจุเซนเซอร์และอุปกรณ์ในการตรวจวัดสภาพอากาศต่างๆ รวมถึงแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน แรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ 800 มิลลิแอมป์ จำนวน 1 ก้อน เพื่อใช้เป็นแหล่งกำลังของระบบ โดยบริเวณด้านข้างของชุดตรวจวัดสภาพอากาศนี้ ทำการเจาะรูเพื่อเป็นพื้นที่ใช้ในการเปิด-ปิดสวิตช์ และเจาะรูที่บริเวณด้านบนของกล่องใส เพื่อให้อากาศสามารถผ่านเข้าไปสัมผัสกับเซนเซอร์ และสายอากาศของโมดูลสื่อสารได้โดยตรง ส่งผลให้ค่าที่วัดได้มีความใกล้เคียงกับค่าของสภาพแวดล้อมจริงมากที่สุด



รูปที่ 3.20 เซนเซอร์ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ

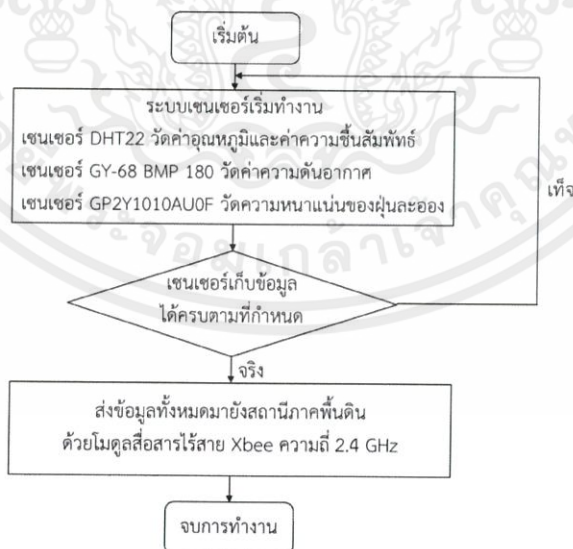
จากรูปที่ 3.20 แสดงภาพด้านบนของอุปกรณ์ชุดลูกข่าย สามารถมองเห็นตำแหน่งของเซนเซอร์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศบนแผงวงจรของอุปกรณ์ชุดลูกข่ายเพื่อใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ ซึ่งประกอบด้วย เซนเซอร์สำหรับใช้ตรวจวัดอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ เซนเซอร์วัดความดันอากาศ เซนเซอร์ตรวจวัดความหนาแน่นของฝุ่น ที่ต่อเข้ากับตัวเก็บประจุ 16 โวลต์ 220 ไมโครฟารัด ตัวต้านทาน 150 โอห์ม อุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ และโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz และสายอากาศ รวมถึงแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน แรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ 800 มิลลิแอมป์ จำนวน 1 ก้อน โดยอุปกรณ์ชุดลูกข่ายทั้ง 3 ชุด จะทำการส่งข้อมูลที่วัดได้มายังสถานีรับส่วนกลาง โดยสถานีรับ ที่ทำการออกแบบไว้ สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 สถานีรับส่วนกลางที่ได้ทำการออกแบบไว้

จากรูปที่ 3.21 สถานีรับส่วนกลางที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งประกอบไปด้วยโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz ฝั่งรับ ที่กำหนดค่าให้มีสถานะเป็นอุปกรณ์ Coordinator สามารถรับข้อมูลจากอุปกรณ์ชุดลูกข่าย ทั้ง 3 ชุดได้ โดยในสถานีรับนี้ เลือกใช้สายอากาศของโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz ฝั่งรับ เป็นเสาอากาศที่มีอัตราการขยาย 15 dBi และมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง เพื่อให้สามารถรับข้อมูลได้ทุกทิศทาง สำหรับการแสดงผล และการจัดเก็บข้อมูลนั้น จะได้ว่า โมดูลสื่อสารจะเชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงข้อมูลที่รับแบบเรียลไทม์ และบันทึกค่าต่างๆ ที่ได้รับจากอุปกรณ์ชุดลูกข่ายทั้งหมด ผ่านโปรแกรมในการอ่านข้อมูลที่รับจากโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz เช่น โปรแกรม Zigbee Operator

3.1.2.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ของชุดตรวจวัดสภาพอากาศ



รูปที่ 3.22 โปรแกรมการทำงานของอุปกรณ์ชุดลูกข่ายเพื่อประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ

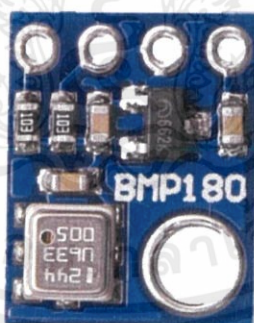
จากรูปที่ 3.22 แสดงโปรแกรมการทำงานของอุปกรณ์ชุดลูกข่ายที่ประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศ โดยเมื่อระบบเริ่มทำงาน เซนเซอร์ทั้งหมดที่ทำการติดตั้งไว้ ได้แก่ เซนเซอร์ DHT22 สำหรับใช้ตรวจวัดอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ เซนเซอร์ GY-68 BMP 180 สำหรับวัดค่าความดันอากาศ เซนเซอร์ GP2Y1010AU0F สำหรับตรวจวัดความหนาแน่นของฝุ่นละออง เริ่มทำงาน หากเซนเซอร์ทั้งหมดสามารถทำงานได้ และวัดค่าต่างๆ ที่กำหนดไว้ได้ทั้งหมด ได้แก่ ค่าความดันอากาศที่วัดได้ในหน่วยเฮกโตปาสกาล (hPa) ค่าอุณหภูมิที่เซนเซอร์ทำการวัดได้ ในหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) ค่าดัชนีความร้อนแท้จริงสืบเนื่องมาจากผลของความชื้นในหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) และค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ตามลำดับ ก็จะมีการส่งข้อมูลดังกล่าวมายังสถานีรับภาคพื้นดิน เพื่อบันทึกข้อมูล และใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

เนื่องจากอุปกรณ์ชุดลูกข่ายติดต่อสื่อสารกันด้วยโทโพโลยีรูปแบบดาว จึงจะได้ว่า อุปกรณ์ชุดลูกข่ายทั้งหมด 3 ชุดที่ได้ทำการออกแบบไว้ จะมีหลักการทำงานเดียวกันกับข้างต้น เมื่ออุปกรณ์ชุดลูกข่ายทั้ง 3 ชุด ส่งข้อมูลมายังสถานีรับเดียวกัน ทำการออกแบบให้ข้อมูลที่รับจะเป็นชุดข้อมูลจากอุปกรณ์ชุดลูกข่ายชุดที่ 1 ชุดข้อมูลจากอุปกรณ์ชุดลูกข่ายชุดที่ 2 และชุดข้อมูลจากอุปกรณ์ชุดลูกข่ายชุดที่ 3 ตามลำดับ และทำการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องทุกๆ 1 นาที

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือในส่วนของอุปกรณ์ (Hardware)

3.2.1.1 เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180)



รูปที่ 3.23 เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180) [13]

จากรูปที่ 3.23 แสดงเซนเซอร์วัดความดันอากาศ เป็นเซนเซอร์วัดความดันอากาศที่มีความแม่นยำสูง สามารถนำค่าความดันอากาศที่วัดได้ไปแปลงเทียบเป็นค่าระดับความสูง นอกจากนี้ยังสามารถวัดค่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมได้อีกด้วย โดยอุปกรณ์นี้วัดค่าความดันอากาศภายในช่วง 300 - 1100 hPa หรือ +9000 เมตร ถึง -500 เมตร และค่าอุณหภูมิในช่วง 40 ถึง +85 $^{\circ}\text{C}$ ค่าความ

ผิดพลาด 2°C สำหรับการเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) นั้น จะผ่าน I2C Interface และอุปกรณ์นี้รองรับแรงดัน 1.8 - 3.6 โวลต์

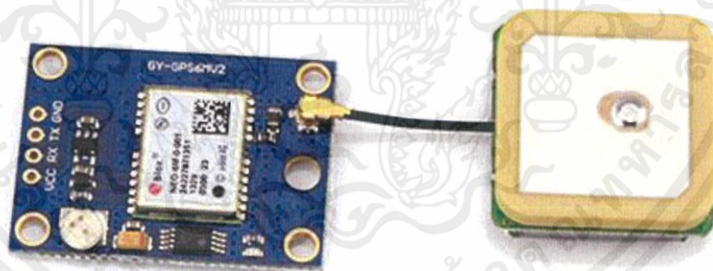
ในการแปลงเทียบค่าความดันอากาศที่วัดได้ เป็นค่าระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลนั้น สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 3.1 ดังนี้

$$Altitude = 44330 \times \left(1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{5.255}} \right) \quad (3.1)$$

จากสมการที่ 3.1 ค่า p_0 เท่ากับ 1013.25 hPa ซึ่งเป็นค่าความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง ใช้เป็นค่ามาตรฐานในการวัดระดับความสูง (Standard Mean sea level Pressure หรือ Standard Setting) ดังนั้น ถ้าค่าความดันอากาศที่ระดับความสูงนั้น มีค่าต่างจากค่ามาตรฐานอยู่ 1 hPa จะได้ว่า มีค่าความสูงต่างจากระดับน้ำทะเลอยู่ที่ 8.43 เมตร

ดังนั้น จะได้ว่า สามารถใช้เซนเซอร์วัดความดันอากาศ GY-68 BMP180 ในการวัดค่าความดันอากาศ อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม และสามารถแปลงค่าความดันอากาศเป็นค่าระยะความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางได้

3.2.1.2 เซนเซอร์ GPS วัดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GY-NEO6MV2)



รูปที่ 3.24 เซนเซอร์ GPS วัดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GY-NEO6MV2) [14]

จากรูปที่ 3.24 แสดงเซนเซอร์ GPS วัดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยแสดงวันที่ เวลา ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และจำนวนดาวเทียมที่สามารถตรวจจับได้ สำหรับการระบุตำแหน่งต่างๆ บนโลก จะแสดงเป็นค่าละติจูดและลองจิจูด โดยอาศัยการคำนวณจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ในการคำนวณตำแหน่ง ทำให้อุปกรณ์นี้สามารถบอกตำแหน่ง ณ จุดที่สามารถรับสัญญาณได้ทั่วโลก โดยสามารถนำค่าที่ได้จากอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้ร่วมกับโปรแกรมแผนที่ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งเป็นสถานที่จริง สำหรับอุปกรณ์นี้ใช้ชิพ Aircraft

FZ0040 สามารถติดตามดาวเทียมได้ถึง 22 ดวงบน 50 ช่องสัญญาณ ซึ่งให้ผลลัพธ์ตามมาตรฐาน NMEA-0183 สามารถเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรงผ่าน Serial UART ข้อจำกัดการวัดอยู่ที่ความสูง 50,000 เมตร และความเร็ว 500 เมตรต่อวินาที

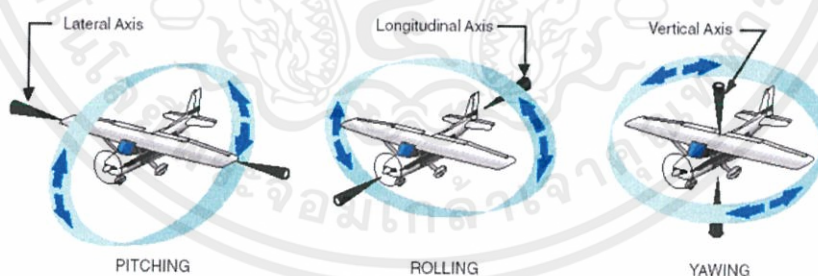
3.2.1.3 เซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน (GY-291 ADXL345)



รูปที่ 3.25 เซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน (GY-291 ADXL345) [15]

จากรูปที่ 3.25 แสดงเซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน ซึ่งเป็นโมดูลวัดความเร่ง 3 แกนขนาดเล็ก ใช้กำลังต่ำ ข้อมูลเอาต์พุตเป็นดิจิทัล รูปแบบ 16 บิต รองรับการเชื่อมต่อ (Interface) 2 รูปแบบ ทั้งแบบ SPI และ I2C เซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกนนี้ เหมาะสำหรับใช้วัดความเร่ง ความเร็วของแรงโน้มถ่วงแบบคงที่ มีการตรวจจับการเอียง การเคลื่อนไหว การกระแทก สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงความเอียงได้น้อยกว่า 1.0 องศา

เซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน จะทำการวัดค่าความเร่งแกน X, Y และแกน Z ออกมา ทำให้สามารถนำไปคำนวณเป็นมุม Roll Pitch และ Yaw ได้ตามลำดับ

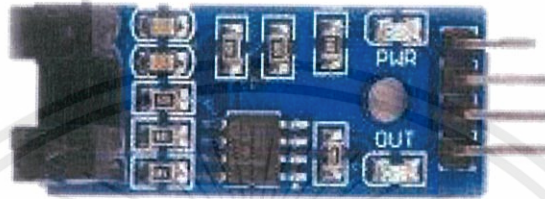


รูปที่ 3.26 ลักษณะของมุม Pitch Roll และ Yaw ตามลำดับ [16]

จากรูปที่ 3.26 แสดงลักษณะของมุม Pitch Roll และ Yaw ตามลำดับ โดยมุม Roll คือ มุมที่ทำกับแกนที่เริ่มจากส่วนหัวของโมดูลลากยาวไปยังส่วนท้ายของโมดูล ควบคุมการหมุนควง หรือ Roll Movement มุม Pitch คือ มุมที่ทำกับแกนที่เริ่มจากทางซ้ายของโมดูลไปยังทางขวาของโมดูล แกนนี้ควบคุมการเชิดหัวขึ้นลง หรือ Pitch up, Pitch down และมุม Yaw คือ มุมที่ทำกับ

แกนที่เริ่มจากส่วนบนของโมดูลไปยังส่วนล่างของโมดูล แกนนี้ควบคุมการส่ายของโมดูล หรือ Yaw movement แต่เนื่องจากข้อจำกัดของความเร่งสามแกน คือ ค่า Yaw ที่วัดได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูงจนนำมาใช้ไม่ได้ ดังนั้นจึงคำนวณแค่มุม Roll และ มุม Pitch

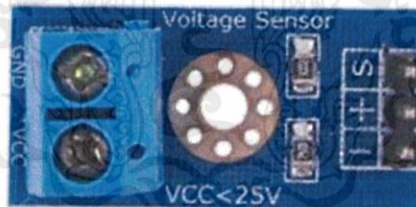
3.2.1.4 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบการหมุน (Counter motor speed sensor)



รูปที่ 3.27 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบการหมุนของใบพัด [17]

จากรูปที่ 3.27 แสดงเซนเซอร์วัดค่าความเร็วรอบใบพัด โดยอาศัยหลักการนับจำนวนครั้งเมื่อมีวัตถุมาบังที่ร่องตรวจนับ ผลลัพธ์ให้ทั้งสัญญาณอนาล็อกและดิจิทัลออกมา พร้อมหลอดไฟ LED แสดงการทำงาน สามารถนำมาวัดความเร็วรอบของใบพัดได้ โดยให้ใบพัดหมุนเข้าใบบังที่ร่องตรวจนับ และป้อนคำสั่งโปรแกรมคำนวณค่าความเร็วรอบการเคลื่อนที่ของใบพัด อุปกรณ์นี้ใช้แรงดันไฟฟ้าในช่วง +3.3 ถึง 5 โวลต์

3.2.1.5 เซนเซอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Voltage sensor)



รูปที่ 3.28 เซนเซอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Voltage sensor) [18]

จากรูปที่ 3.28 แสดงเซนเซอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า ใช้ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในงานภายในวงจร ค่าที่ได้จากอุปกรณ์นี้เป็นรูปแบบอนาล็อก มีค่าในช่วง 0 - 1023 เมื่อทำการแปลงค่าเป็นหน่วยฐานสิบ จะได้ว่า เซนเซอร์นี้มีช่วงแรงดันไฟฟ้าที่สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ ตั้งแต่ 0 ถึง 24.9 โวลต์

3.2.1.6 โมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee PRO S1

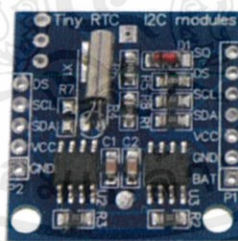


รูปที่ 3.29 โมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee PRO S1 [19]

จากรูปที่ 3.29 แสดงโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee PRO S1 เป็นโมดูลรับส่งสัญญาณไร้สาย โดยใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz เป็นสื่อกลาง ซึ่งใช้โปรโตคอล IEEE 802.15.4 Zigbee ในการรับส่งข้อมูลผ่านทางไร้สาย (RF Module) ทำให้มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูง ใช้กำลังต่ำ มีจุดต่อสายอากาศแบบ U.FL. Connection สามารถทำงานเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์หรือสลาฟได้ โดยรูปแบบโครงข่ายข้อมูลที่รองรับมีลักษณะเครือข่ายอยู่ในรูปแบบ point-to-multipoint หรือรูปแบบ peer-to-peer

คุณสมบัติของโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee PRO S1 มีดังนี้ ขนาดโมดูล 2.438 x 3.294 เซนติเมตร น้ำหนัก 4 กรัม ความถี่ใช้งาน 2.4 GHz กำลังส่ง 63 มิลลิวัตต์ ระยะทางในการรับส่งข้อมูล 1.6 กิโลเมตร และความเร็วในการส่งข้อมูล 250 Kbps ความไวในการรับสัญญาณ -100 dBm (1% Packet error rate) กระแสไฟฟ้าขณะส่งข้อมูล 215 มิลลิแอมป์ กระแสไฟฟ้าขณะรับข้อมูล 55 มิลลิแอมป์ ใช้แรงดันไฟเลี้ยง 2.8 ถึง 3.4 โวลต์

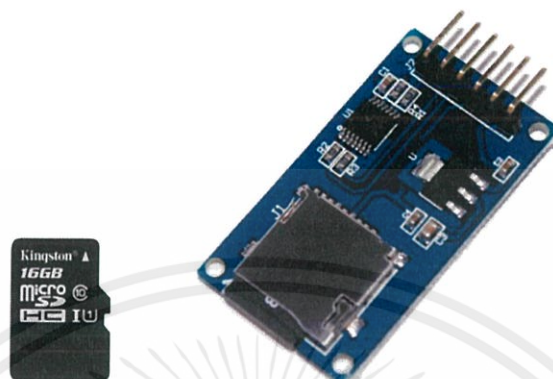
3.2.1.7 โมดูลนาฬิกาแบบเรียลไทม์ (RTC)



รูปที่ 3.30 โมดูลนาฬิกาแบบเรียลไทม์ (RTC) [20]

จากรูปที่ 3.30 แสดงโมดูลนาฬิกาแบบเรียลไทม์ (RTC) โดยแสดงค่าเวลาตามจริง ใช้ DS1307 ติดต่อกับ Arduino board โดย I2C protocol แสดงค่า วินาที นาที ชั่วโมง วัน เดือน ปี โดยมีการปรับค่าให้ตรงตามเดือนที่มี 31 วัน และ ปีที่มี 366 วันได้อย่างถูกต้อง สามารถแสดงค่าเวลาเป็นแบบ 24 หรือ 12 ชั่วโมงได้

3.2.1.8 อุปกรณ์หน่วยความจำสำรอง (Micro SD Card) และ Adapter



รูปที่ 3.31 อุปกรณ์หน่วยความจำสำรอง (Micro SD Card) และโมดูล Adapter [21]

จากรูปที่ 3.31 แสดงอุปกรณ์หน่วยความจำสำรอง (Micro SD Card) และ Adapter โดย Micro SD Card ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลขนาด 16GB Class10 ที่มีอัตราการถ่ายโอนข้อมูลขั้นต่ำ 10 Mbps และโมดูล Micro SD Card Adapter เป็นโมดูลสำหรับเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูลต่างๆ ทำ Data Logger โดยบันทึกข้อมูลจากบอร์ด Arduino ลงบน Micro SD Card โดยมีอินเตอร์เฟซแบบ SPI ทำให้ง่ายในการใช้งาน พร้อมทั้งมีไลบรารีสำเร็จรูปพร้อมใช้งาน รวมถึงมีวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เหลือ 3.3 โวลต์ มาให้ในตัวบอร์ด สามารถใช้แรงดันไฟได้ในช่วง 4.5 ถึง 5.5 โวลต์

3.2.1.9 อุปกรณ์ Located Audio Beacon หรือ Buzzer



รูปที่ 3.32 อุปกรณ์ Located Audio Beacon หรือ Buzzer [22]

จากรูปที่ 3.32 แสดงอุปกรณ์ Located Audio Beacon หรือ Buzzer โดยอุปกรณ์นี้ทำงานได้โดยใช้ไฟเลี้ยง 3.3 ถึง 5 โวลต์ สามารถสร้างเสียงเตือนได้อย่างง่าย เมื่อให้ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าไปที่ ขา I/O โมดูลนี้มีทรานซิสเตอร์เบอร์ 9012 ช่วยขยายสัญญาณ จึงทำให้เสียงเตือนมีความดังเป็นพิเศษ

3.2.1.10 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT22 Digital Temperature and Humidity Sensor)



รูปที่ 3.33 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22 [23]

จากรูปที่ 3.33 แสดงเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22 โดยอุปกรณ์นี้เป็นโมดูลเซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิในตัวเดียว มีความแม่นยำสูง ออกแบบมาให้วัดได้แม่นยำกว่าเดิม คุณสมบัติของโมดูลเซนเซอร์ DHT22 มีดังนี้ ใช้ไฟเลี้ยง 3.3 ถึง 6 โวลต์ ใช้กระแส 1 ถึง 1.5 มิลลิแอมป์ สามารถวัดค่าความชื้นได้ 0 ถึง 100% RH ช่วงอุณหภูมิที่วัดได้ คือ -40 ถึง 80 องศาเซลเซียส มีค่าความคลาดเคลื่อน +/- 0.5 องศาเซลเซียส และมีความแม่นยำ +/- 2% RH

3.2.1.11 เซนเซอร์วัดปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละออง

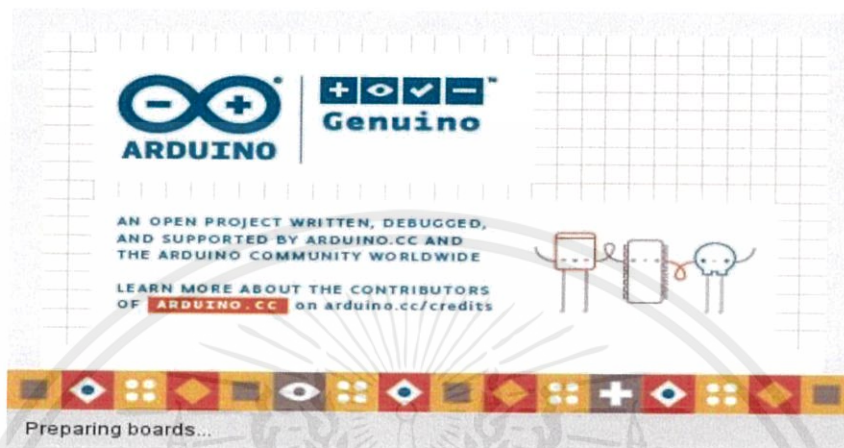


รูปที่ 3.34 เซนเซอร์วัดปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละออง SHARP GP2Y1010AU0F [24]

จากรูปที่ 3.34 แสดงเซนเซอร์วัดปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละออง SHARP GP2Y1010AU0F ซึ่งอุปกรณ์นี้เป็นเซนเซอร์ที่สามารถใช้งานร่วมกับ Arduino ใช้สำหรับตรวจจับควันและฝุ่นละอองในอากาศ ค่าที่ได้ออกมาเป็น Analog 1-1023 สามารถแปลงค่าให้อยู่ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรได้ ลักษณะการทำงาน คือ เซนเซอร์จะส่งแสงเลเซอร์ไปกระทบกับตัวรับ และให้อากาศผ่านในช่อง หากการรับแสงสามารถทำได้น้อย แสดงว่าฝุ่นละอองในอากาศที่วัดได้มีค่ามาก หากมีการรับแสงได้มาก จะได้ว่าฝุ่นละอองในอากาศที่วัดได้มีค่าน้อย ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถวัดควันธูป แปะ ฝุ่น ได้ นำไปประยุกต์ใช้กับการวัด Air purifier, Air conditioner, Air monitor ได้ สำหรับหน่วยของค่าที่วัดได้ สามารถแสดงผลในหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งช่วยลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.2 เครื่องมือในส่วนของซอฟต์แวร์ (Software)

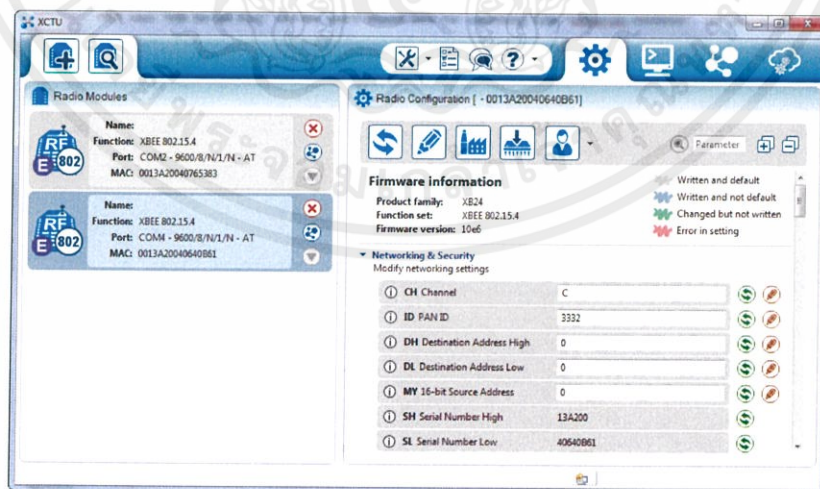
3.2.2.1 โปรแกรม Arduino IDE



รูปที่ 3.35 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม Arduino IDE [25]

จากรูปที่ 3.35 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม Arduino IDE สามารถทำการดาวน์โหลดและติดตั้งได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย โปรแกรม Arduino IDE นี้เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนางานสำหรับบอร์ด Arduino ในการเขียนโปรแกรมและคอมไพล์ลงบอร์ด ซึ่ง IDE ย่อมาจาก Integrated Development Environment คือ ส่วนเสริมของระบบการพัฒนาหรือตัวช่วยต่างๆ ที่จะคอยช่วยเหลือ Developer หรือช่วยเหลือคนที่พัฒนา Application เพื่อเสริมให้เกิดความรวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำตรวจสอบระบบที่จัดทำได้ ทำให้การพัฒนางานต่างๆ เร็วมากขึ้น

3.2.2.2 โปรแกรม X-CTU

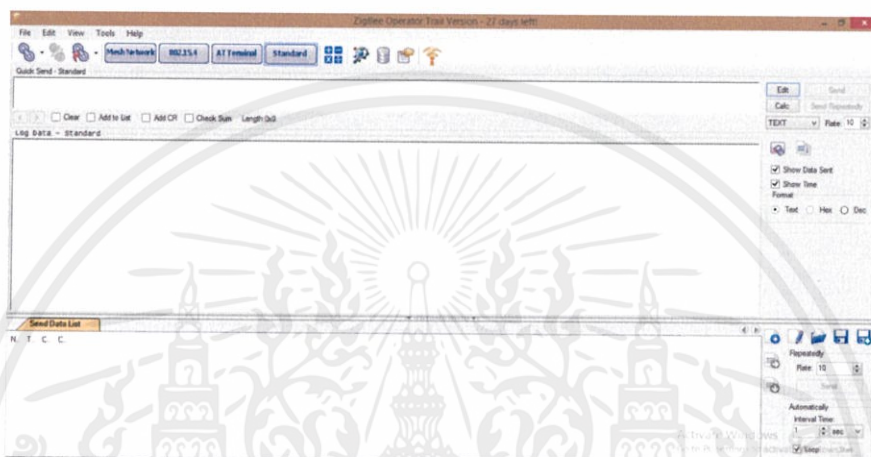


รูปที่ 3.36 หน้าต่างเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม X-CTU [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.36 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม X-CTU ซึ่งเป็นโปรแกรม software interface บนคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับตั้งค่าโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee 2.4 GHz ได้แก่ ใช้ในการอัปเดต firmware ทดสอบการเชื่อมต่อการใช้งาน และปรับพารามิเตอร์ต่างๆ ของอุปกรณ์ Xbee ให้สามารถทำงานในโหมดที่ต้องการได้

3.2.2.3 โปรแกรม Zigbee Operator

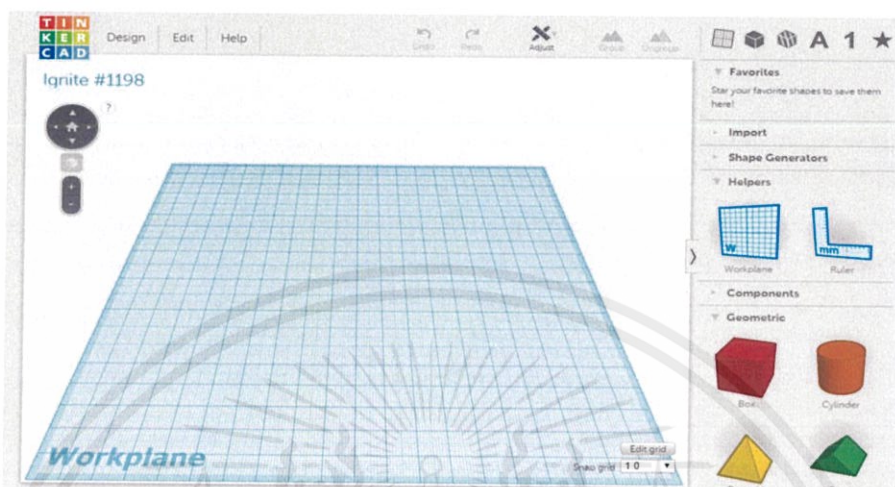


รูปที่ 3.37 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม Zigbee Operator [27]

จากรูปที่ 3.37 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม Zigbee Operator ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีคุณสมบัติดังนี้

- 1) สนับสนุนเฟิร์มแวร์ ZigBee หรือ XBee ของ Digi ทั้งหมด
- 2) สนับสนุนโหมด AT และ API
- 3) ถอดรหัสเฟรม API อย่างละเอียด
- 4) ทำงานกับ ZigBee หรือ XBee ของ Digi จากระยะไกลผ่านเครือข่าย
- 5) จัดเก็บข้อมูลของโมดูล ZigBee หรือ XBee ในฐานข้อมูล
- 6) อ่านและเขียนข้อมูลที่ใช้มากที่สุดของ ZigBee หรือ XBee
- 7) เลือกที่อยู่ปลายทางจากฐานข้อมูล
- 8) สืบค้นโมดูลทั้งหมดในช่วงการค้นหา
- 9) แสดงโทโพโลยีของ mesh ในโหมดกราฟิก
- 10) แสดงรายการซีเรียลพอร์ตที่มีอยู่ทั้งหมดบนคอมพิวเตอร์
- 11) แสดงข้อมูลในรูปแบบ Text, Hex และ Decimal

3.2.2.4 โปรแกรม Tinkercad



รูปที่ 3.38 หน้าต่างเว็บเบราว์เซอร์ของโปรแกรม Tinkercad [28]

จากรูปที่ 3.38 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม Tinkercad โดยเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับออกแบบโครงสร้างหรือชิ้นงานบนเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งผู้ใช้จำเป็นต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในการใช้งาน โดยไฟล์ที่ได้จากโปรแกรมนี้อาจมีสกุลไฟล์คือ .stl ทำให้สามารถนำไฟล์โครงสร้างหรือชิ้นงานที่ทำการออกแบบไว้ไปใช้งานร่วมกับเครื่องพิมพ์ 3D Printer ได้

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การจัดเก็บผลการทำงานของดาวเทียมขนาดเล็กที่ได้ทำการออกแบบ

3.3.1.1 การจัดเก็บผลระบบย่อยการควบคุมการเคลื่อนที่ ในส่วนความเร็วในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของร่มชูชีพและใบพัดที่ได้ทำการออกแบบไว้

ในส่วนความเร็วในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของร่มชูชีพนั้น สามารถทำการจัดเก็บผลการทดลองได้โดยการนำถุงทรายที่มีน้ำหนัก 550 กรัม แทนน้ำหนักของดาวเทียมขนาดเล็กที่ได้ทำการออกแบบไว้ ผูกติดกับร่มชูชีพที่ได้ทำการจัดทำขึ้น จากนั้นทำการปล่อยที่ระดับความสูง 40 เมตร ให้ตกสู่พื้นดิน ทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มปล่อยจนกระทั่งร่มชูชีพเคลื่อนที่ลงสู่พื้นดิน เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเร็วของร่มชูชีพที่ผูกติดกับถุงทรายดังกล่าว ด้วยสูตร $v = s/t$ ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าความเร็วเฉลี่ย บันทึกผลที่ได้ และนำมาหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎีว่าอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้หรือไม่ และสำหรับการจัดเก็บผลการทดลองความเร็วในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของใบพัดที่ติดตั้งอยู่กับส่วนโครงสร้างภายใน สามารถทำได้เช่นเดียวกันกับการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของร่มชูชีพข้างต้น แต่เปลี่ยนเป็นติดตั้งใบพัดเข้ากับขดน้ำที่มีน้ำหนัก 350 กรัม แทนน้ำหนักของส่วนโครงสร้างภายใน

3.3.1.2 การจัดเก็บผลการทำงานของระบบย่อยเชิงกลและโครงสร้าง ในส่วนกลไกควบคุมการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอกให้เปิดออก

สามารถทำการจัดเก็บผลการทดลองได้โดยทำการทดลองปล่อยส่วนโครงสร้างภายนอกที่มีการติดตั้งมอเตอร์เซอร์โวสำหรับควบคุมการทำงานของกลไกให้ตกลงสู่พื้นดิน จากระยะความสูง 5 เมตร จากพื้นดิน โปรแกรมคำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวเริ่มทำงานที่ระยะความสูง 3 เมตรจากพื้นดินสังเกตการทำงานของกลไกเมื่อโครงสร้างนี้เคลื่อนที่ลงถึงระยะความสูงที่กำหนด

3.3.1.3 การจัดเก็บผลระบบย่อยเซนเซอร์ที่ใช้ในการปฏิบัติการกิจ

ในระบบย่อยเซนเซอร์ ประกอบด้วยเซนเซอร์สำคัญใช้ในการปฏิบัติการกิจของดาวเทียมขนาดเล็ก ทั้งหมด 5 เซนเซอร์ ได้แก่

1) เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180)

เซนเซอร์นี้สามารถวัดค่าได้ 3 ค่า ดังนี้ ค่าความดันอากาศ สามารถทำการจัดเก็บผลการทดลองได้โดยอ่านค่าที่ได้จากเซนเซอร์เทียบกับค่าความดันอากาศที่วัดได้จากโทรศัพท์มือถือ ณ ตำแหน่งและเวลาเดียวกัน ค่าอุณหภูมิ ทำการจัดเก็บผลการทดลองได้โดยอ่านค่าที่ได้จากเซนเซอร์เทียบกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องมีวัดอุณหภูมิดิจิทัล โดยทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งหมด 3 สถานะ ได้แก่ อุณหภูมิภายในตู้ทำความเย็น อุณหภูมิภายในห้องที่ตั้งค่าเครื่องปรับอากาศ 20 องศา และอุณหภูมิภายนอกอาคาร หน้าตึกภาควิชาโทรคมนาคม สำหรับค่าความสูงจากระดับพื้นดิน ทำการจัดเก็บผลการทดลองได้โดยอ่านค่าที่ได้จากเซนเซอร์เมื่อทำการเปลี่ยนระดับความสูงทั้งหมด 10 ระดับ เปรียบเทียบกับความสูงจริงของชั้นตึก

2) เซนเซอร์วัดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS GY-NEO6MV2)

เซนเซอร์นี้แสดงวันที่ เวลา ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และจำนวนดาวเทียมที่สามารถตรวจจับได้ สามารถทำการจัดเก็บผลการทดลองได้โดยอ่านค่าตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์จากเซนเซอร์เทียบกับค่าตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์จาก Google Map โดยค่าตำแหน่งที่อ่านได้ สามารถใช้บอกพิกัดเมื่อต้องการเก็บกูดาวเทียมได้

3) เซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน (GY-291 ADXL345)

เซนเซอร์นี้แสดงค่ามุม Pitch และมุม Roll ขณะดาวเทียมขนาดเล็กมีการเคลื่อนที่สามารถทำการจัดเก็บผลการทดลองได้โดยการอ่านค่ามุม Pitch และมุม Roll จากเซนเซอร์เมื่อทำการขยับเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียมขนาดเล็ก เทียบกับค่ามุมจริงที่กำหนดไว้

4) เซนเซอร์วัดความเร็วรอบการหมุนของใบพัด

เซนเซอร์นี้แสดงค่าอัตราการหมุนของใบพัด ในหน่วย รอบต่อนาที (rpm) ทำการจับเก็บผลการทดลองได้โดยอ่านค่าที่ได้จากเซนเซอร์เมื่อติดตั้งใบพัดเข้ากับมอเตอร์ที่ทราบความเร็วรอบ ซึ่งก็คือพัดลมระบายความร้อนคอมพิวเตอร์ ที่มีความเร็วรอบ เท่ากับ 400 rpm

5) เซนเซอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Voltage sensor)

เซนเซอร์นี้แสดงค่าแอมป์เตจหรือแรงดันของระบบ ทำการจับเก็บผลการทดลองได้โดยอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์ เมื่อทำการต่อเซนเซอร์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) เปรียบเทียบระหว่างค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ กับค่าแรงดันที่แสดงบนหน้าจอสจิลิสโคป

3.3.1.4 การจับเก็บผลระบบย่อยการสื่อสาร ในส่วนการส่ง และรับข้อมูลผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz

ระบบย่อยการสื่อสารและจัดการข้อมูลนั้น เป็นส่วนที่เชื่อมต่อเซนเซอร์ทั้งหมดให้ทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ จากนั้นทำการรวบรวมและประมวลผล ส่งข้อมูลทั้งหมดไปแสดงผล ณ สถานีภาคพื้นดิน โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สายระยะไกล Xbee ที่ใช้ความถี่ 2.4 GHz เป็นตัวกลางในการสื่อสาร สำหรับส่วนของกำลังในการส่งของดาวเทียมขนาดเล็กที่จัดทำขึ้นนั้น สามารถทำการจับเก็บผล ได้โดยทำใช้เครื่องมือ Spectrum Analyzer โดยปรับ Center Frequency ไปที่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้ในการสื่อสาร โดยจะพบรูปสเปกตรัมของความถี่ที่ใช้งาน ทำให้สามารถอ่านค่ากำลังส่งของดาวเทียมขนาดเล็กจากหน้าจอสจิลิสโคปได้

ในส่วนการส่งข้อมูลทั้งหมดที่เซนเซอร์ทำงานได้ในระบบมายังสถานีรับ โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สายระยะไกล Xbee ความถี่ 2.4 GHz เป็นตัวกลางในการสื่อสารนั้น สามารถจับเก็บผลการทดลองได้ โดยการส่งข้อมูลจากดาวเทียมขนาดเล็ก ณ ชั้น 12 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ ตึก 12 ชั้น ความสูง 44 เมตร มายังสถานีภาครับที่อยู่บริเวณชั้น 1 ของอาคารดังกล่าว จากนั้นทำการปล่อยดาวเทียมขนาดเล็กให้เคลื่อนที่ลงจากชั้น 12 มายังพื้นดิน บันทึกลง และวิเคราะห์ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ต่างๆ ตามที่ออกแบบไว้ โดยทำการออกแบบให้รูปแบบของแพ็คเกจข้อมูลที่ต้องทำการรับค่า ประกอบไปด้วยข้อมูลทั้งหมด 15 ข้อมูล แสดงได้ ดังนี้

**<TEAM ID>,<MISSION TIME>,<PACKET COUNT>,<ALTITUDE>,<PRESSURE>,
<TEMP>,<VOLTAGE>,<GPS TIME>,<GPS LATITUDE>,<GPS LONGITUDE>,<GPS
ALTITUDE>,<GPS SATS>,<PITCH>,<ROLL>,<BLADE SPIN RATE>**

รูปที่ 3.39 รูปแบบของแพ็คเกจข้อมูลที่ต้องทำการรับค่า

จากรูปที่ 3.39 แสดงรูปแบบของแพ็คเกจข้อมูลที่ต้องทำการรับค่า โดยกำหนดรูปแบบการจัดเรียงข้อมูลในแพ็คเกจข้อมูล ดังนี้ ข้อมูลแรกที่แสดง คือ เลขประจำกลุ่ม, เวลาเมื่อระบบเริ่มทำงาน ในหน่วยวินาที, ลำดับแพ็คเกจ, ความสูงจากพื้นดินโดยการคำนวณจากความดันอากาศ,

ค่าความดันอากาศ, อุณหภูมิ, แรงดันไฟฟ้าคงเหลือของแบตเตอรี่, เวลาและวันที่ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ GPS, พิกัดละติจูด, ลองจิจูด, ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางที่วัดโดยเซนเซอร์ GPS, จำนวนดาวเทียมที่ GPS รับผิดชอบได้ ณ ขณะนั้น, ค่ามุม Pitch, ค่ามุม Roll และค่าความเร็วรอบการหมุนของใบพัดในหน่วย rpm โดยในทุก 1 วินาที จะทำการส่งข้อมูล 1 แพคเกจ

นอกจากนี้ยังทำการจัดเก็บผลระยะทางสูงสุดที่สถานีรับสามารถรับข้อมูลจากดาวเทียมขนาดเล็กภาคส่ง โดยเริ่มต้นกำหนดให้ตำแหน่งของอุปกรณ์ส่งสัญญาณและอุปกรณ์รับสัญญาณ มีระยะห่างกัน 0 เมตร โดยในทุก 1 วินาที จะทำการส่งข้อมูล 1 แพคเกจ ทำการบันทึกค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ในอุปกรณ์ฝั่งรับ จากนั้นเพิ่มระยะห่างของอุปกรณ์ในแนวราบ ครั้งละ 100 เมตร ทำซ้ำจนถึงระยะสุดท้ายที่สถานีรับสามารถรับแพคเกจข้อมูลที่ครบถ้วนจากสถานีส่งได้ และบันทึกค่าระยะทางดังกล่าว ซึ่งเป็นระยะทางสูงสุดที่ดาวเทียมขนาดเล็กฝั่งส่งสามารถติดต่อกับสถานีรับได้

3.3.1.5 การจัดเก็บผลการทำงานของระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้า

สามารถทำการจัดเก็บผลการทดลองได้โดยการอ่านค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชนิด เพื่อนำมาคำนวณกำลังโดยรวมของระบบ และคำนวณระยะเวลาที่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ 800 มิลลิแอมป์ 1 ก้อน สามารถจ่ายกำลังให้กับระบบทั้งหมด

3.3.2 การจัดเก็บผลการทำงานของชุดตรวจวัดสภาพอากาศที่ทำการสื่อสารกันด้วยโทโพโลยีรูปดาว

3.3.2.1 การจัดเก็บผลระบบย่อยเซนเซอร์ที่ใช้ในการปฏิบัติการกิจ

ในระบบย่อยเซนเซอร์ ประกอบด้วยเซนเซอร์สำคัญที่ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศทั้งหมด 3 เซนเซอร์ ได้แก่

1) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT22)

เพื่อให้งานประยุกต์ใช้ดาวเทียมขนาดเล็กในการตรวจวัดสภาพอากาศมีความแม่นยำมากขึ้น จึงเลือกใช้เซนเซอร์นี้ในการวัดค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้น สำหรับค่าอุณหภูมินั้น ทำการจัดเก็บผลการทำงานได้โดยอ่านค่าที่ได้จากเซนเซอร์เทียบกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องมือเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล โดยทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งหมดที่ 3 สภาพะแตกต่างกัน บันทึกผลจากนั้นวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด

สำหรับค่าความชื้นนั้น สามารถทำการเก็บผลการทำงานได้โดย เปรียบเทียบค่าความชื้นที่อ่านได้จากเซนเซอร์กับเครื่องวัดความชื้นดิจิทัล (Digital Hygrometer) วัดภายในบริเวณห้องปิด ทำซ้ำจำนวน 10 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในทั้ง 3 ชุด

2) เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180)

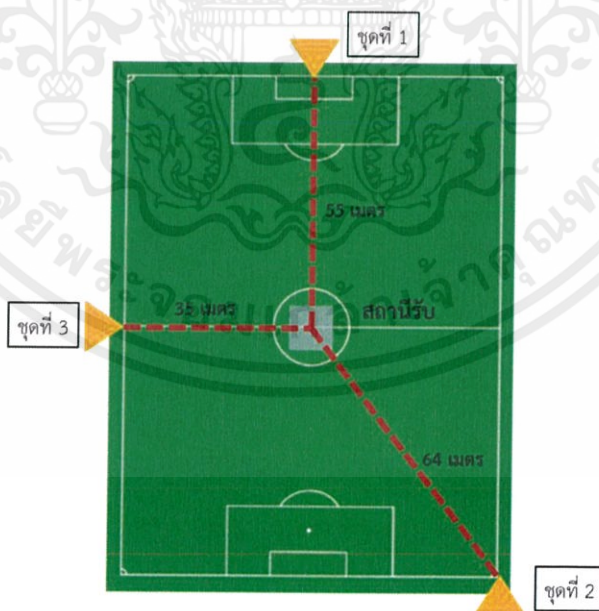
เซนเซอร์นี้สามารถวัดค่าความดันอากาศได้ สามารถทำการจัดเก็บผลการทำงานได้โดยอ่านค่าที่ได้จากเซนเซอร์เทียบกับค่าความดันอากาศที่วัดได้จากโทรศัพท์มือถือ ณ ตำแหน่งและเวลาเดียวกัน จากนั้นวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด

3) เซนเซอร์วัดค่าปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละออง

เซนเซอร์นี้สามารถวัดค่าปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละออง สามารถทำการจัดเก็บผลการทำงานได้โดยอ่านค่าที่ได้จากเซนเซอร์เทียบกับค่าปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละอองที่วัดได้จากเครื่องมือวัดค่าปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละอองแบบดิจิทัล ณ ตำแหน่ง และเวลาเดียวกัน ทำซ้ำจำนวน 10 ครั้ง บันทึกผล และวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของทั้ง 3 ชุด

3.3.2.2 การจัดเก็บผลการสื่อสารส่งและรับข้อมูล โดยใช้โทโพโลยีรูปแบบดาวของเครือข่ายโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz

การนำดาวเทียมขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศนั้น จะได้ว่า เป็นการเลือกใช้ความสามารถในการวัดค่าต่างๆ ของเซนเซอร์ การส่ง และรับข้อมูล ผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee 2.4 GHz โดยทำการประยุกต์ให้ทำงานร่วมกันภายใต้การสื่อสารรูปแบบโทโพโลยีรูปดาว กล่าวคือกำหนดให้ มีอุปกรณ์ 1 ตัวที่ทำหน้าที่เป็นตัว Coordinator หรือสถานีรับข้อมูลจากอุปกรณ์ End device หรือชุดตรวจวัดสภาพอากาศ จำนวน 3 ชุด ที่วางไว้ ณ ตำแหน่งต่างๆ เพื่อตรวจวัดสภาพอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ กัน แสดงได้ ดังนี้



รูปที่ 3.40 การจำลองติดตั้งดาวเทียมขนาดเล็กในรูปแบบโทโพโลยีรูปดาว

จากรูปที่ 3.40 แสดงการจำลองติดตั้งดาวเทียมขนาดเล็กรูปแบบโทโพโลยีรูปดาว ภายในพื้นที่สนามฟุตบอลกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มีขนาดความกว้าง 70 เมตร และความยาว 110 เมตร สำหรับการประยุกต์ใช้ดาวเทียมขนาดเล็กเพื่อทำการตรวจวัดสภาพอากาศ ได้ทำการออกแบบให้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ End device หรือชุดตรวจวัดสภาพอากาศลูกข่าย ทั้งหมด 3 ชุด ติดตั้งบริเวณตำแหน่งกึ่งกลางด้านกว้าง ระยะห่างจากสถานีรับที่อยู่กึ่งกลางสนาม 55 เมตร, ตำแหน่งด้านเส้นทแยงมุมของสนาม มีระยะห่าง 64 เมตรจากสถานีรับ และตำแหน่งกึ่งกลางด้านยาว มีระยะห่าง 35 เมตรจากสถานีรับ ตามลำดับ โดยภายในอุปกรณ์ชุดตรวจวัดสภาพอากาศนี้มีการติดตั้งเซนเซอร์วัดความดันอากาศที่วัดได้ในหน่วยเฮกโตปาสกาล (hPa) ค่าอุณหภูมิที่เซนเซอร์ทำการวัดได้ในหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) ค่าดัชนีความร้อนแท้จริงสืบเนื่องมาจากผลของความชื้นในหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) และค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ตามลำดับ โดยเลือกใช้ใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดสภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพมากกว่าในการทำดาวเทียมขนาดเล็กในส่วนแรก เพื่อให้ผลการวัดสภาพอากาศที่ได้ในบริเวณนั้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถเทียบเคียงได้กับอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดสภาพอากาศจริงในปัจจุบัน จากนั้นส่งข้อมูลที่วัดค่าได้ ไปยังสถานีรับ หรืออุปกรณ์ Coordinator ที่ทำการติดตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางสนามฟุตบอล ทำหน้าที่เป็นสถานีรับ รับค่าข้อมูลจากชุดตรวจวัดสภาพอากาศลูกข่ายรอบข้างทั้งหมด

จะได้ว่า สามารถเก็บผลการทดลองได้โดยกำหนดให้ชุดตรวจวัดสภาพอากาศลูกข่ายที่ติดตั้งไว้ตามจุดต่างๆ ทั้ง 3 ตำแหน่ง ในสนามฟุตบอลกลาง สจล. ทำงานเป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลสำคัญต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

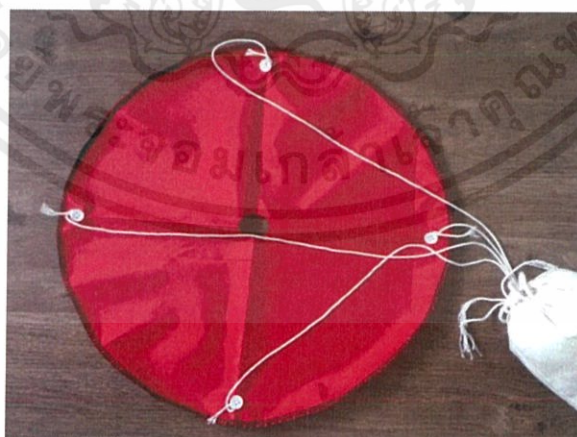
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก ประกอบด้วยระบบย่อยการควบคุมการเคลื่อนที่ ในส่วนความเร็วในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของร่มชูชีพและใบพัดที่ได้ทำการออกแบบไว้ ระบบย่อยเชิงกลในส่วนกลไกควบคุมการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอกให้เปิดออก ระบบย่อยเซนเซอร์ที่ใช้ในการปฏิบัติการกิจของดาวเทียมขนาดเล็ก ระบบย่อยการสื่อสารและจัดการข้อมูล ในส่วนการส่งและรับข้อมูลผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee 2.4 GHz และส่วนของระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ

ในส่วนที่สองจะกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบชุดตรวจวัดสภาพอากาศที่ทำการสื่อสารกันด้วยโทโพโลยีรูปดาว ซึ่งประยุกต์ใช้หลักการทำงานบางส่วนมาจากการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็กในส่วนแรก

4.1 ผลการออกแบบในส่วนของการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก

4.1.1 ผลการออกแบบระบบย่อยการควบคุมการเคลื่อนที่ ในส่วนความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของร่มชูชีพและใบพัดที่ได้ทำการออกแบบไว้

จากการทดลองเพื่อศึกษาค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของร่มชูชีพ โดยนำถุงทรายที่มีน้ำหนัก 550 กรัม แทนน้ำหนักของดาวเทียมขนาดเล็ก ผูกติดกับร่มชูชีพที่ได้ทำการออกแบบไว้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทดสอบความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของร่มชูชีพ

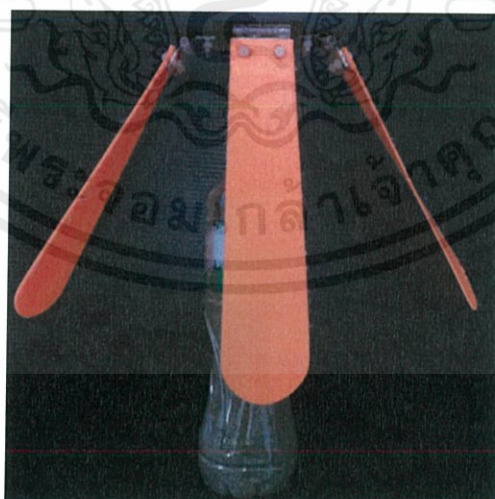
จากรูปที่ 4.1 แสดงร่มชูชีพที่ใช้ในการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดิน โดยได้ทำการออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 เซนติเมตร และรูเจาะบริเวณส่วนกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร จากนั้นทำการปล่อยร่มชูชีพและถุงทรายที่ผูกติดกันให้ตกลงสู่พื้นดินที่ระดับความสูง 40 เมตร แล้วทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มปล่อยจนกระทั่งร่มชูชีพเคลื่อนที่ลงสู่พื้นดิน จะได้ว่า สามารถคำนวณหาความเร็วในการตกลงสู่พื้นดินของร่มชูชีพที่ออกแบบไว้ ด้วยสูตร $v = s/t$ ได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.1 เวลาที่ร่มชูชีพเคลื่อนที่ถึงพื้นดินจากระยะความสูง 40 เมตร และความเร็วที่คำนวณได้

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
เวลาที่วัดได้ (วินาที)	1.95	2.03	1.88	1.95
ความเร็วที่คำนวณได้ (เมตร/วินาที)	20.52	19.72	21.28	20.51

จากตารางที่ 4.1 แสดงเวลาที่ร่มชูชีพเคลื่อนที่ตกลงถึงพื้นดินจากระยะความสูง 40 เมตร และเมื่อคำนวณค่าความเร็วที่ใช้ในการตกลงสู่พื้นดินของวัตถุน้ำหนัก 550 กรัม ที่ติดอยู่กับร่มชูชีพที่ออกแบบไว้ จะได้ว่า ที่ระยะความสูง 40 เมตร ร่มชูชีพที่ออกแบบไว้ มีค่าความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดิน คือ 20.51 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดที่กล่าวว่าค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ตกลงถึงพื้นดินของดาวเทียมขนาดเล็กนั้น ต้องอยู่ในช่วง 15 - 25 เมตรต่อวินาที

และจากการทดลองเพื่อศึกษาค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของใบพัดที่ติดตั้งอยู่กับส่วนโครงสร้างภายใน สามารถทำการทดลองได้โดยติดตั้งใบพัดเข้ากับขวดน้ำที่มีน้ำหนัก 350 กรัม แทนน้ำหนักของส่วนโครงสร้างภายใน แสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การทดสอบความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดินของใบพัด

จากรูปที่ 4.2 แสดงใบพัดที่มีขนาดที่มีความกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาว 200 มิลลิเมตร และความหนา 2 มิลลิเมตร มีความบิดหรือโค้งเล็กน้อย ติดตั้งเข้ากับขดน้ำที่มีน้ำหนัก 350 กรัม แทนน้ำหนักของส่วนโครงสร้างภายใน จากนั้นทำการปล่อยร่มชูชีพและถุงทรายให้ตกลงสู่พื้นดินที่ระดับความสูง 40 เมตร แล้วทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มปล่อยจนกระทั่งใบพัดเคลื่อนที่ลงสู่พื้นดิน จะได้ว่า สามารถคำนวณหาความเร็วในการตกลงสู่พื้นดินของร่มชูชีพที่ออกแบบไว้ ด้วยสูตร $v = s/t$ ได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.2 เวลาที่ใบพัดเคลื่อนที่ถึงพื้นดินจากระยะความสูง 40 เมตร และความเร็วที่คำนวณได้

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
เวลา (วินาที)	3.36	3.10	2.90	3.12
ความเร็วที่คำนวณได้ (เมตร/วินาที)	11.90	12.90	13.79	12.86

จากตารางที่ 4.2 แสดงเวลาที่ใบพัดเคลื่อนที่ตกลงถึงพื้นดินจากระยะความสูง 40 เมตร และความเร็วที่ได้จากการคำนวณในการตกลงสู่พื้นดินของวัตถุน้ำหนัก 350 กรัม ที่ทำการติดตั้งอยู่กับใบพัดที่ได้ออกแบบไว้ จะได้ว่า ที่ระยะความสูง 40 เมตร ใบพัดที่ทำการออกแบบไว้ มีค่าความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดิน คือ 12.86 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดที่กล่าวไว้ว่าค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ตกลงถึงพื้นของส่วนโครงสร้างภายใน ต้องอยู่ในช่วง 10 - 15 เมตรต่อวินาที

4.1.2 ผลการทดลองระบบย่อยเชิงกลและโครงสร้าง ในส่วนกลไกควบคุมการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอกให้เปิดออก

โครงสร้างของดาวเทียมขนาดเล็กที่ได้จัดทำขึ้นนั้น ประกอบด้วย ส่วนโครงสร้างภายนอกและส่วนโครงสร้างภายใน แสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ดาวเทียมขนาดเล็กที่จัดทำขึ้น

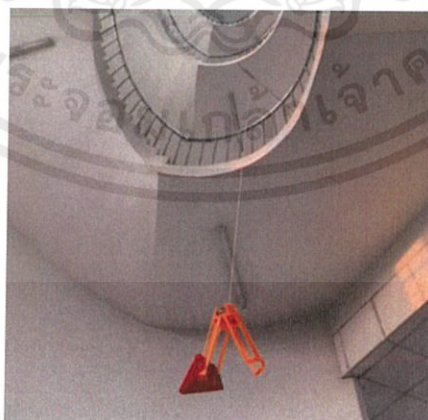
จากรูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้างของดาวเทียมขนาดเล็กที่จัดทำขึ้น ทั้งในส่วนโครงสร้างภายนอก และส่วนโครงสร้างภายใน โดยส่วนโครงสร้างภายนอกนั้น กำหนดให้ทำการเปิดออกที่ระยะความสูงที่กำหนด เพื่อให้ส่วนโครงสร้างภายในตกลงสู่พื้นดิน และใช้ใบพัดในการควบคุมความเร็วการตกลงสู่พื้นดินให้เป็นไปตามต้องการ

จากการทดลองส่วนกลไกควบคุมการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอกให้เปิดออกนั้น สามารถทำได้โดยปล่อยส่วนโครงสร้างภายนอกที่มีการติดตั้งมอเตอร์เซอร์โวสำหรับควบคุมการทำงานของกลไกให้ตกลงสู่พื้นดิน จากระยะความสูง 5 เมตร จากพื้นดิน โปรแกรมคำสั่งให้มอเตอร์เซอร์โวเริ่มทำงานที่ระยะความสูง 3 เมตรจากพื้นดิน สังเกตการทำงานของกลไกเมื่อโครงสร้างนี้เคลื่อนที่ลงถึงระยะความสูงที่กำหนด ได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการทำงานของกลไกการเปิดออกด้วยมอเตอร์เซอร์โว

	ความสามารถในการทำงานของกลไกการเปิดออกที่ความสูง 3 เมตรจากพื้นดิน	
	กลไกสามารถเปิดออกได้	กลไกไม่สามารถเปิดออกได้
ครั้งที่ 1	/	
ครั้งที่ 2	/	
ครั้งที่ 3	/	

จากตารางที่ 4.3 แสดงความสามารถในการทำงานของกลไกการเปิดส่วนโครงสร้างภายนอกด้วยมอเตอร์เซอร์โว จะได้ว่า เมื่อเซนเซอร์ได้รับค่าระยะความสูงของส่วนโครงสร้างภายนอกเป็น 3 เมตรจากพื้นดิน จะทำการสั่งการให้แขนของมอเตอร์เซอร์โวเริ่มหมุนรอบเป็นวงกลม 360 องศา ทำให้เชือกที่ทำการยึดอยู่ที่แขนของมอเตอร์กับส่วนท้ายของโครงสร้างภายนอกนั้นถูกดึงเก็บขึ้นไป ส่งผลให้ด้านข้างของส่วนโครงสร้างภายนอกเปิดออกได้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กลไกการเปิดส่วนโครงสร้างภายนอกด้วยมอเตอร์เซอร์โวทำงานได้ตามระยะที่กำหนด

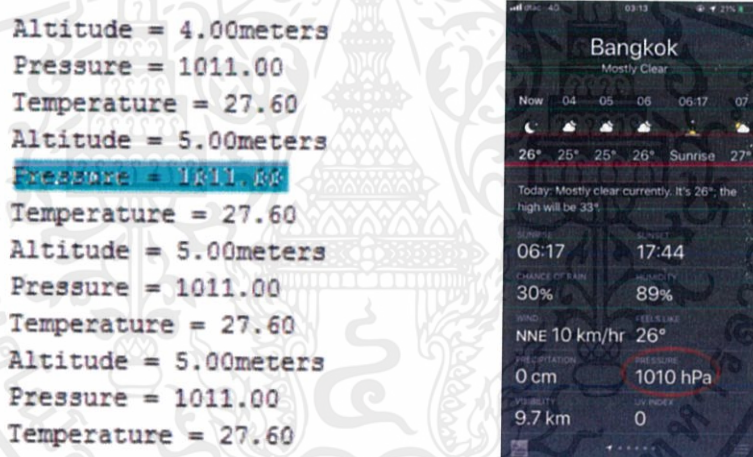
จากรูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบของกลไกการเปิดส่วนโครงสร้างภายนอกด้วยมอเตอร์เซอร์โว จะได้ว่า เมื่อส่วนโครงสร้างภายนอกเคลื่อนที่ลงสู่พื้นดินถึงระยะตามที่กำหนด คือ 3 เมตร จากพื้นดินนั้น มอเตอร์เซอร์โวจะเริ่มทำงาน ส่งผลให้ส่วนโครงสร้างภายนอกสามารถเปิดออกได้จริง

4.1.3 ผลที่ได้จากระบบย่อยเซนเซอร์ที่ใช้ในการปฏิบัติการกิจ

ในระบบย่อยเซนเซอร์ ประกอบด้วยอุปกรณ์เซนเซอร์สำคัญใช้ในการปฏิบัติการกิจของดาวเทียมขนาดเล็ก โดยในการใช้งานเซนเซอร์นั้นต้องมีการโปรแกรมคำสั่งเพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ จากการออกแบบที่เลือกใช้ซอฟต์แวร์ Arduino IDE ได้ผลการทดสอบการทำงานของโปรแกรมคำสั่งเซนเซอร์ทั้งหมด ดังนี้

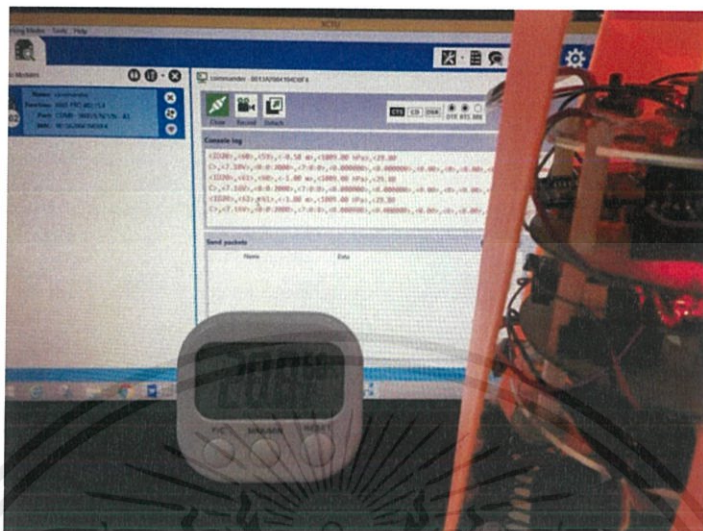
4.1.3.1 เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180)

จากการทดสอบเซนเซอร์นี้ จะได้ค่าผลการทดลอง 3 ค่า ได้แก่ ค่าความดันอากาศ ค่าอุณหภูมิ และค่าความสูงจากระดับพื้นดิน แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 - 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ความดันอากาศที่วัดได้จากเซนเซอร์เปรียบเทียบกับแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

จากรูปที่ 4.5 แสดงค่าความดันอากาศที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180) เปรียบเทียบกับค่าความดันอากาศที่วัดได้จากแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ณ วันที่ 19 พฤศจิกายน 2561 เวลา 03.13 น. จะเห็นได้ว่า ค่าความดันอากาศที่วัดได้จากเซนเซอร์ มีค่า 1011.00 hPa ส่วนค่าความดันอากาศที่อ่านได้จากแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ มีค่า 1010 hPa เมื่อเปรียบเทียบกับกันโดยให้ค่าความดันอากาศที่อ่านได้จากแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือเป็นค่ามาตรฐาน จะได้ว่า ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์มีความคลาดเคลื่อน 0.1 % ซึ่งถือเป็นค่าที่น้อยมาก



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ BMP180 และเครื่องมือวัดอุณหภูมิดิจิทัล

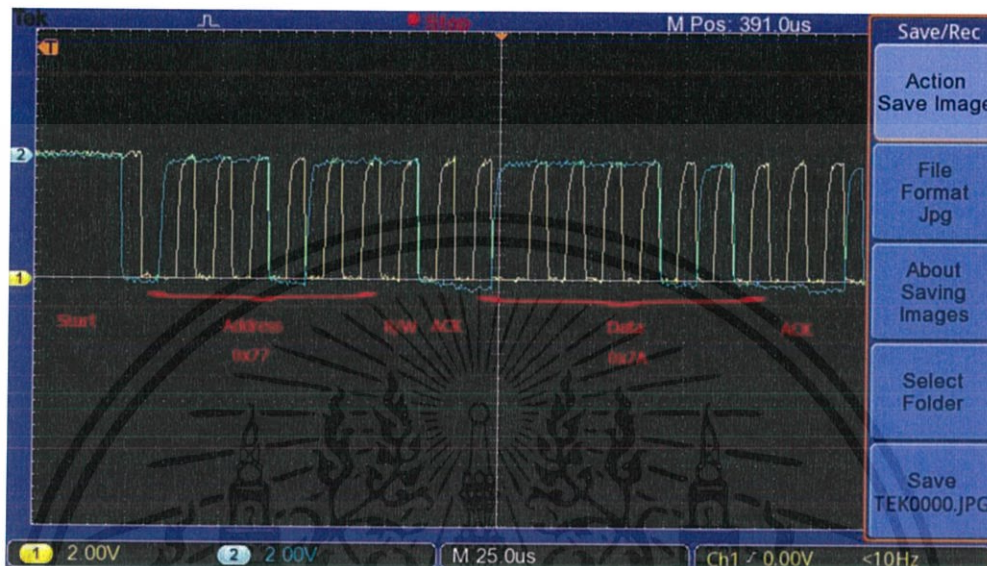
จากรูปที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180) โดยทำการทดลองทั้งหมดที่อุณหภูมิ 3 สภาวะ ดังนี้ อุณหภูมิภายในตู้ทำความเย็น อุณหภูมิภายในห้องที่ตั้งค่าเครื่องปรับอากาศ 20 องศา และอุณหภูมิภายนอกอาคาร หน้าตึกภาควิชาโทรคมนาคม วันที่ 21 มีนาคม 2562 เวลา 09.13 น. ได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ และเครื่องมือวัดอุณหภูมิดิจิทัล ณ สภาวะต่างๆ

	อุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ BMP180	อุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องมือวัดดิจิทัล	ค่าความคลาดเคลื่อน
อุณหภูมิในตู้ทำความเย็น	11.8 °C	12.7 °C	5.60 %
อุณหภูมิภายในห้องที่ตั้งค่าเครื่องปรับอากาศ 20 องศา	20 °C	20.2 °C	4.31 %
อุณหภูมิภายนอกอาคาร ตึกภาควิชาโทรคมนาคม	28.8 °C	29.3 °C	3.82 %

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ BMP180 เปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ได้จากเครื่องมือวัดอุณหภูมิดิจิทัล ณ สภาวะต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิภายในตู้ทำความเย็น อุณหภูมิภายในห้องที่ตั้งค่าเครื่องปรับอากาศ 20 องศา และอุณหภูมิภายนอกอาคาร หน้าตึกภาควิชาโทรคมนาคม โดยให้ค่าอุณหภูมิที่ได้จากเครื่องมือวัดอุณหภูมิดิจิทัลเป็นค่ามาตรฐาน จะได้ว่า ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์ BMP180 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 5.60 %

นอกจากนี้ยังสามารถวัดผลการทดสอบเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180) ใน ส่วนของค่าอุณหภูมิได้ โดยใช้เครื่องมือออสซิลอโคป อ่านค่าบิตข้อมูลได้ แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ค่าสัญญาณบิตข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180)

จากรูปที่ 4.7 แสดงค่าสัญญาณบิตข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ BMP180 โดย แสดงข้อมูล ดังนี้ ช่องสัญญาณที่ 1 (CH 1) จากขา SCL และช่องสัญญาณที่ 2 (CH 2) จากขา SDA จะได้ว่า Address BMP180 คือ 0x77 โดยในการอ่านค่าข้อมูลนั้น หากข้อมูลที่อ่านค่าได้มี Address อยู่ในช่วง 0xF7 - 0xF9 จะแสดงค่าความดันอากาศ และหาก Address อยู่ในช่วง 0xFA - 0xFC จะแสดงค่าของอุณหภูมิ ในการทดลองวัดสัญญาณบิตข้อมูลนี้ พบว่า สามารถอ่านค่า ข้อมูลดังกล่าวได้ ดังนี้ 01111010 หรือ 0x7A ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วง 0xFA - 0xFC ดังนั้น ค่าข้อมูล จากสัญญาณที่ทำการวัดได้ข้างต้น แสดงค่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ณ ขณะนั้น

สำหรับผลการทดสอบเซนเซอร์วัดความดันอากาศ BMP180 ในส่วนค่าความสูงที่วัดได้นั้น เป็นค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง แต่ความสูงที่ต้องการเป็นค่าความสูงจากระดับพื้นดิน จึงต้องมีการป้อนคำสั่งให้มีการเก็บค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลค่าแรกที่ระยะพื้นดิน เพื่อนำมาลบ ออกจากค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลที่ทำการวัด โดยจะทำให้ได้ค่าความสูงจากระดับพื้นดินที่ ต้องการ โดยทำการจัดเก็บผลการทดลองได้โดยอ่านค่าที่ได้จากเซนเซอร์เมื่อทำการเปลี่ยนระดับ ความสูงทั้งหมด 3 ระดับ เปรียบเทียบกับความสูงของชั้นตึก โดยให้ค่าความสูงจริงของชั้นตึก เป็น ค่ามาตรฐาน ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

ตารางที่ 4.5 ค่าความสูงที่ระดับต่างๆ จากระดับพื้นดินที่อ่านได้จากเซนเซอร์ และค่าความสูงจริง

ความสูงจริง (เมตร)	ความสูงที่ อ่านได้ (เมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน %	ความสูงจริง (เมตร)	ความสูงที่ อ่านได้ (เมตร)	ค่าความ คลาดเคลื่อน%
1	1.30	10.00	6	5.90	1.67
2	2.10	5.00	7	7.10	1.43
3	3.18	6.00	8	8.21	2.62
4	3.95	1.75	9	9.15	1.67
5	5.15	3.00	10	10.10	1.00

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าความสูงที่ระดับต่างๆ จากระดับพื้นดินที่อ่านได้จากเซนเซอร์ เปรียบเทียบกับค่าความสูงจริงของชั้นตึก โดยความสูงที่เซนเซอร์แสดงนั้น เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณจากค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ BMP180 ซึ่งค่าที่คำนวณได้จะอยู่ในหน่วยเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความสูงจริงกับค่าความสูงที่อ่านได้ จะได้ว่า ค่าความสูงที่อ่านได้จากเซนเซอร์มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 10.00 % ซึ่งค่าความสูงที่ได้นี้ เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ อาจส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามาก แต่ยังคงอยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้

4.1.3.2 เซนเซอร์วัดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ GPS (GY-NEO6MV2)

ในการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์นี้ จะได้ว่า ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ จะประกอบไปด้วยวันที่ เวลา ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และจำนวนดาวเทียมที่สามารถตรวจจับได้ โดยทำการทดสอบรับค่าดังกล่าวบริเวณหน้าตึกภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ได้ผลการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 4.8

```
-44534.54,39164.09,12.80,0:0:2000,15:19:33,13.727444,100.776500,-34.50,13,0.00,0.00,0.00
-44534.54,39164.09,12.80,0:0:2000,15:19:34,13.727445,100.776500,-34.50,13,0.00,0.00,0.00
-44534.54,39164.09,12.80,11:8:2018,15:19:36,13.727445,100.776500,-34.10,13,0.00,0.00,0.00
-44534.54,39164.09,12.80,11:8:2018,15:19:37,13.727445,100.776500,-34.10,13,0.00,0.00,0.00
-44534.54,39164.09,12.80,11:8:2018,15:19:39,13.727445,100.776500,-33.70,13,0.00,0.00,0.00
-44534.54,39164.09,12.80,11:8:2018,15:19:40,13.727444,100.776500,-33.70,13,0.00,0.00,0.00
-44534.54,39164.09,12.80,11:8:2018,15:19:42,13.727444,100.776500,-33.50,13,0.00,0.00,0.00
-44534.54,39164.09,12.80,11:8:2018,15:19:43,13.727445,100.776500,-33.50,13,0.00,0.00,0.00
-44534.54,39164.09,12.80,11:8:2018,15:19:43,13.727444,100.776500,-33.30,13,0.00,0.00,0.00
-44534.54,39164.09,12.80,11:8:2018,15:19:46,13.727444,100.776500,-33.30,13,0.00,0.00,0.00
-44534.54,39164.09,12.80,11:8:2018,15:19:46,13.727442,100.776500,-33.00,13,0.00,0.00,0.00
```

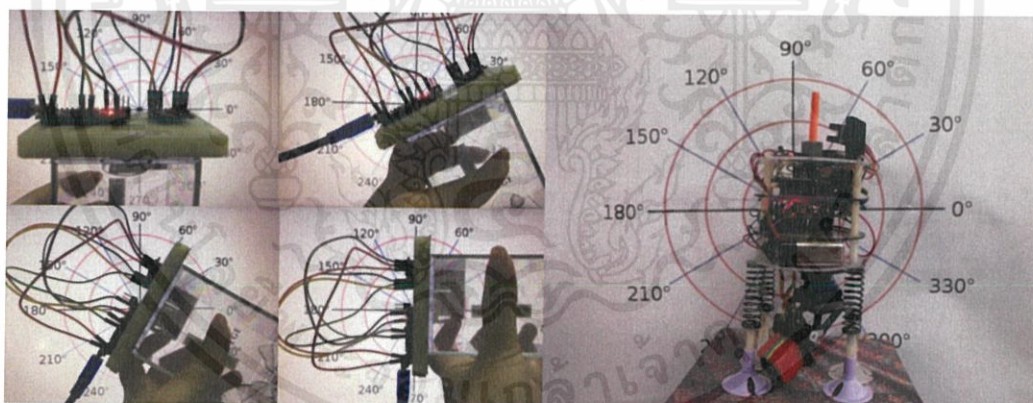
รูปที่ 4.8 ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ GPS บริเวณหน้าตึกภาควิชาโทรคมนาคม

จากรูปที่ 4.8 แสดงค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ GPS บริเวณหน้าตึกภาควิชาโทรคมนาคม ณ วันที่ 8 พฤศจิกายน 2561 เวลา 15.19.46 น. ตำแหน่งนี้อ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์ คือ 13.727442, 100.776500 มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง -33.00 เมตร ณ เวลานั้นตรวจจับดาวเทียมได้ 13 ดวง

เมื่อทำการอ่านค่าพิกัดของตำแหน่งตึกภาควิชาโทรคมนาคม จากเว็บเบราว์เซอร์ Google Map จะได้ว่า ตำแหน่งนี้อ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์ คือ 13.727489,100.776552 เมื่อกำหนดให้ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่อ่านได้จากเว็บเบราว์เซอร์ Google Map เป็นมาตรฐาน จะได้ว่า ค่าตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่อ่านได้จากเซนเซอร์มีค่าความคลาดเคลื่อนในทศนิยมตำแหน่งที่ 4 เป็นต้นไป ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นได้ แม้ไม่มีการเคลื่อนที่ จึงได้ว่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่อ่านได้จากเซนเซอร์มีความถูกต้อง

4.1.3.3 เซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน (GY-291 ADXL345)

เซนเซอร์นี้แสดงค่า มุม Pitch และมุม Roll เมื่อดาวเทียมขนาดเล็กมีการเคลื่อนที่ โดยค่าที่เซนเซอร์นี้อ่านได้ จะเป็นค่าความเร่งในแนวแกน X แกน Y และแกน Z ซึ่งสามารถนำค่าดังกล่าวมาคำนวณเพื่อหาค่า มุม Pitch และมุม Roll ที่ต้องการได้ จากการทดลองอ่านค่ามุม Pitch และมุม Roll จากเซนเซอร์โดยทำการปรับเปลี่ยนทิศของเซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน ให้ทำมุม 0, 30, 60 และ 90 องศา ตามแนวแกน แสดงผลได้ ดังรูปที่ 4.9 – 4.10 ตามลำดับ



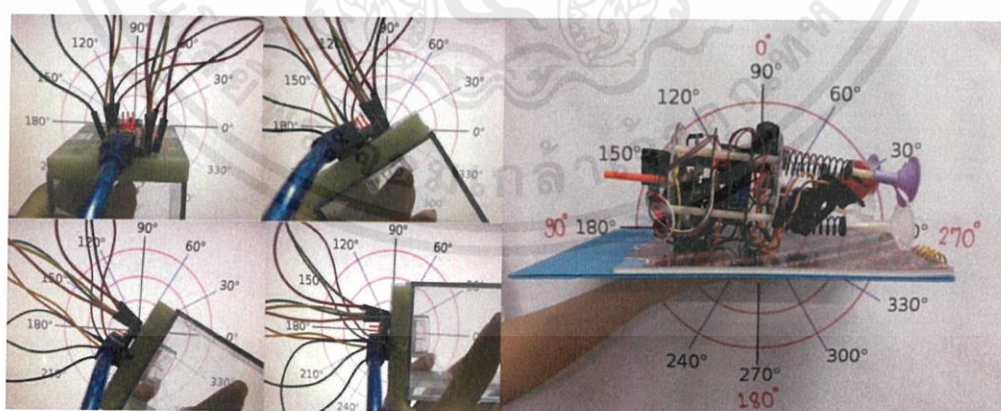
รูปที่ 4.9 การปรับเปลี่ยนทิศทางของเซนเซอร์ตามค่ามุมต่างๆ เพื่อคำนวณหาค่ามุม Pitch

จากรูปที่ 4.9 แสดงการปรับเปลี่ยนทิศทางของเซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน (GY-291 ADXL345) ไปตามค่ามุม 0, 30, 60 และ 90 องศา ตามลำดับ โดยเปลี่ยนทิศทางให้สอดคล้องกับแนวแกนของการหามุม Pitch โดยกำหนดทิศทางให้มุม Roll คงที่ จะได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ค่าของมุม Pitch ที่อ่านได้จากเซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน

ครั้งที่	มุม (องศา)			
	0	30	60	90
1	0	29.05	57.99	90
2	0.21	29.05	57.99	87.12
3	0	32.01	63.43	90
4	0.13	29.05	60.95	90
5	0.13	29.05	60.95	89.46
6	0.21	32.01	60.95	87.12
7	0	29.05	57.99	87.12
8	0	32.01	60.95	90
9	0.13	32.01	60.95	89.46
10	0.13	29.05	57.99	90
เฉลี่ย	0.10	30.23	60.01	97.74
ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	1.29	0.76	0.02	8.60

จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าของมุม Pitch ที่อ่านได้จากเซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน จากการทดลองที่กำหนดการเปลี่ยนแปลงทิศทางให้เป็นมุม 0, 30, 60 และ 90 องศา พบว่า ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ คิดเป็นค่ามุมเฉลี่ย 0.10, 30.23, 60.01 และ 97.74 องศา ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่ามุมที่กำหนดกับค่ามุมที่อ่านได้จากเซนเซอร์ จะได้ว่า ค่ามุมที่อ่านได้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด คือ 8.60 % ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งมุม 90 องศา



รูปที่ 4.10 การปรับเปลี่ยนทิศทางของเซนเซอร์ตามค่ามุมต่างๆ เพื่อคำนวณหาค่ามุม Roll

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 แสดงการปรับเปลี่ยนทิศทางของเซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกนไปตามค่ามุม 0, 30, 60 และ 90 องศา ตามลำดับ จากการทดลองทำการเปลี่ยนทิศทางให้สอดคล้องกับแนวแกนของการหมุน Roll โดยกำหนดทิศทางให้มุม Pitch คงที่ จะได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ค่าของมุม Roll ที่อ่านได้จากเซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน

ครั้งที่	มุม (องศา)			
	0	30	60	90
1	0.15	32.01	57.99	90
2	0.15	29.05	57.99	90.25
3	0	29.05	60.95	90
4	0	29.05	66.04	90
5	0	29.05	60.95	87.13
6	0	29.05	60.95	90.25
7	0.22	29.05	57.99	87.13
8	0	29.05	57.99	90
9	0.22	32.01	60.95	90
10	0.15	32.01	60.95	87.13
เฉลี่ย	0.09	29.94	60.28	98.19
ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	1.09	0.20	0.46	9.10

จากตารางที่ 4.7 แสดงค่าของมุม Roll ที่อ่านได้จากเซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน จากการทดลองที่กำหนดการเปลี่ยนแปลงทิศทางให้เป็นมุม 0, 30, 60 และ 90 พบว่า ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ คิดเป็นค่ามุมเฉลี่ย 0.09, 29.94, 60.28 และ 98.19 องศา ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่ามุมที่กำหนดกับค่ามุมที่อ่านได้จากเซนเซอร์ จะได้ว่า ค่ามุม Roll ที่อ่านได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด คือ 9.10% ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งมุม 90 องศา

4.1.3.4 เซนเซอร์วัดความเร็วใบพัด (Counter motor speed sensor)

จากการนำเซนเซอร์นี้ติดตั้งเข้ากับพัดลมทำความเย็น เพื่อหาค่าความเร็วรอบการหมุนของใบพัด ได้ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.11

RPM = 400 RPM = 401 RPM = 398 RPM = 400 RPM = 403
RPM = 398 RPM = 398 RPM = 401 RPM = 400 RPM = 400

รูปที่ 4.11 ค่าความเร็วรอบการหมุนของใบพัดพัดลมทำความเย็นที่อ่านได้จากเซนเซอร์

จากรูปที่ 4.11 แสดงค่าความเร็วรอบการหมุนของใบพัดพัดลมทำความเย็นที่อ่านได้จากเซนเซอร์ จากการทดสอบการทำงานโดยให้ส่วนที่ติดอยู่กับใบพัดเคลื่อนที่ผ่านช่องของเซนเซอร์ เพื่อให้เซนเซอร์ทำการนับจำนวนรอบที่ใบพัดเคลื่อนที่ผ่าน แล้วนำค่าดังกล่าวมาคำนวณเป็นค่าความเร็วรอบการหมุน ในหน่วย รอบต่อนาที (rpm) โดยเมื่อทราบค่าความเร็วรอบมาตรฐานของพัดลมทำความเย็นที่ใช้ในการทดลอง คือ 400 rpm จะได้ว่า ค่าความเร็วรอบการหมุนที่อ่านได้จากเซนเซอร์ มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด คิดเป็น 0.75% ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

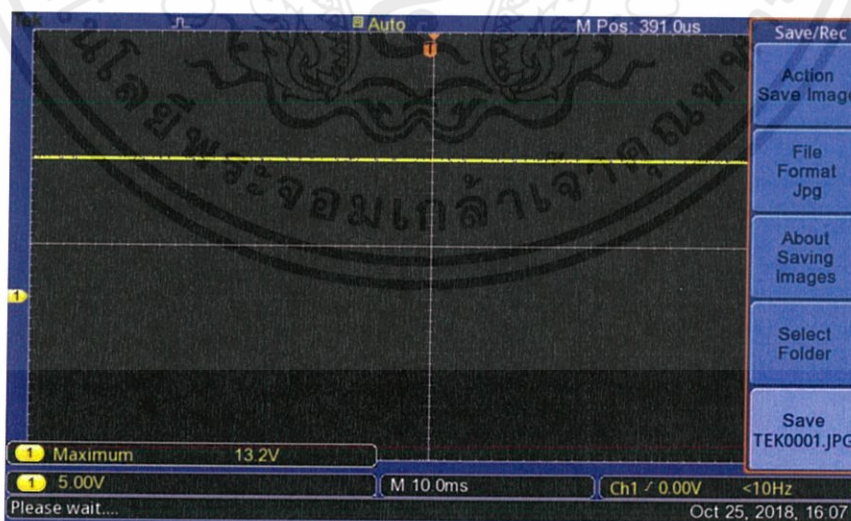
4.1.3.5 เซนเซอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Voltage sensor)

เซนเซอร์นี้ใช้สำหรับแสดงค่าแอมเพอริคองเสถียรของระบบ จากการทดลองอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์ โดยทำการต่อเซนเซอร์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) เมื่อกำหนดให้ แหล่งจ่ายไฟจ่ายแรงดัน 13.5 โวลต์อ้างอิงจากหน้าจอของอุปกรณ์ จะได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.12

Voltage: 13.88V
Voltage: 13.88V
Voltage: 13.88V
Voltage: 13.88V
Voltage: 13.88V

รูปที่ 4.12 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Voltage sensor)

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า เซนเซอร์นี้อ่านค่าได้ 13.88 โวลต์ เมื่อกำหนดให้ แหล่งจ่ายไฟจ่ายแรงดัน 13.5 โวลต์อ้างอิงจากหน้าจอของอุปกรณ์ เนื่องด้วยหน้าจออุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟนี้อาจมีความผิดพลาด จึงจำเป็นต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือออสซิลโลสโคปเป็นมาตรฐาน แสดงได้ดังรูปที่ 4.13

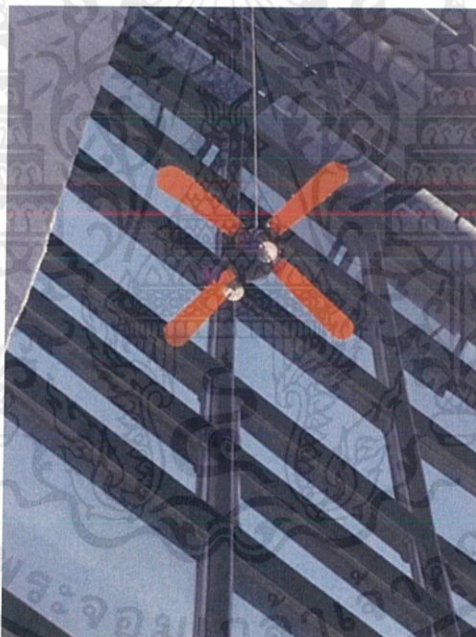


รูปที่ 4.13 แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือออสซิลโลสโคป

จากรูปที่ 4.13 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือออสซิลอโคป โดยกำหนดให้แหล่งจ่ายไฟจ่ายแรงดัน 13.5 โวลต์ พบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือ มีค่า 13.2 โวลต์ ซึ่งใช้ค่านี้เป็นแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้านี้ กับค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ จะได้ว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเซนเซอร์มีค่าความคลาดเคลื่อน 5.15 %

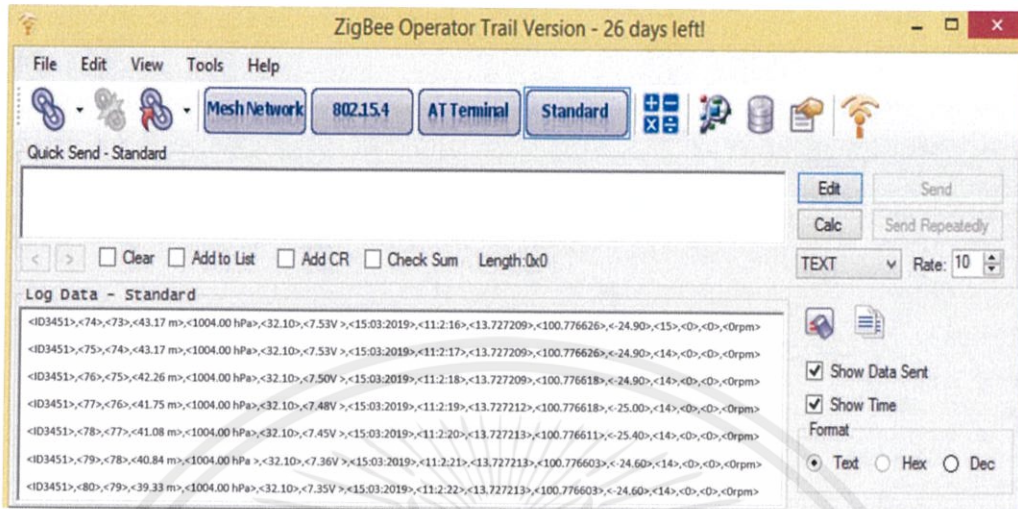
4.1.4 ผลที่ได้จากระบบย่อยการสื่อสารในส่วนการส่ง และรับข้อมูลผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz

ในส่วนการส่งข้อมูลทั้งหมดที่เซนเซอร์ทั้งหมดทำงานได้มายังสถานีรับ โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สายระยะไกล Xbee ความถี่ 2.4 GHz เป็นตัวกลางในการสื่อสารนั้น สามารถจัดเก็บผลการทดลองได้ โดยการส่งข้อมูลจากดาวเทียมขนาดเล็ก ณ ชั้น 12 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ ตึก 12 ชั้น ความสูง 44 เมตร มายังสถานีภาครับที่อยู่บริเวณชั้น 1 ของอาคารดังกล่าว และทำการปล่อยดาวเทียมขนาดเล็ก ให้เคลื่อนที่ลงจากชั้น 12 มายังพื้นดิน สามารถแสดงได้ ดังนี้



รูปที่ 4.14 ดาวเทียมขนาดเล็กขณะเคลื่อนที่ตกลงจากชั้น 12 อาคารวิศวกรรมศาสตร์สู่พื้นดิน

จากรูป 4.14 แสดงดาวเทียมขนาดเล็กที่ได้จัดทำขึ้น ขณะเคลื่อนที่ตกลงจากชั้น 12 อาคารวิศวกรรมศาสตร์สู่พื้นดิน และทำการส่งข้อมูลต่างๆ ผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายระยะไกล Xbee ความถี่ 2.4 GHz มายังสถานีรับ ที่อยู่บริเวณพื้นดิน โดยในทุก 1 วินาที จะทำการส่งข้อมูล 1 แพคเกจ ซึ่งข้อมูลที่รับได้ สามารถแสดงผ่านหน้าจอของโปรแกรม Zigbee Operator และบันทึกข้อมูลดังกล่าว เก็บไว้ในรูปแบบไฟล์ .txt ได้ ดังนี้



รูปที่ 4.15 แพคเกจข้อมูลจริงที่อ่านได้จากหน้าจอโปรแกรม Zigbee Operator

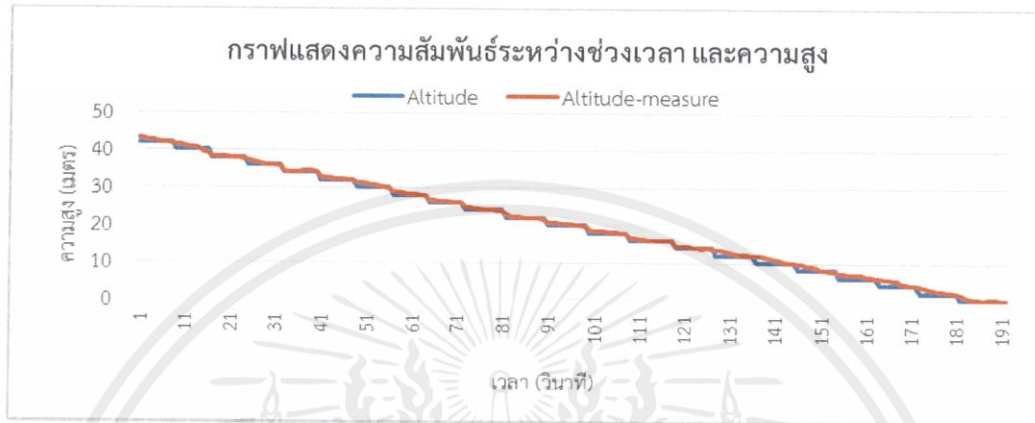
จากรูปที่ 4.15 แสดงแพคเกจข้อมูลจริงที่อ่านได้จากหน้าจอโปรแกรม Zigbee Operator โดยโปรแกรมนี้จะแสดงค่าข้อมูลที่ได้จากโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz ภาครับ ที่ทำการเชื่อมต่ออยู่ อีกทั้งยังสามารถเก็บบันทึกข้อมูลทั้งหมดลงในไฟล์ .txt ได้ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาประมวลผลแล้ว สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.16

```
<ID3451>,<74>,<73>,<43.17 m>,<1004.00 hPa>,<32.10>,<7.53V >,<15:03:2019>,<11:2:16>,<13.727209>,<100.776626>,<-24.90>,<15>,<0>,<0>,<0rpm>
<ID3451>,<75>,<74>,<43.17 m>,<1004.00 hPa>,<32.10>,<7.53V >,<15:03:2019>,<11:2:17>,<13.727209>,<100.776626>,<-24.90>,<14>,<0>,<0>,<0rpm>
<ID3451>,<76>,<75>,<42.26 m>,<1004.00 hPa>,<32.10>,<7.50V >,<15:03:2019>,<11:2:18>,<13.727209>,<100.776618>,<-24.90>,<14>,<0>,<0>,<0rpm>
<ID3451>,<77>,<76>,<41.75 m>,<1004.00 hPa>,<32.10>,<7.48V >,<15:03:2019>,<11:2:19>,<13.727212>,<100.776618>,<-25.00>,<14>,<0>,<0>,<0rpm>
<ID3451>,<78>,<77>,<41.08 m>,<1004.00 hPa>,<32.10>,<7.45V >,<15:03:2019>,<11:2:20>,<13.727213>,<100.776611>,<-25.40>,<14>,<0>,<0>,<0rpm>
<ID3451>,<79>,<78>,<40.84 m>,<1004.00 hPa>,<32.10>,<7.36V >,<15:03:2019>,<11:2:21>,<13.727213>,<100.776603>,<-24.60>,<14>,<0>,<0>,<0rpm>
<ID3451>,<80>,<79>,<39.33 m>,<1004.00 hPa>,<32.10>,<7.35V >,<15:03:2019>,<11:2:22>,<13.727213>,<100.776603>,<-24.60>,<14>,<0>,<0>,<0rpm>
```

รูปที่ 4.16 แพคเกจข้อมูลที่นำมาประมวลผล

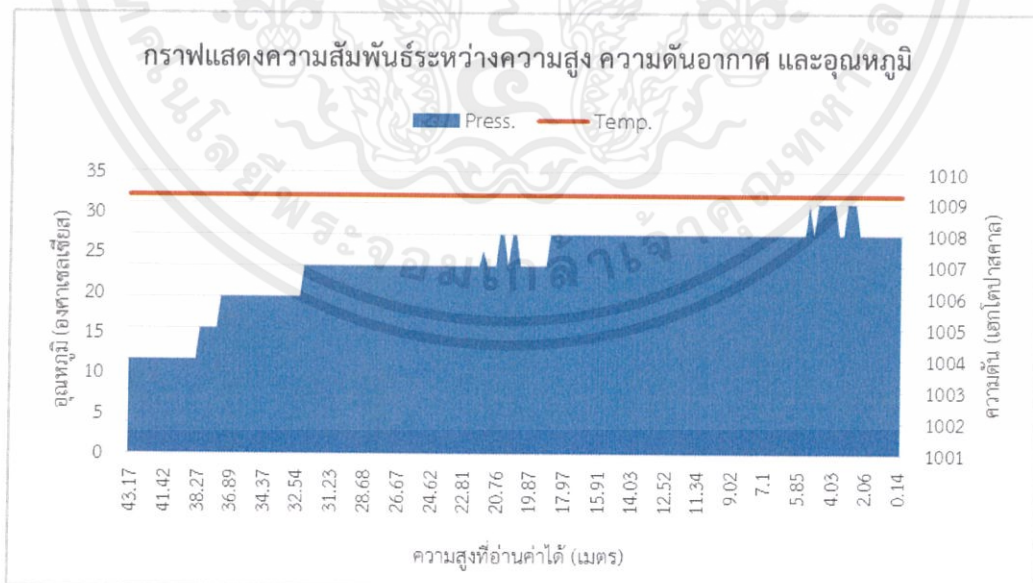
จากรูปที่ 4.16 แสดงแพคเกจข้อมูลที่นำมาประมวลผล โดยสามารถอ่านค่าข้อมูลได้ ดังนี้ ลำดับกลุ่ม คือ ID3451, เวลาที่เริ่มปล่อยดาวเทียมขนาดเล็ก คือ วินาทีที่ 74 หลังจากเริ่มเปิดสวิตช์ ให้ระบบทำงาน, แพคเกจที่เริ่มบันทึกผล คือ แพคเกจที่ 73, ความสูงจากระดับพื้นดิน คือ 43.17 เมตร ซึ่งเป็นความสูง ณ ชั้น 12 ตึกวิศวกรรมศาสตร์ ค่าความดันอากาศ, ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ ขณะนั้น คือ 32.1 องศาเซลเซียส, แรงดันไฟฟ้าคงเหลือของแบตเตอรี่ เริ่มต้นที่ 7.53 โวลต์, ทำการทดลอง วันที่ 15 มีนาคม 2562 เวลา 11:02:16 นาฬิกา ตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด เทียบพิกัดได้กับ ตึก 12 ชั้น วิศวกรรมศาสตร์ สจล. มีค่าความสูงจากระดับน้ำทะเล -24.90 เมตร ขณะนั้นเซนเซอร์ GPS สามารถจับดาวเทียมได้ทั้งหมด 14-15 ดวง, ค่ามุม Pitch และค่ามุม Roll ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และค่าความเร็วการหมุนของใบพัด เป็น 0 รอบต่อนาที เนื่องจากกระยะในการตกลงสู่พื้นดินมีค่าน้อยเกินไป ทำให้ใบพัดไม่ได้หมุนต่อเนื่องตลอดเวลา 1 นาที ทำให้ไม่สามารถวัดค่าได้

เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการปล่อยดาวเทียมขนาดเล็กที่ได้จัดทำขึ้น ขณะเคลื่อนที่ตกลงจากชั้น 12 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ และส่งข้อมูลต่างๆ มายังสถานีรับ ณ บริเวณพื้นดิน มาประมวล และวิเคราะห์ผล สามารถแสดงได้ ดังนี้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และความสูง

จากรูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และความสูง จะเห็นได้ว่า กำหนดให้เวลาเมื่อเริ่มปล่อยดาวเทียมขนาดเล็ก ณ ชั้น 12 วิศวกรรมศาสตร์ อาคาร 12 ชั้น เป็นวินาทีที่ 1 จะพบว่า ระบบสามารถวัดค่าความสูง ณ ตำแหน่งนั้นได้ 43.17 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าความสูงจริงของตึกดังกล่าว เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดาวเทียมขนาดเล็กค่อยๆ เคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดิน ค่าความสูงที่วัดได้ ก็จะมีแนวโน้มลดลงเป็นลำดับ จะได้ว่า ค่าความสูงที่วัดได้นั้น มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าเวลา



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูง ความดันอากาศ และอุณหภูมิ

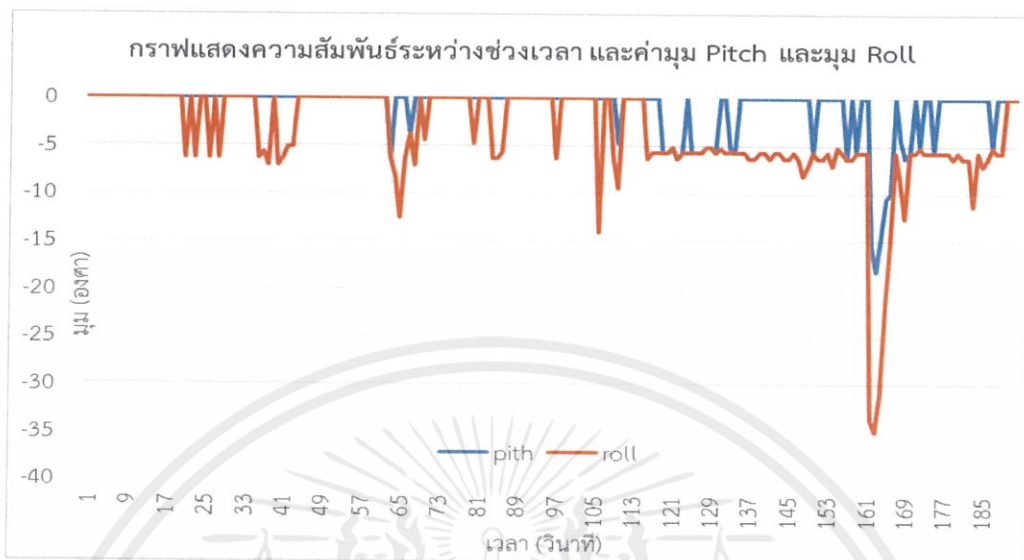
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูง ความดันอากาศ และอุณหภูมิ เมื่อเริ่มปล่อยดาวเทียมขนาดเล็ก ณ ชั้น 12 ให้ตกลงสู่พื้นดิน จะได้ว่า ความดันอากาศที่วัดได้ มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความสูงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริง กล่าวคือ ที่สูงจะมีค่าความกดอากาศน้อยกว่าที่ต่ำ สรุปได้ว่า ค่าความดันอากาศที่ได้นั้น มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความสูง สำหรับค่าอุณหภูมิ พบว่า มีแนวโน้มแบบคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด แม้มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสูง เนื่องจากความสูงที่ทำการทดลอง มีค่าไม่มากพอที่จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของอุณหภูมิ ค่าอุณหภูมิที่ได้จึงมีความเปลี่ยนแปลงเพียงแคในส่วนของคุณค่าเท่านั้น จึงเห็นลักษณะแนวโน้มของกราฟเป็นเส้นตรงแนวราบ



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และแรงดันไฟฟ้าคงเหลือของแบตเตอรี่

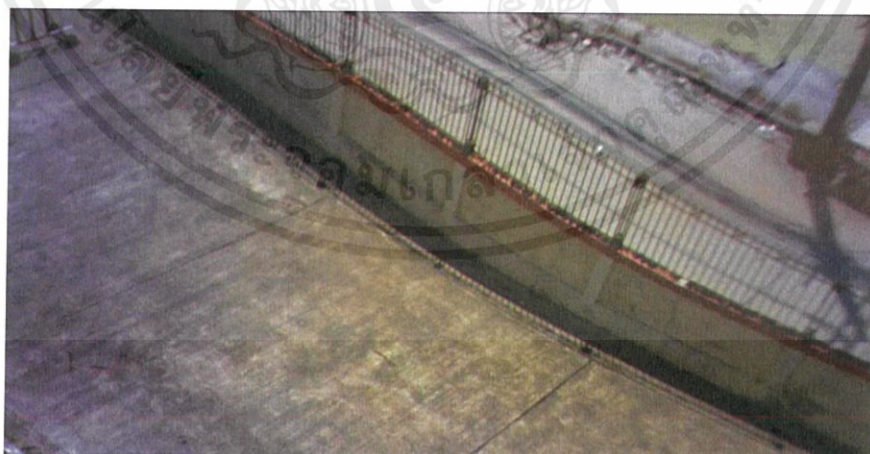
จากรูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และแรงดันไฟฟ้าคงเหลือของแบตเตอรี่ กำหนดให้เวลาเมื่อเริ่มปล่อยดาวเทียมขนาดเล็ก ณ ชั้น 12 ตึกวิศวกรรมศาสตร์ อาคาร 12 ชั้น เป็นวินาทีที่ 1 จะพบว่า ค่าแบตเตอรี่คงเหลือเริ่มต้น มีค่า 7.53 โวลต์ มีแนวโน้มลดลงเป็นลำดับ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับหลักความเป็นจริง กล่าวคือ เมื่อระบบเริ่มปฏิบัติการ ก็จะมีการใช้งานแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงาน เมื่อปฏิบัติการใช้เวลานานขึ้น ก็ต้องใช้พลังงานจากแบตเตอรี่มากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ค่าแบตเตอรี่คงเหลือมีค่าลดลง



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และค่ามุม Pitch และค่ามุม Roll

จากรูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และค่ามุม Pitch และค่ามุม Roll กำหนดให้เวลาเมื่อเริ่มปล่อยดาวเทียมขนาดเล็ก ณ ชั้น 12 ตึกวิศวกรรมศาสตร์ อาคาร 12 ชั้น เป็นวินาทีที่ 1 พบว่า ขณะที่ดาวเทียมขนาดเล็กถูกปล่อยให้ตกลงสู่พื้นดินนั้น เกิดการเคลื่อนไหว ที่อาจมีสาเหตุมาจากแรงลม ส่งผลให้ทิศทางมุม Pitch และมุม Roll มีการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างอิสระ โดยค่ามุม Pitch ที่เปลี่ยนแปลงนั้น อยู่ในช่วง 0 ถึง -20 องศา และค่ามุม Roll มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0 ถึง -35 องศา

นอกจากนี้ภายในดาวเทียมขนาดเล็ก ได้ทำการติดตั้งกล้องถ่ายรูปที่มีความละเอียดอย่างต่ำ 480p หรือ 854x480 พิกเซล เพื่อบันทึกภาพเคลื่อนไหว สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกได้จากกล้องภายในดาวเทียมขนาดเล็ก

จากรูปที่ 4.21 แสดงภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกได้จากกล้องภายในดาวเทียมขนาดเล็ก โดยกล้องถ่ายรูปที่มีความละเอียดอย่างต่ำ 480p หรือ 854x480 พิกเซล เริ่มทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหว ขณะที่ดาวเทียมขนาดเล็กถูกปล่อยให้ตกลงสู่พื้นดิน จากตำแหน่งสูงสุด คือ ชั้น 12 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ ตึก 12 ชั้น จะได้ว่า ภาพที่ได้จากกล้องดังกล่าว มีความคมชัดในระดับปานกลาง บริเวณขอบมีความเบลอลเล็กน้อย

นอกจากนี้ จากการทดลองเพื่อศึกษาระยะเวลาในแนวราบที่ไกลที่สุดที่ดาวเทียมขนาดเล็ก ฝั่งส่งนั้น ทำการส่งข้อมูลมายังอุปกรณ์รับสัญญาณได้ โดยนำส่วนอุปกรณ์ของระบบย่อยการสื่อสาร ได้แก่ โมดูลสื่อสารไร้สายระยะไกล Xbee โดยใช้คลื่นความถี่ 2.4 GHz เป็นตัวกลางในการส่ง และรับข้อมูล เริ่มต้นกำหนดให้ตำแหน่งของอุปกรณ์ส่งสัญญาณและอุปกรณ์รับสัญญาณ มีระยะห่างกัน 0 เมตร โดยในทุก 1 วินาที จะทำการส่งข้อมูล 1 แพคเกจ ทำการบันทึกค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ในอุปกรณ์ฝั่งรับ จากนั้นเพิ่มระยะห่างของอุปกรณ์ในแนวราบ ครั้งละ 100 เมตร ทำซ้ำจนถึงระยะสุดท้ายที่สถานีรับสามารถรับแพคเกจข้อมูลที่ครบถ้วนจากสถานีส่งได้ จะได้ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ระยะทางสูงสุดที่โมดูลสื่อสารสามารถส่ง และรับข้อมูลได้

จากรูปที่ 4.22 แสดงระยะทางตามแนวราบสูงสุดที่โมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz สามารถรับข้อมูลได้ โดยแพคเกจที่รับได้นั้น ยังมีความครบถ้วนสมบูรณ์และต่อเนื่องกัน พบว่าเป็นระยะทางตั้งแต่บริเวณหน้าหอประชุมคณะวิศวกรรมศาสตร์เลยไปตามริมถนน จนถึงบริเวณประตูรั้วใหญ่ข้างตึก 12 ชั้น รวมระยะทางที่โมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz สามารถทำงานส่ง และรับข้อมูลได้สมบูรณ์ คือ 450 เมตร

4.1.4 ผลการทำงานของระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้า

จากการอ่านค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชนิด เพื่อนำมาคำนวณพลังงานโดยรวมของระบบ และคำนวณระยะเวลาที่แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 9 โวลต์ จำนวน 1 ก้อน สามารถจ่ายพลังงานให้กับระบบจนหมด จะได้ว่า มีการแยกใช้งานแบตเตอรี่ทั้งหมดใน 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของโครงสร้างภายนอก และส่วนของโครงสร้างภายใน โดยแต่ละส่วนจะมีปริมาณการใช้พลังงาน ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แต่ละอุปกรณ์ในส่วนโครงสร้างภายนอกใช้งาน

อุปกรณ์	กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (mA)
เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180)	0.0003
บอร์ดคอนโทรลเลอร์ Arduino NANO	19
มอเตอร์เซอร์โว	5.4
อุปกรณ์หน่วยความจำสำรอง (Micro SD Card) และ Adapter	100
รวม	124.40

จากตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แต่ละอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในส่วนโครงสร้างภายนอกใช้งาน จะได้ว่า อุปกรณ์ในส่วนนี้จะใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 124.40 มิลลิแอมป์ จากการออกแบบระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าในส่วนนี้ คือ จ่ายพลังงานด้วยแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ 800 มิลลิแอมป์ 1 ก้อน จะได้ว่า สามารถใช้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้กับส่วนโครงสร้างภายนอกได้สูงสุด 6 ชั่วโมงติดต่อกัน

ตารางที่ 4.9 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แต่ละอุปกรณ์ในส่วนโครงสร้างภายในใช้งาน

อุปกรณ์	กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (mA)
เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180)	0.0003
เซนเซอร์วัดค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS GY-NEO6MV2)	45.2
เซนเซอร์วัดค่าความเร่งสามแกน (GY-291 ADXL345)	0.03
เซนเซอร์วัดความเร็วใบพัด (Counter motor speed sensor)	15
เซนเซอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Voltage sensor)	6.7
โมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee PRO S1	81.7
โมดูลนาฬิกาแบบเรียลไทม์ (RTC)	1.5
บอร์ดคอนโทรลเลอร์ Arduino NANO	19
อุปกรณ์หน่วยความจำสำรอง (Micro SD Card) และ Adapter	100
อุปกรณ์ Located Audio Beacon หรือ Buzzer	2.9
รวม	272.03

จากตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แต่ละอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในส่วนโครงสร้างภายในใช้งาน จะได้ว่า อุปกรณ์ในส่วนนี้จะใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 272.03 มิลลิแอมป์ จากการออกแบบระบบย่อยด้านกำลังไฟฟ้าในส่วนนี้ คือ จ่ายพลังงานด้วยลิเธียมไอออน แรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ 800 มิลลิแอมป์ 1 ก้อน จะได้ว่า สามารถใช้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้กับส่วนโครงสร้างภายนอกได้สูงสุด 2 ชั่วโมงติดต่อกัน

4.2 ผลการออกแบบในส่วนของชุดตรวจวัดสภาพอากาศที่ทำการสื่อสารกันด้วยโทโพโลยีรูปดาว

4.2.1 ผลของระบบย่อยเซนเซอร์ที่ใช้ในการปฏิบัติการกิจ

4.2.1.1 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT22)

เพื่อให้งานประยุกต์ใช้ดาวเทียมขนาดเล็กในการตรวจวัดสภาพอากาศมีความแม่นยำมากขึ้น จึงเลือกใช้เซนเซอร์ DHT22 ในการวัดค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้น สำหรับค่าอุณหภูมินั้น ทำการอ่านค่าที่ได้จากเซนเซอร์เทียบกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องมือเทอร์โมมิเตอร์ดิจิทัล โดยทำการเปรียบเทียบทั้งหมด 3 อุณหภูมิที่สภาวะแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ DHT22 และเครื่องมือวัดอุณหภูมิดิจิทัล

จากรูปที่ 4.23 แสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT22) เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดอุณหภูมิดิจิทัล โดยทำการทดลองทั้งหมดที่อุณหภูมิ 3 สภาวะ ดังนี้ อุณหภูมิภายในตู้ทำความเย็น อุณหภูมิภายในห้องที่ตั้งค่าเครื่องปรับอากาศ 20 องศา

เซลเซียส และอุณหภูมิภายนอกอาคาร หน้าตึกภาควิชาโทรคมนาคม ณ วันที่ 21 มีนาคม 2562 เวลา 16.45 นาฬิกา ได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.10 ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ และเครื่องมือวัดอุณหภูมิดิจิทัล ณ สภาวะต่างๆ

สภาวะต่างๆ	อุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ DHT22 (°C)			อุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องมือวัด ดิจิทัล (°C)		
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
อุณหภูมิในตู้ทำความเย็น	11.5	11.1	11.4	12.0	11.7	11.9
อุณหภูมิภายในห้องที่ตั้งค่า เครื่องปรับอากาศ 20 °C	19.3	20.0	19.5	19.8	20.5	20.0
อุณหภูมิภายนอกอาคาร ตึกภาควิชาโทรคมนาคม	31.0	30.5	30.8	31.7	31.0	31.5

จากตารางที่ 4.10 แสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ DHT22 เปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ได้จากเครื่องมือวัดอุณหภูมิดิจิทัล ณ สภาวะต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิภายในตู้ทำความเย็น อุณหภูมิภายในห้องที่ตั้งค่าเครื่องปรับอากาศ 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายนอกอาคาร หน้าตึกภาควิชาโทรคมนาคม โดยให้ค่าอุณหภูมิที่ได้จากเครื่องมือวัดอุณหภูมิดิจิทัลเป็นค่ามาตรฐาน จะได้ว่า เมื่อวัดอุณหภูมิในตู้ทำความเย็น ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์ DHT22 ชุดที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อน 4.17 % ค่าที่อ่านได้จากชุดที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อน 5.13 % ค่าที่อ่านได้จากชุดที่ 3 มีค่าความคลาดเคลื่อน 4.20 %

เมื่อวัดอุณหภูมิภายในห้องที่ตั้งค่าเครื่องปรับอากาศ 20 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์ DHT22 ชุดที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อน 2.52 % ค่าที่อ่านได้จากชุดที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อน 2.44 % ค่าที่อ่านได้จากชุดที่ 3 มีค่าความคลาดเคลื่อน 2.50 %

และเมื่อวัดอุณหภูมิภายนอกอาคาร ตึกภาควิชาโทรคมนาคม ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์ DHT22 ชุดที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อน 2.21 % ค่าที่อ่านได้จากชุดที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อน 1.61 % ค่าที่อ่านได้จากชุดที่ 3 มีค่าความคลาดเคลื่อน 2.22 % จากชุดที่ 1, 2 และ 3 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 5.13 % , 2.52 % และ 2.22 % ตามลำดับ ซึ่งถือเป็นค่าที่น้อย

สำหรับค่าความชื้นนั้น สามารถทำการเก็บผลการทำงานได้โดยเปรียบเทียบค่าความชื้นที่อ่านได้จากเซนเซอร์กับเครื่องวัดความชื้นดิจิทัล (Digital Hygrometer) วัดภายในบริเวณห้องปิด ทำซ้ำจำนวน 10 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด แสดงผลได้ ดังนี้

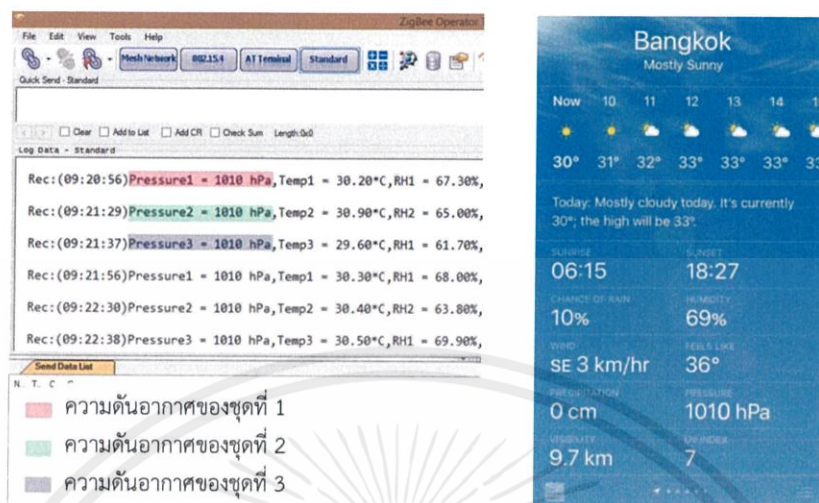
ตารางที่ 4.11 ค่าความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์เปรียบเทียบกับความชื้นที่ได้จากเครื่องมือวัดดิจิทัล

ครั้งที่	เวลา	ค่าความชื้นสัมพัทธ์จากเครื่อง Hygrometer ดิจิตอล (%RH)	ค่าความชื้นสัมพัทธ์จากเซนเซอร์ DHT22 ที่ทำการวัดค่าได้ (%RH)		
			ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
1	16.35 น.	61	60.8	60.5	60.9
2	16.36 น.	61	59.7	59.5	59.7
3	16.37 น.	61	59.4	59.2	59.5
4	16.38 น.	61	58.2	57.9	57.8
5	16.39 น.	61	60.1	59.5	59.6
6	16.40 น.	60	58.6	58.4	59.1
7	16.41 น.	61	59.9	59.4	60.3
8	16.42 น.	61	60.4	60.6	60.7
9	16.43 น.	61	61.1	60.8	61
10	16.44 น.	62	62.3	61.7	62.2
เฉลี่ย		61	60.05	59.75	60.08
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)			1.56	2.05	1.51

จากตารางที่ 4.11 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จากเซนเซอร์ DHT22 เปรียบเทียบกับค่าความชื้นที่ได้จากเครื่องมือวัดความชื้นดิจิทัล ของชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด โดยวัดภายในบริเวณห้องปิด ทำซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ให้ค่าความชื้นที่ได้จากเครื่องมือวัดความชื้นดิจิทัลเป็นค่ามาตรฐาน จะได้ว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ DHT22 ชุดที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.56 % ค่าที่อ่านได้จากชุดที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2.05 % และค่าที่อ่านได้จากชุดที่ 3 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.51 % ซึ่งถือเป็นค่าที่น้อยมาก

4.2.1.2 เซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180)

จากการวัดค่าความดันอากาศ โดยอ่านค่าที่ได้จากเซนเซอร์เทียบกับค่าความดันอากาศที่วัดได้จากโทรศัพท์มือถือ ณ ตำแหน่งและเวลาเดียวกัน สามารถแสดงได้ ดังนี้

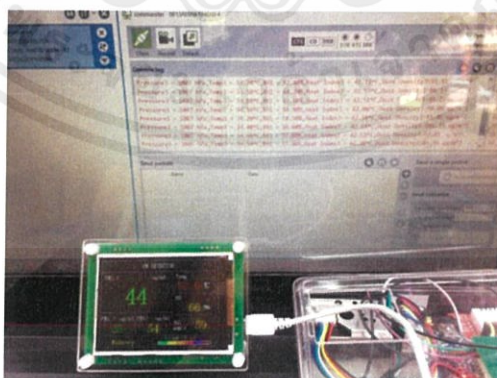


รูปที่ 4.24 ความดันอากาศที่วัดได้จากเซนเซอร์เปรียบเทียบกับแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

จากรูปที่ 4.24 แสดงค่าความดันอากาศที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ (GY-68 BMP180) เปรียบเทียบกับค่าความดันอากาศที่วัดได้จากแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ณ วันที่ 24 มีนาคม 2561 เวลา 09.20 น. จะเห็นได้ว่า ค่าความดันอากาศที่วัดได้จากเซนเซอร์ มีค่า 1010 hPa และค่าความดันอากาศที่อ่านได้จากแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ มีค่า 1010 hPa เมื่อเปรียบเทียบกันโดยให้ค่าความดันอากาศที่อ่านได้จากแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือเป็นค่ามาตรฐาน จะได้ว่า ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์มีความคลาดเคลื่อน 0 %

4.2.1.3 เซนเซอร์วัดค่าปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละออง

เซนเซอร์นี้สามารถวัดค่าปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละออง โดยทำการอ่านค่าที่ได้จากเซนเซอร์ SHARP GP2Y1010AU0F เปรียบเทียบกับค่าปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละอองที่วัดได้จากเครื่องมือวัดค่าแบบดิจิทัล ณ ตำแหน่ง และเวลาเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ปริมาณความหนาแน่นฝุ่นที่ได้จากเซนเซอร์ เปรียบเทียบกับค่าจากตัววัดแบบดิจิทัล

จากรูปที่ 4.25 แสดงค่าปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละออง ที่เซนเซอร์สามารถอ่านได้ ทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดค่าปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละอองแบบดิจิทัล โดยให้ค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดแบบดิจิทัลเป็นค่ามาตรฐาน วัดค่าปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละออง ณ ตำแหน่ง และเวลาเดียวกัน ทำซ้ำจำนวน 10 ครั้ง แสดงผลได้ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.12 ค่าปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละอองที่ได้จากเซนเซอร์ และค่าจากเครื่องมือวัดดิจิทัล

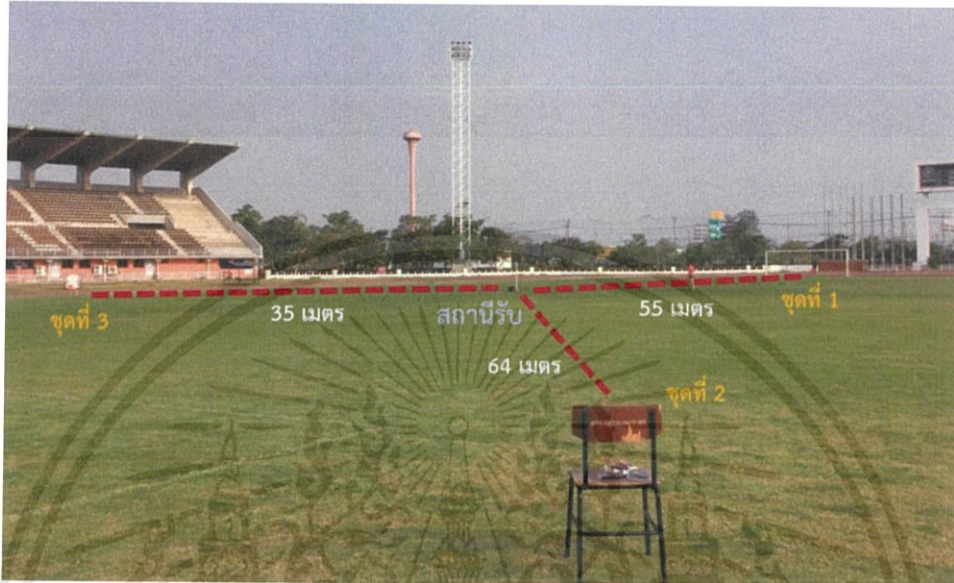
ครั้งที่	เวลา	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นจากเครื่องมือวัดดิจิทัล ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าความหนาแน่นของฝุ่นที่วัดได้จากเซนเซอร์ SHARP GP2Y1010AU0F ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
			ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
1	14.30 น.	87.57	103.37	95.11	93.41
2	14.31 น.	88.24	99.22	101.37	99.53
3	14.32 น.	86.11	83.45	80.13	85.11
4	14.33 น.	85.53	82.62	83.45	84.97
5	14.34 น.	88.89	85.11	90.09	87.54
6	14.35 น.	84.13	80.13	82.62	81.71
7	14.36 น.	81.78	99.22	103.37	99.42
8	14.37 น.	83.10	90.09	93.45	91.37
9	14.38 น.	85.92	93.41	92.66	95.11
10	14.39 น.	87.21	101.71	103.37	99.96
เฉลี่ย		85.85	91.83	92.56	91.81
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (%)			6.51	7.25	6.49

จากตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละอองที่ได้จากเซนเซอร์ SHARP GP2Y1010AU0F ในชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด เปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของฝุ่นจากเครื่องมือวัดดิจิทัล โดยทำการวัดในพื้นที่เปิดโล่ง ทำซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ให้ความหนาแน่นของฝุ่นจากเครื่องมือวัดดิจิทัลเป็นค่ามาตรฐาน จะได้ว่า ค่าความหนาแน่นของฝุ่นที่อ่านได้จากเซนเซอร์ SHARP GP2Y1010AU0F ชุดตรวจวัดสภาพอากาศ ชุดที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 6.51 % ค่าที่อ่านได้จากชุดที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7.25 % และค่าที่อ่านได้จากชุดที่ 3 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 6.49 %

4.2.2 การจัดเก็บผลการสื่อสารส่งและรับข้อมูล โดยใช้โทโพโลยีรูปแบบดาว ของเครือข่ายโมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz

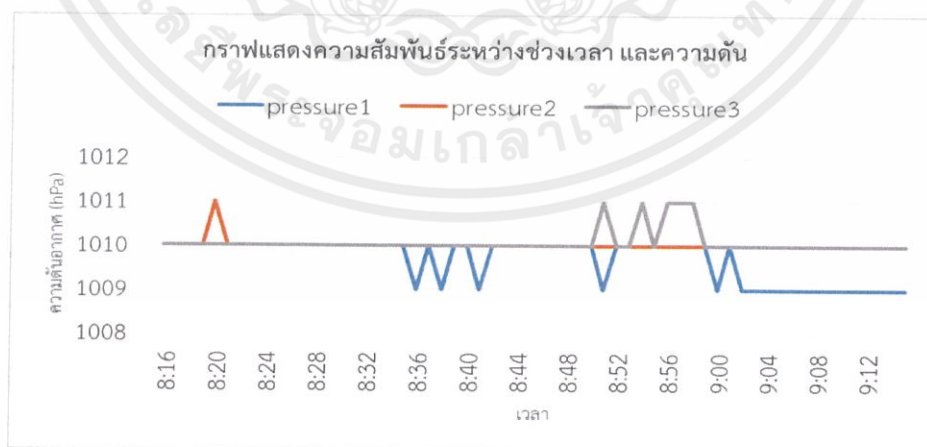
จากการติดตั้งชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด ไว้ตามตำแหน่งต่างๆ ภายในพื้นที่สนามฟุตบอลกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มีความกว้าง 70 เมตร

และความยาวของสนาม 110 เมตร กำหนดให้สถานีรับอยู่บริเวณศูนย์กลางสนามดังกล่าว สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ตำแหน่งต่างๆ ที่ทำการติดตั้งชุดตรวจวัดสภาพอากาศ โดยมีสถานีรับอยู่บริเวณกึ่งกลาง

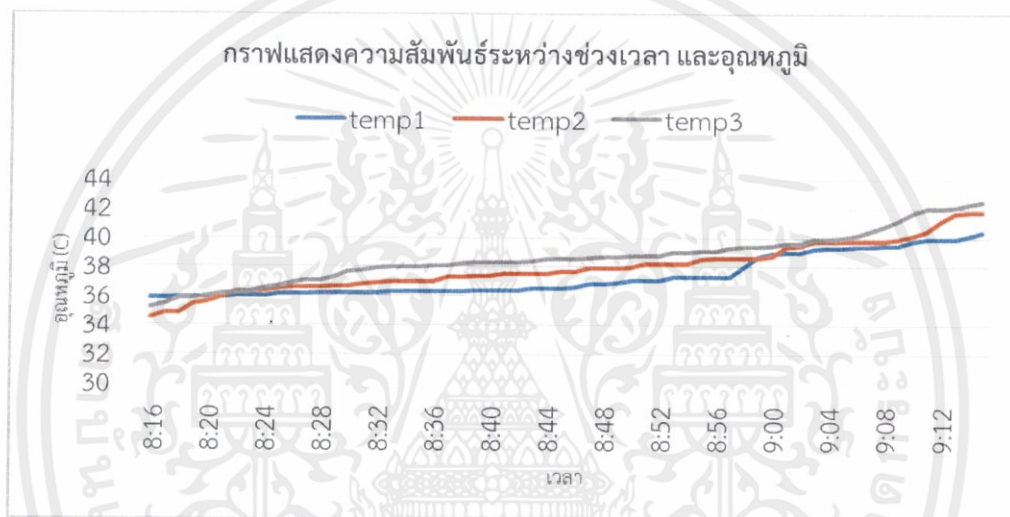
จากรูปที่ 4.26 แสดงตำแหน่งต่างๆ ที่ทำการติดตั้งชุดตรวจวัดสภาพอากาศ โดยมีสถานีรับอยู่บริเวณกึ่งกลาง ทำการติดตั้งชุดตรวจวัดสภาพอากาศ ทั้ง 3 ชุด บริเวณตำแหน่งกึ่งกลางด้านกว้าง ระยะห่างจากสถานีรับที่อยู่กึ่งกลางสนาม 55 เมตร, ตำแหน่งด้านเส้นทแยงมุมของสนาม มีระยะห่าง 64 เมตรจากสถานีรับ และตำแหน่งกึ่งกลางด้านยาว มีระยะห่าง 35 เมตรจากสถานีรับ ตามลำดับ ให้ชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด ทำงานเป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อเนื่อง ทำการส่งข้อมูลทุกๆ 1 นาที ตั้งแต่เวลา 8.16 น. ถึง 9.15 น. ณ วันที่ 23 มีนาคม 2562 สามารถแสดงผลได้ ดังนี้



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และความดันอากาศ

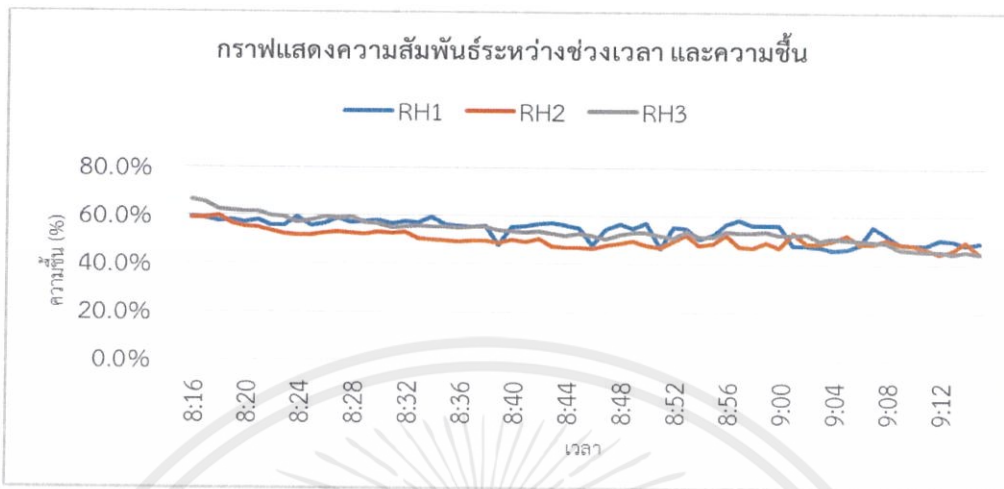
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และความดันอากาศ เมื่อให้ชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด ทำงานเป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อเนื่องกัน ตั้งแต่เวลา 8.16 น. ถึง 9.15 น. วัดค่าความดันอากาศในหน่วยเฮกโตปาสกาล ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ จะได้ว่า ค่าความดันอากาศที่วัดได้จากชุดตรวจวัดสภาพอากาศ ชุดที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 1009-1010 hPa, ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 มีค่าความดันอากาศอยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งก็คือ 1010-1011 hPa จะได้ว่า ค่าความดันอากาศที่ได้จากชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด มีค่าใกล้เคียงกัน มีความแตกต่างกันเล็กน้อย ตามค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความดันอากาศจริงที่มีแนวโน้มคงที่ คือ 1010 hPa



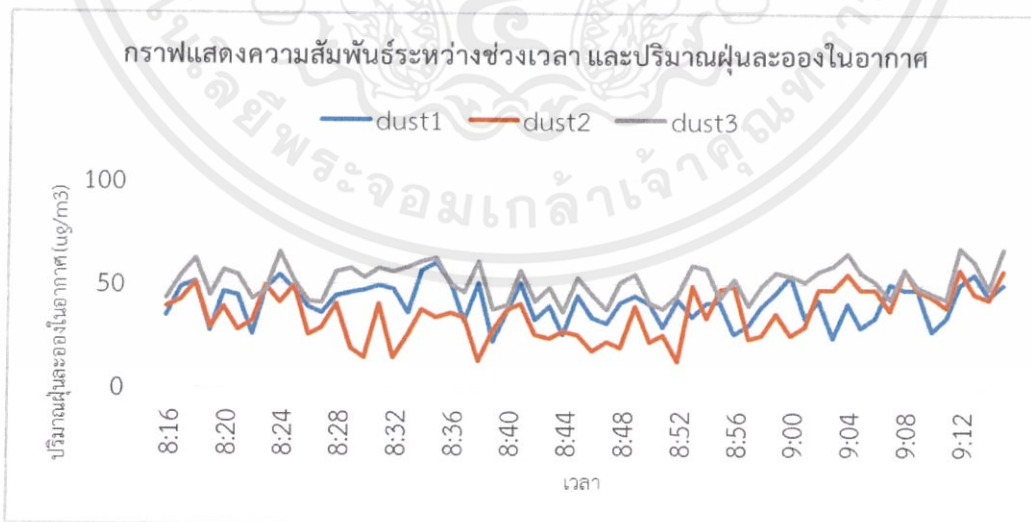
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และอุณหภูมิ ที่ชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด ทำการวัดค่าได้ ตลอดระยะเวลา 1 ชั่วโมงต่อเนื่องกัน ตั้งแต่เวลา 8.16 น. ถึง 9.15 น. โดยวัดค่าความอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ พบว่า ค่าอุณหภูมิที่ชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด วัดค่าได้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับหลักความเป็นจริง กล่าวคือเวลาในช่วงสายของวัน ความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์มีค่ามากกว่าเวลาในช่วงเช้า ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในช่วงเช้าจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น ตามลำดับ จะได้ว่า ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่าเวลา เนื่องจากพื้นที่ในการทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดสภาพอากาศดังกล่าว ไม่ได้มีความห่างไกลกันมากนัก ค่าที่ได้จากชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด ตามแต่ละตำแหน่ง มีความใกล้เคียงกัน แตกต่างกันเล็กน้อย ตามค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์ และอุณหภูมิของตำแหน่งนั้นๆ นอกจากนี้ยังนำค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นที่วัดได้ ณ เวลาเดียวกัน มาคำนวณค่าดัชนีความร้อนที่รู้สึกได้ พบว่า ค่าดัชนีความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเหมือนค่าอุณหภูมิ



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และความชื้น

จากรูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และความชื้น ที่ชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด ทำการวัดค่าได้ ตลอดระยะเวลา 1 ชั่วโมงต่อเนื่องกัน ตั้งแต่เวลา 8.16 น. ถึง 9.15 น. โดยวัดค่าความชื้นในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ พบว่า ค่าความชื้นที่วัดได้จากชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด มีแนวโน้มลดลง เมื่อเวลามากขึ้น โดยจะได้ว่าเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ค่าอุณหภูมิก็จะมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ค่าความชื้นในอากาศมีค่าลดลง เนื่องจากพื้นที่ในการทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดสภาพอากาศดังกล่าว ไม่ได้มีความห่างไกลกันมากนัก ค่าที่ได้จากชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด ตามแต่ละตำแหน่ง มีความใกล้เคียงกัน แตกต่างกันเล็กน้อย ตามค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์ และความชื้นของตำแหน่งนั้นๆ



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละออง

จากรูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลา และปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละออง ที่ชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด ทำการวัดค่าได้ ตลอดระยะเวลา 1 ชั่วโมง ต่อเนื่องกัน ตั้งแต่เวลา 8.16 น. ถึง 9.15 น. โดยวัดค่าปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละออง ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ พบว่า ปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละออง ที่ชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด อยู่ในช่วง 0-70 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีแนวโน้มของค่าเป็นไปอย่างอิสระตามปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้จริง ในขณะนั้น เนื่องจากพื้นที่ในการทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดสภาพอากาศดังกล่าว ไม่ได้มีความห่างไกลกันมากนัก ค่าที่ได้จากชุดตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 3 ชุด ตามแต่ละตำแหน่ง มีความใกล้เคียงกัน แตกต่างกันเล็กน้อย ตามค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์ และปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นละอองของตำแหน่งนั้นๆ



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์เรื่องการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก และการประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดสภาพอากาศ เป็นการจัดทำและพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก (CanSat) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้จำลองการทำงานของดาวเทียมจริง ที่ไม่ได้ถูกปล่อยเข้าสู่วงโคจรในอวกาศ แต่จะถูกปล่อยออกจากพาหนะนำร่อง เช่น จรวด โดยในระหว่างที่ดาวเทียมขนาดเล็กเคลื่อนที่ลงสู่พื้นดิน จะมีการปฏิบัติการกิจทางวิศวกรรมศาสตร์ที่กำหนดไว้ เช่น วัดค่าอุณหภูมิ ค่าความสูง ค่าตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ค่าความเร่งสามแกน เป็นต้น จากนั้นทำการส่งค่าดังกล่าวแบบไร้สายระยะไกล มาแสดงผลยังสถานีภาคพื้นดิน เพื่อรวบรวม ประมวล และวิเคราะห์ผลที่ได้รับ โดยสามารถนำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างชุดตรวจวัดสภาพอากาศ ที่มีการติดต่อสื่อสารกันด้วยโทโพโลยีรูปแบบดาว กล่าวคือ ชุดตรวจวัดสภาพอากาศหลายชุด ส่งค่าที่ได้มาแสดงและประมวลผล ณ สถานีรับเดียวกัน

สำหรับการจัดทำดาวเทียมขนาดเล็กนั้น แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนฮาร์ดแวร์ ที่ประกอบด้วยส่วนโครงสร้างภายนอกที่มีกลไกการเปิดออก เมื่อถึงระยะความสูงที่กำหนด ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ ขณะที่ปล่อยดาวเทียมขนาดเล็กจากพาหนะนำร่อง มีการออกแบบและจัดทำร่มชูชีพ เพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ตกลงสู่พื้นดิน และส่วนโครงสร้างภายใน ซึ่งเป็นส่วนที่บรรจุอุปกรณ์ของระบบย่อยเซนเซอร์ และอุปกรณ์สื่อสารไร้สายระยะไกลที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ได้ไปแสดงผลยังสถานีรับภาคพื้นดิน รวมถึงบรรจุแหล่งจ่ายพลังงานของระบบทั้งหมด และมีการจัดทำใบพัดเพื่อในการควบคุมความเร็ว สำหรับส่วนซอฟต์แวร์นั้น เป็นการโปรแกรมคำสั่งให้อุปกรณ์ที่จัดทำขึ้นทั้งหมด ให้ทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ และสามารถปฏิบัติการกิจตามที่กำหนดไว้ได้

ผลที่ได้จากการทดสอบการทำงานของดาวเทียมขนาดเล็กที่จัดทำขึ้นนั้น พบว่า โครงสร้างโดยรวมที่จัดทำขึ้น มีน้ำหนักรวมทั้งหมด 550 กรัม และกลไกที่ควบคุมเปิดออกของพื้นที่ด้านข้างของโครงสร้างภายนอกนั้น สามารถทำงานได้จริงตามระยะที่กำหนด ร่มชูชีพและใบพัดที่ออกแบบเพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วขณะตกลงสู่พื้นดิน สามารถควบคุมความเร็วให้อยู่ในช่วงตามที่กำหนดได้ เซนเซอร์ทั้งหมดสามารถวัดค่า และทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบได้ สำหรับผลที่ได้จากระบบย่อยการสื่อสารข้อมูล ในส่วนการส่งและรับข้อมูลจากเซนเซอร์ต่างๆ ผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายระยะไกล พบว่า เมื่อทำการทดลองปล่อยดาวเทียมขนาดเล็ก ให้ส่งสัญญาณจากชั้น 12 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ มายังสถานีภาคพื้นดิน ระบบสามารถทำงานได้จริง สามารถส่งค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ มาแสดงผลยังหน้าจอ และบันทึกค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลที่สถานีรับได้ โดยจะทำการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลทุกๆ 1 วินาที แพ็คเก็ตข้อมูลที่ทำการส่ง ประกอบไปด้วย หมายเลขประจำกลุ่ม, เวลาที่ระบบทำงานมาแล้ว, ลำดับแพ็คเก็ตที่ทำการส่ง, ค่าความสูงจาก

ระดับพื้นดิน, ค่าความดันอากาศ, ค่าอุณหภูมิ, วันที่และเวลา, ค่าตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์, ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง, จำนวนดาวเทียมที่ GPS สามารถรับค่าได้, ค่ามุม Pitch, ค่ามุม Roll และค่าความเร็วรอบการหมุนของใบพัดในหน่วยรอบต่อนาที และจากการทดลองพบว่า โมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz สามารถส่งและรับค่าข้อมูลได้ ระยะทางสูงสุด 450 เมตร ตามแนวราบ

สำหรับการจัดทำชุดตรวจวัดสภาพอากาศ ที่มีการติดต่อสื่อสารกันด้วยโทโพโลยีรูปแบบดาวนั้น จัดทำขึ้นทั้งหมด 3 ชุด แบบเดียวกันทั้งหมด โดยภายในอุปกรณ์ชุดตรวจวัดสภาพอากาศนี้ มีการติดตั้งเซนเซอร์วัดความดันอากาศที่วัดได้ในหน่วยเฮกโตปาสกาล (hPa) ค่าอุณหภูมิที่เซนเซอร์ทำการวัดได้ในหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) ค่าดัชนีความร้อนแท้จริงสืบเนื่องมาจากผลของความชื้นในหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) และค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ตามลำดับ โดยเลือกใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดสภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการทำดาวเทียมขนาดเล็กในส่วนแรก เพื่อให้ผลการวัดสภาพอากาศที่ได้ในบริเวณนั้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถเทียบเคียงได้กับอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดสภาพอากาศจริงในปัจจุบัน ทำการส่งข้อมูลที่วัดค่าได้ไปยังสถานีรับ 1 สถานีเดียวกัน โดยสถานีนี้รับค่าข้อมูลจากชุดตรวจวัดสภาพอากาศลูกข่ายรอบข้างทั้งหมด เรียกรูปแบบการสื่อสารนี้ว่า โทโพโลยีรูปแบบดาว โดยจัดทำขึ้นเพื่อช่วยลดจำนวนและค่าใช้จ่ายของการสร้างสถานีรับภาคพื้นดิน รวมไปถึงเป็นการรวบรวมข้อมูลจากชุดลูกข่ายอื่นๆ ในบริเวณข้างเคียงทั้งหมดให้อยู่ในข้อมูลชุดเดียว เป็นการยืนยันความถูกต้องของค่าข้อมูลที่วัดได้ และเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว เพื่อใช้ในงานด้านอื่นๆ ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการเพิ่มกำลังขยายของสายอากาศให้กับอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz หรือใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย Xbee รุ่นอื่นที่มีประสิทธิภาพในการส่งได้ระยะทางไกลกว่า เพื่อให้สามารถส่ง และรับข้อมูลให้มีระยะทางมากขึ้น
2. ควรทำการลดน้ำหนักของดาวเทียมขนาดเล็กให้มีค่าน้อยลง เพื่อให้ความเร็วในการตกลงสู่พื้นดิน มีค่าน้อยลง ส่งผลให้สามารถลดความเสียหายของอุปกรณ์ที่เกิดจากการตกกระแทกพื้นดินได้
3. เนื่องจากการใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย Xbee ความถี่ 2.4 GHz นั้น อาจได้รับผลกระทบจากการรบกวนกันของสัญญาณอื่นในช่วงความถี่เดียวกันนี้ เช่น ความถี่ WIFI ได้ รวมไปถึงมีความสามารถในการทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้น้อย ซึ่งอาจทำให้เกิดการขาดหายของข้อมูลได้ จึงอาจทำการเปลี่ยนความถี่ในการสื่อสาร เป็นความถี่ 433 MHz หรือ 900 MHz ได้

บรรณานุกรม

- [1] Beng Paritat. “CanSat คืออะไร.”
<https://www.nstda.or.th/jaxa-thailand/what-is-cansat/>.
- [2] CanSat Competition. “Introduction.”
<http://www.cansatcompetition.com/index.html>.
- [3] CanSat Competition. “Mission.”
<http://cansatcompetition.com/mission.html>.
- [4] CanSat Competition. “Mission Guide.”
http://www.cansatcompetition.com/docs/CanSat_Mission_Guide_2019.pdf.
- [5] John London. “Types of Parachutes.”
<http://ourpastimes.com/types-parachutes-8231828.html>.
- [6] University Space Engineering Consortium – Japan (UNISEC). “Can Satellite (CanSat) Design Manual.” Ver. 1.0 Japan : University Space Engineering Consortium, 2011
- [7] บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด. “ตัวอย่างการควบคุม RC Servo Motor ด้วย Arduino.”
<https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/บทความตัวอย่างการควบคุม-rc-servo-motor-ด้วย-arduino.html>.
- [8] บริษัท ไอเดีย เมคเกอร์ เทคโนโลยี จำกัด. “เครื่องพิมพ์ 3 มิติ 3d printer ปรี้นโมเดลมือ.”
<https://www.108cnc.com/ปรี้นโมเดลมือต้นแบบ-3-มิติ.html>.
- [9] MORITA SPRING (THAILAND) CO., LTD. “Product Introduction.”
<https://morita-spring.co.th/th/product.php>.
- [10] Tanabodin Kamol. “การสื่อสารรูปแบบ I²C.”
<https://medium.com/icreativesystems/i²c-คืออะไร-ทำไมชื่อไม่คุ้นเลย-b79b9c18aaa6>.
- [11] Chaiyaporn Silawatchananai. “การใช้งานพอร์ตสื่อสาร UART.”
<http://aimagin.com/blog/การใช้งานพอร์ตสื่อสาร-uart/?lang=th>.
- [12] บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด. “XBee Learning Practice with XBee Series 2 Starter Kit.”
<https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/embedded-electronics-application/learning-xbee-with-xbee-series-2-starter-kit.html>.
- [13] Bosch Sensortec. “BMP180 datasheet.”
<https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Bosch/BMP180.pdf>.
- [14] U-blox. “GPS GY-NEO6MV2 datasheet.”
https://www.u-blox.com/en/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf.

- [15] Analog Devices. “ADXL 345 Datasheet.”
<https://www.analog.com/media/en/technical.../data-sheets/adxl345.pdf>.
- [16] MICROTRONIC. “ROLL, PITCH, YAW.”
<https://microtroniclifestyle.blogspot.com/2017/04/roll-pitch-yaw.html>.
- [17] Rajguru Electronics. “LM393 datasheet.”
www.rajguruelectronics.com/Lm393_Motor_Speed_Measuring_Sensor_Module_For_Arduino.pdf.
- [18] E.K.T Electronics Katrangi Trading. “DC Voltage Sensor Module datasheet.”
http://www.ekt2.com/412_ARDUINO_SENSOR_VOLTAGE_DETECTOR.pdf.
- [19] Arduino codemobiles. “พื้นฐานการสื่อสารด้วยโมดูล Xbee.”
<http://www.arduino.codemobiles.com/article/15/พื้นฐานการสื่อสารด้วยโมดูล-xbee-part3-communication>.
- [20] rhydoLABZ. “Tiny RTC Module Compatible with Arduino - I2C.”
https://www.rhydolabz.com/miscellaneous-miscellaneous-c-205_82/tiny-rtc-module-compatible-with-arduino-i2c-24c32-ds1307-p-2195.html.
- [21] Hobby Components Limited. “MICROSD CARD ADAPTER WITH LEVEL SHIFTERS.”
<https://hobbycomponents.com/adapters/578-microsd-card-adapter-with-level-shifters>.
- [22] IndiaMART InterMESH Ltd. “HYDZ Piezo Buzzer.”
<https://www.indiamart.com/proddetail/hydz-piezo-buzzer-19502775991.html>.
- [23] Aosong Electronics Co.,Ltd. “Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302).”
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>.
- [24] SparkFun Electronics. “Dust sensor GP2Y1010AU0F.”
https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/gp2y1010au_e.pdf.
- [25] Arduino. “Getting Started with Arduino and Genuino products.”
<https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>.
- [26] libelium. “XBee X-CTU tutorial.”
<http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/x-ctu-tutorial/>.
- [27] Ginkgo LLC. “Development Tool for ZigBee & XBee Mesh Network.”
<http://www.zigbeeoperator.com/>.
- [28] Nattawat. “Tinkercad โปรแกรมออกแบบที่ใช้งานสำหรับ เครื่องพิมพ์ 3D Printer.”
<https://www.siamreprint.com/2015/12/using-tinkercad-program-for-3d-printer/>.

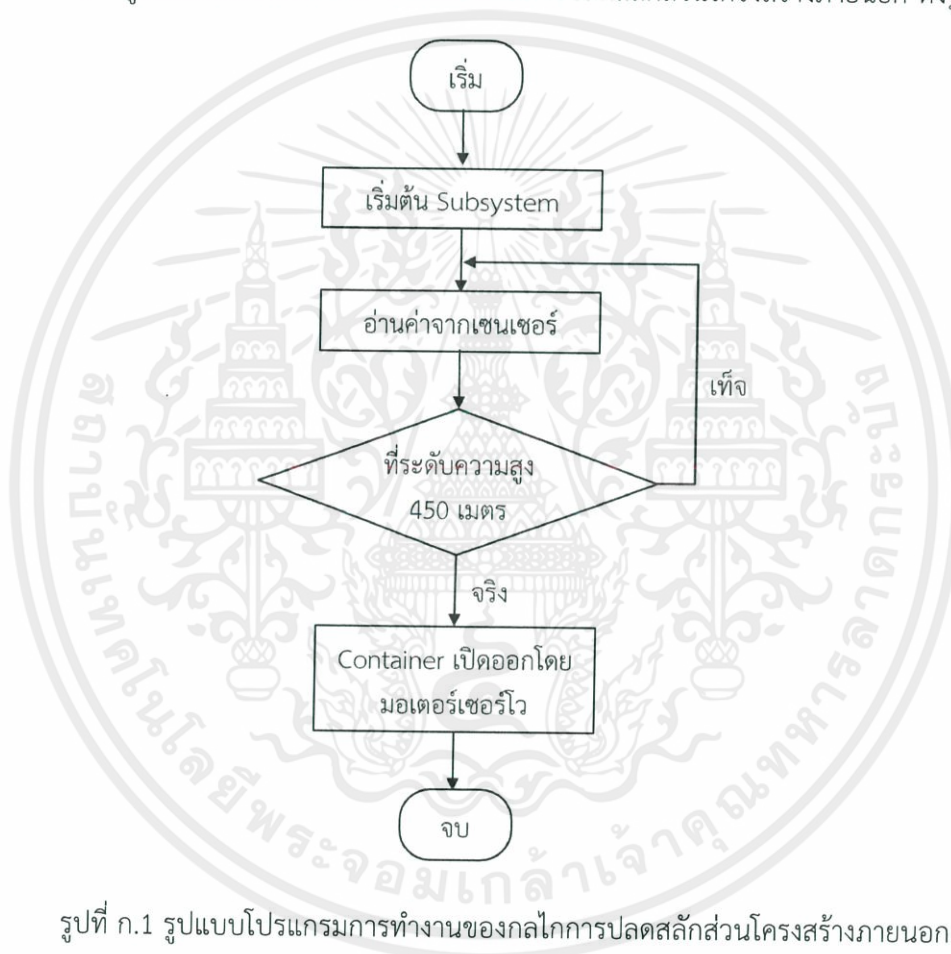


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทำงานของส่วนโครงสร้างภายนอกที่ถูกเปิดออกด้วยมอเตอร์เซอร์โว ณ ระยะเวลาที่กำหนด

1.1 รูปแบบโปรแกรมการทำงานของกลไกการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอก

ในการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอกนั้น กลไกจะทำงานก็ต่อเมื่อค่าความสูงที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ GY-68 BMP180 มีค่า 450 เมตร เมื่อถึงระยะที่กำหนด มอเตอร์เซอร์โวที่ได้ทำการโปรแกรมไว้จะทำการหมุนเพื่อเก็บเชือก ส่งผลให้ด้านข้างของส่วนโครงสร้างภายนอกถูกเปิดออกได้ แสดงรูปแบบโปรแกรมการทำงานของกลไกการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอก ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 รูปแบบโปรแกรมการทำงานของกลไกการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอก

จากรูปที่ ก.1 แสดงรูปแบบโปรแกรมการทำงานของกลไกการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอกส่งผลให้พื้นที่ด้านข้างถูกเปิดออก โดยจะได้ว่าในช่วงระยะความสูงเริ่มต้น ไม่มีการทำงานของมอเตอร์เซอร์โว แต่เมื่อค่าความสูงที่ได้จากการคำนวณค่าความดันและอุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์วัดความดันอากาศ มีค่าตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด คือ 450 เมตร คอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งการให้มอเตอร์เซอร์โวเริ่มทำงานโดยจะหมุนไปทางขวา 360 องศา ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ทำให้ส่วนโครงสร้างภายนอกที่ทำการผูกติดอยู่กับเชือกที่ติดกับแขนมอเตอร์เซอร์โวนั้นถูกทำให้เปิดออกได้

1.2 โค้ดคำสั่งการทำงานของกลไกการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอก

ในการโปรแกรมคำสั่งให้อุปกรณ์ทั้งหมดในระบบที่ทำการเชื่อมต่อกัน ให้ทำงานร่วมกันตามต้องการ กล่าวคือให้กลไกการปลดสลักส่วนโครงสร้างภายนอกทำงานได้นั้น จะใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโค้ดคำสั่งดังกล่าว โดยโค้ดคำสั่งการทำงานของส่วนโครงสร้างภายนอกที่ถูกเปิดออกด้วยมอเตอร์เซอร์โว ณ ระยะเวลาที่กำหนด แสดงได้ดังนี้

```
#include <SPI.h> // นำเข้า SPI library เพื่อใช้งาน
#include <Wire.h> // นำเข้า Wire library เพื่อใช้งาน
#include <SoftwareSerial.h> // นำเข้า SoftwareSerial library เพื่อใช้งาน
#include <Adafruit_BMP085.h> // นำเข้า Adafruit_BMP085 library
#include <Servo.h> // นำเข้า Servo library เพื่อใช้งาน
Servo myservo; // เรียกใช้ Library Servo และกำหนดตัวแปร myservo

Adafruit_BMP085 bmp; // เรียกใช้ Library Adafruit_BMP085 และกำหนดตัวแปร bmp

float pressure = 0.0; // กำหนดตัวแปร pressure = 0.0
float tempC = 0.0; // กำหนดตัวแปร tempC = 0.0
float altitude = 0.0; // กำหนดตัวแปร altitude = 0.0
float temperature = 0.0; // กำหนดตัวแปร temperature = 0.0
float H; // เก็บค่าความสูงที่แท้จริงในตัวแปร H
float groundAltitude; // เก็บค่าความสูงเริ่มต้นใน groundAltitude
float groundTemp; // เก็บค่าอุณหภูมิเริ่มต้นใน groundTemp
float lastAltitude; // เก็บค่าความสูงในขณะนั้นใน lastAltitude
float apogeeTemp; // เก็บค่าอุณหภูมิขณะนั้นใน apogeeTemp
void BmpSensorRead(float* pressure, float* tempC, float* altitude, float* lastAltitude, float* groundTemp, float* groundAltitude, float* apogeeTemp); // ฟังก์ชันการอ่านค่าของเซนเซอร์ BMP180 เพื่อเก็บค่าความดันอากาศ อุณหภูมิ และ ความสูงที่จุดต่างๆ

void setup()
{ Serial.begin(9600); // กำหนด Baud Rate 9600
  if (!bmp.begin()) // เริ่มการทำงานของเซนเซอร์ BMP180
  { Serial.println("BMP085 sensor, ERROR!"); // ถ้าเซนเซอร์ไม่ทำงานแสดงคำว่า ERROR!
  while(1); }
  groundAltitude = bmp.readAltitude(); // อ่านค่าความสูงเริ่มต้น
  myservo.attach(9); // เชื่อมต่อขา servo เข้ากับขา D9
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

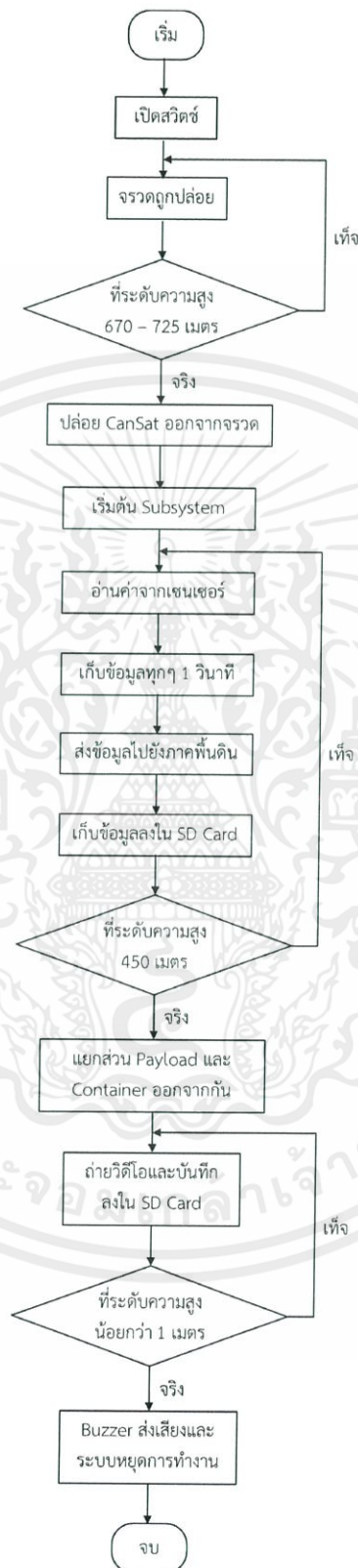
void loop()
{ BmpSensorRead(&pressure, &temperature, &altitude);
// ใช้ฟังก์ชัน BmpSensorRead อ่านค่าความ
// ดันอากาศ อุณหภูมิ ความสูง
    lastAltitude = altitude; // ดึงค่าความสูงในขณะนั้นมาเก็บไว้
    float H = lastAltitude-groundAltitude ; // ความสูงในขณะนั้น - ความสูงเริ่มต้น =
// ความสูงที่แท้จริง
    float P = bmp.readPressure()/100; // ดึงค่าความดันอากาศมาเก็บในหน่วย hPa
    Serial.println(H,2); // แสดงค่าความสูงที่แท้จริง Serial monitor
    if (H <= 450 ) // ปล่อยลงมาที่ความสูงน้อยกว่าหรือเท่ากับ
// 450 เมตรจากพื้นดินให้ทำงานในลูป
    { myservo.write(360); // มอเตอร์เซอร์โวหัน 360 องศา
    delay(4000); // หน่วงเวลา 4 s
    myservo.detach(); // หยุดมอเตอร์เซอร์โว
    delay(500); } // หน่วงเวลา 500 ms
void BmpSensorRead(float* pressure, float* tempC, float* altitude )
// ฟังก์ชันอ่านค่าจากเซนเซอร์ BMP180
{ *tempC = bmp.readTemperature(); // เก็บค่าอุณหภูมิใน *tempC
*pressure = bmp.readPressure() / 100.0; // เก็บค่าความดันใน *pressure
*altitude = bmp.readAltitude(); // เก็บค่าความสูงใน *altitude
}

```

2. การทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์และการสื่อสารข้อมูลของส่วนโครงสร้างภายใน

2.1 รูปแบบโปรแกรมการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์และการสื่อสารข้อมูลของส่วนโครงสร้างภายใน

สำหรับส่วนโครงสร้างภายใน ทำการติดตั้งเซนเซอร์เพื่อทำการวัดค่าที่ต้องการ ในส่วนซอฟต์แวร์ ได้ทำการโปรแกรมคำสั่งให้เก็บค่าต่างๆ โดยทำการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเป็น 1 แพคเกจส่งมาแสดงผล ณ ภาคพื้นดินทุกๆ 1 วินาที ขณะที่ดาวเทียมขนาดเล็กตกลงสู่พื้นดินถึงระยะความสูงจากพื้นดิน 0 – 1 เมตร ระบบทั้งหมดจะหยุดทำงาน และมีการแจ้งเตือนด้วยเสียงจากอุปกรณ์ Buzzer สามารถแสดงรูปแบบโปรแกรมการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์ และระบบย่อยการสื่อสารข้อมูลสำหรับส่วนโครงสร้างภายในได้ ดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 รูปแบบโปรแกรมการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์ และการสื่อสารข้อมูล
ของส่วนโครงสร้างภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โค้ดคำสั่งการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์ และการสื่อสารข้อมูลของส่วนโครงสร้างภายใน

ในการโปรแกรมคำสั่งให้ระบบทั้งหมดทำงานร่วมกัน จะใช้โปรแกรม Arduino IDE โดยโค้ดคำสั่งการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์และการสื่อสารข้อมูลในส่วนโครงสร้างภายใน แสดงได้ดังนี้

```
#include <SPI.h> // นำเข้า SPI library เพื่อใช้งาน
#include <Wire.h> // นำเข้า Wire library เพื่อใช้งาน
#include <TinyGPS++.h> // นำเข้า TinyGPS library เพื่อใช้งาน
#include <SoftwareSerial.h> // นำเข้า SoftwareSerial library เพื่อใช้งาน
#include <Adafruit_BMP085.h> // นำเข้า Adafruit_BMP085 library
#include <Adafruit_Sensor.h> // นำเข้า Adafruit_Sensor library
#include <Adafruit_ADXL345_U.h> // นำเข้า Adafruit_ADXL345_U library
#include <Adafruit_LSM303_U.h> // นำเข้า Adafruit_LSM303_U library
#include <Servo.h> // นำเข้า Servo library เพื่อใช้งาน
#include "SdFat.h" // นำเข้า SdFat library เพื่อใช้งาน
SdFat SD; // เรียกใช้ library SdFat ไปกับการกำหนดตัวแปร SD

String teamID = "ID3451"; // กำหนด teamID = ID3451 เป็น String
int spin ; // กำหนดตัวแปร spin เป็นชนิด int
float pressure = 0.0; // กำหนดตัวแปร pressure = 0.0 เพื่อเก็บค่าความดันอากาศ
float tempC = 0.0; // กำหนดตัวแปร tempC = 0.0 เพื่อเก็บค่าอุณหภูมิล่าสุด
float altitude = 0.0; // กำหนดตัวแปร altitude = 0.0 เพื่อเก็บค่าความสูง
float temperature = 0.0; // กำหนดตัวแปร temperature = 0.0 เพื่อเก็บค่าอุณหภูมิ
float H; // กำหนดตัวแปร H เพื่อเก็บค่าความสูงจริง
float groundAltitude; // กำหนดตัวแปร groundAltitude เพื่อเก็บค่าความสูงอ้างอิง
float groundTemp; // กำหนดตัวแปร groundTemp เพื่อเก็บค่าอุณหภูมิเริ่มต้น
float lastAltitude; // กำหนดตัวแปร lastAltitude เพื่อเก็บค่าความสูงล่าสุด
float apogeeTemp; // กำหนดตัวแปร apogeeTemp เพื่อเก็บค่าอุณหภูมิ
int buzzer = 8; // กำหนดตัวแปร buzzer = 8 เพื่อให้ Buzzer ทำงาน
void BmpSensorRead(float* pressure, float* tempC, float* altitude, float* lastAltitude,
float* groundTemp, float* groundAltitude, float* apogeeTemp);
// ฟังก์ชันการอ่านค่าของเซนเซอร์ BMP180 เพื่อเก็บค่าความดัน
// อากาศ อุณหภูมิที่จุดต่างๆ และความสูงที่จุดต่างๆ
/*****RTC SENSOR*****/
#define DS3231_I2C_ADDRESS 0x68 // กำหนด I2C Address ของ DS3231
int c = 0; // กำหนดตัวแปร c = 0 เป็นชนิด int
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int pack=0; // กำหนดตัวแปร pack = 0 เป็นชนิด int
byte decToBcd(byte val) // ฟังก์ชันเปลี่ยนเลขฐานสิบเป็นเลข BCD
// ใช้ฟังก์ชันเปลี่ยนเลขฐานสิบเป็นเลข BCD
// แล้วเก็บไว้ในตัวแปร val
{
    return( (val/10*16) + (val%10) ); // นำค่า val ที่ได้มาทำตามสมการที่กำหนด
}

byte bcdToDec(byte val) // ฟังก์ชันเปลี่ยนเลข BCD เป็นเลขฐานสิบ
// ใช้ฟังก์ชันเปลี่ยนเลข BCD เป็นเลขฐานสิบ
// แล้วเก็บไว้ในตัวแปร val
{
    return( (val/16*10) + (val%16) ); // นำค่า val ที่ได้มาทำตามสมการที่กำหนด
}

/***** gps *****/
static const uint32_t GPSBaud = 9600; // เริ่มต้นการใช้งาน GPS โดยการกำหนด
Baud rate
TinyGPSPlus gps; // เรียกใช้ TinyGPSPlus พร้อมกำหนดตัว
แปร gps
SoftwareSerial ss(3,4); // กำหนดขา input และขา output
/*****BMP180*****/
Adafruit_BMP085 bmp; // เรียกใช้ Adafruit_BMP085 พร้อมกำหนด
ตัวแปร bmp

/***** spin rate *****/
int encoder_pin = 2; // กำหนดขา output ของโมดูลวัดรอบใบพัด
unsigned int rpm; // กำหนดตัวแปร rpm เพื่ออ่านค่า rpm
volatile byte pulses; // กำหนดตัวแปร pulses เพื่อเก็บจำนวน
พัลส์

unsigned long timeold; // กำหนดตัวแปร timeold เพื่อเก็บค่าเวลา
unsigned int pulsesperturn = 12; // กำหนดให้พัลส์ต่อรอบเท่ากับ 12
void counter()
{ pulses++; } // update การนับพัลส์
/*****ADXL345*****/
Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(12345);
// เรียกใช้ Adafruit_ADXL345_Unified
เพื่ออ่านค่าความเร่งสามแกนเก็บในตัวแปร
accel

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****SD Card*****/
File myFile; // กำหนดชื่อไฟล์ใน SD card เป็น myFile
void setup()
{
  Wire.begin(); // ใช้งาน Wire library
  Serial.begin(9600); // กำหนด Baud rate = 9600
  setDS3231time(0); // ตั้งค่าเวลาให้ RTC เป็น 0
  pinMode(buzzer, OUTPUT); // กำหนดขา buzzer
  delay(100); // หน่วงเวลา 100 ms
  if(!bmp.begin()) // เริ่มต้นการทำงาน BMP180
  {
    while(1);
  }
  groundAltitude = bmp.readAltitude(); // อ่านค่าความสูงเริ่มต้นเก็บไว้ในตัวแปร
  groundAltitude
  groundTemp = bmp.readTemperature(); // อ่านค่าอุณหภูมิเริ่มต้นเก็บไว้ในตัวแปร
  groundTemp
/***** spin rate *****/
{ pinMode(encoder_pin, INPUT); // กำหนดขา encoder_pin เป็น input
  attachInterrupt(0, counter, FALLING); // interrupt 0 ที่ขาดีจิท 2 และทริกเกอร์ที่
  ขอบขาลงของสัญญาณ
  // กำหนดค่าเริ่มต้นของแต่ละตัวแปร

  pulses = 0;
  rpm = 0;
  timeold = 0; }
  if (Iaccal.begin()) // เริ่มต้นการทำงานของเซนเซอร์วัดความเร่งสามแกน
  {
    Serial.println("Could not find a valid ADXL345 sensor, check wiring!");
    delay(100);
  }
  accel.setRange(ADXL345_RANGE_16_G); // กำหนดช่วงการวัดค่าช่วง +/- 16G

  accel.setDataRate(ADXL345_DATARATE_25_HZ); // อัตราข้อมูล 25 Hz
  if (!ISD.begin(4)) // เริ่มต้นการทำงานของโมดูล SD card
  {
    Serial.println("initialization failed!");
  }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    delay(100);
}
void getAltitude() // ฟังก์ชันการอ่านค่าจาก BMP180
{
    altitude = bmp.readAltitude(); // อ่านค่าความสูงเก็บไว้ในตัวแปร altitude
}
void loop()
{
    BmpSensorRead(&pressure, &temperature, &altitude); // ใช้ฟังก์ชัน BmpSensorRead
    // อ่านค่าความดันอากาศ อุณหภูมิ
    // ความสูง

    /***** spin rate *****/
    if (millis() - timeold >= 1000) {
        detachInterrupt(0);
        rpm = (60 * 1000 / pulsesperturn) / (millis() - timeold) * pulses; // คำนวณค่า rpm
        timeold = millis();
        pulses = 0;
        attachInterrupt(0, counter, FALLING); // เริ่มต้นการ interrupt ใหม่
    }

    /***** bmp180 *****/
    lastAltitude = altitude; // กำหนดค่าความสูงล่าสุดจาก altitude
    apogeeTemp = bmp.readTemperature(); // อ่านค่าอุณหภูมิเก็บไว้ใน apogeeTemp
    float H = lastAltitude-groundAltitude; // คิดค่าความสูงจริงจากความสูงล่าสุดลบ
    // ความสูงเริ่มต้นเก็บไว้ในตัวแปร H หน่วย m
    float P = bmp.readPressure()/100; // อ่านค่าความดันอากาศเก็บไว้ในตัวแปร P
    // หน่วย hPa

    delay(100); // หน่วงเวลา 100 ms

    /***** buzzer *****/
    if (H<=1) // กำหนดให้ buzzer ทำงานที่ความสูงไม่เกิน 1 เมตรจากพื้นดิน
    { tone(buzzer, 1000); // กำหนดความถี่เสียง 1 kHz
      delay(100); // หน่วงเวลา 100 ms
      noTone(buzzer); // เจียบเสียง buzzer
      delay(100); } // หน่วงเวลา 100 ms

    sensors_event_t event;
    accel.getEvent(&event); // ใช้ค่าความเร่งสามแกนจากตัวแปร accel

```

```

int x = event.acceleration.x;           // เก็บค่าความเร่งแกน x ในตัวแปร x
int y = event.acceleration.y;         // เก็บค่าความเร่งแกน y ในตัวแปร y
int z = event.acceleration.z;         // เก็บค่าความเร่งแกน z ในตัวแปร z
                                        // คำนวณค่า Pitch และ Roll

float pitch = -(atan2(x, sqrt(y*y + z*z))*180.0)/M_PI; // คำนวณค่ามุม pitch จากสูตร
float roll = (atan2(y, z)*180.0)/M_PI; // คำนวณค่ามุม roll จากสูตร
delay(100); // หน่วงเวลา 100 ms
/***** GPS *****/
int sat = gps.satellites.value(); // อ่านค่าดาวเทียมที่จับได้ เก็บไว้ใน sat
smartDelay(50); // smart delay 50 ms
int m = gps.date.month(); // อ่านค่าเดือนจากโมดูล GPS เก็บไว้ใน m
int d = gps.date.day(); // อ่านค่าวันที่จากโมดูล GPS เก็บไว้ใน d
int yy = gps.date.year(); // อ่านค่าปีค.ศ.จากโมดูล GPS เก็บไว้ใน yy
smartDelay(50); // smart delay 50 ms
int h = gps.time.hour(); // อ่านค่าชั่วโมงจากโมดูล GPS เก็บไว้ใน h
smartDelay(50); // smart delay 50 ms
int mi = gps.time.minute(); // อ่านค่านาทีจากโมดูล GPS เก็บไว้ใน mi
smartDelay(50); // smart delay 50 ms
int sec = gps.time.second(); // อ่านค่าวินาทีจากโมดูล GPS เก็บไว้ใน sec
smartDelay(50); // smart delay 50 ms
float gps_lat = gps.location.lat(); // อ่านค่าละติจูดจาก GPS เก็บไว้ใน gps_lat
smartDelay(50); // smart delay 50 ms
float gps_lng = gps.location.lng(); // อ่านค่าลองจิจูดจาก GPS เก็บไว้ใน gps_lng
smartDelay(50); // smart delay 50 ms
float gps_alti = gps.altitude.meters(); // อ่านค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลจากโมดูล
GPS เก็บไว้ใน gps_alti
smartDelay(50); // smart delay 50 ms
/***** Voltage *****/
int offset =20; // กำหนดตัวแปร offset = 20
int volt = analogRead(A0); // อ่านค่าแรงดันไฟฟ้า
double voltage = map(volt,0,1023, 0, 2500) + offset; // map ค่า 0-1023 ไปเป็น 0-2500 แล้วบวก
ค่า offset
voltage /=100; // เก็บค่าในหน่วย decimal
/***** RTC *****/
byte second; // กำหนดตัวแปร second

```

```

readDS3231time(&second);           //รับข้อมูลวินาที
int Ta= second ;
if (c>=1||Ta==59)                  //การทให้นับต่อไปเรื่อยๆ
{ Ta=60+c-1;
  c++;
  delay(180); }                    // หน่วงเวลา 180 ms
delay(200);                         // หน่วงเวลา 200 ms
/*****Data Packet*****/
{                                     // ให้แสดงข้อความใน Serial monitor
  Serial.print("<");
  Serial.print(teamID);
  Serial.print(">,<");
  Serial.print(Ta);
  Serial.print(">,<");
  Serial.print(No);
  Serial.print(">,<");
  Serial.print(H,2);
  Serial.print(" m");
  Serial.print(">,<");
  Serial.print(P,2);
  Serial.print(" hPa");
  Serial.print(">,<");
  Serial.print(groundTemp,2);
  Serial.print(" C");
  Serial.print(">,<");
  Serial.print(voltage);
  Serial.print("V");
  Serial.print(">,<");
  Serial.print(d);
  Serial.print(".");
  Serial.print(m);
  Serial.print(".");
  Serial.print(yy);
  Serial.print(">,<");
  Serial.print(h+7);
  Serial.print(".");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print(mi);
Serial.print(":");
Serial.print(sec);
Serial.print(">,<");
Serial.print(gps_lat,6);
Serial.print(">,<");
Serial.print(gps_lng,6);
Serial.print(">,<");
Serial.print(gps_alti);
Serial.print("m");
Serial.print(">,<");
Serial.print(sat);
Serial.print(">,<");
Serial.print(pitch);
Serial.print(">,<");
Serial.print(roll);
Serial.print(">,<");
Serial.print(rpm,DEC);
Serial.print("rpm");
Serial.print(">");
Serial.println("");
myFile = SD.open("Project.txt", FILE_WRITE); // ให้เก็บค่าต่างๆในไฟล์ myFile ใน SD card
myFile.print("<"); myFile.print(teamID); myFile.print(">,<"); myFile.print(Ta);
myFile.print(">,<"); myFile.print(No); myFile.print(">,<"); myFile.print(H,2);
myFile.print("m"); myFile.print(">,<"); myFile.print(P,2); myFile.print("hPa");
myFile.print(">,<"); myFile.print(groundTemp,2); myFile.print(" C"); myFile.print(">,<");
myFile.print(voltage); myFile.print("V"); myFile.print(">,<"); myFile.print(d);
myFile.print(":"); myFile.print(m); myFile.print(":"); myFile.print(yy); myFile.print(">,<");
myFile.print(h+7); myFile.print(":"); myFile.print(mi); myFile.print(":"); myFile.print(sec);
myFile.print(">,<"); myFile.print(gps_lat,6); myFile.print(">,<"); myFile.print(gps_lng,6);
myFile.print(">,<"); myFile.print(gps_alti); myFile.print("m");
myFile.print(">,<"); myFile.print(sat); myFile.print(">,<"); myFile.print(pitch);
myFile.print(">,<"); myFile.print(roll); myFile.print(">,<"); myFile.print(rpm,DEC);
myFile.print("rpm"); myFile.println(">"); myFile.close();
No++; // เพิ่มการนับแพคเก็ต
delay(100); } // หน่วงเวลา 100 มิลลิวินาที

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void BmpSensorRead(float* pressure, float* tempC, float* altitude )
// ฟังก์ชันอ่านค่าจากเซนเซอร์ BMP180

{
*tempC = bmp.readTemperature(); // อ่านค่าอุณหภูมิหน่วยองศาเซลเซียส
*pressure = bmp.readPressure() / 100.0; // อ่านค่าความดันอากาศหน่วย hPa
*altitude = bmp.readAltitude(); // อ่านค่าความสูงระดับน้ำทะเลหน่วยเมตร
}

/***** funtion *****/
static void smartDelay(unsigned long ms) // ฟังก์ชัน smartDelay เป็นการเข้ารหัสดี
// เลย์ของจีพีเอส

{
unsigned long start = millis();
do
{ while (ss.available())
gps.encode(ss.read());
}
while (millis() - start < ms);
}

void setDS3231time(byte second) //ฟังก์ชันเรียกค่า RTC
{
Wire.beginTransmission(DS3231_I2C_ADDRESS); //ตั้งเวลา RTC
Wire.write(0); // ตั้งค่า input เริ่มที่ second register
Wire.write(decToBcd(second)); // ตั้งค่าวินาที
Wire.endTransmission();
}

void readDS3231time(byte *second)
{
Wire.beginTransmission(DS3231_I2C_ADDRESS);
Wire.write(0); // ตั้งค่า DS3231 register ไปที่ 00h
Wire.endTransmission();
Wire.requestFrom(DS3231_I2C_ADDRESS, 7) // ต้องการข้อมูล 7 bytes จาก DS3231
// ที่เริ่มจาก register 00h

*second = bcdToDec(Wire.read() & 0x7f);
}

```

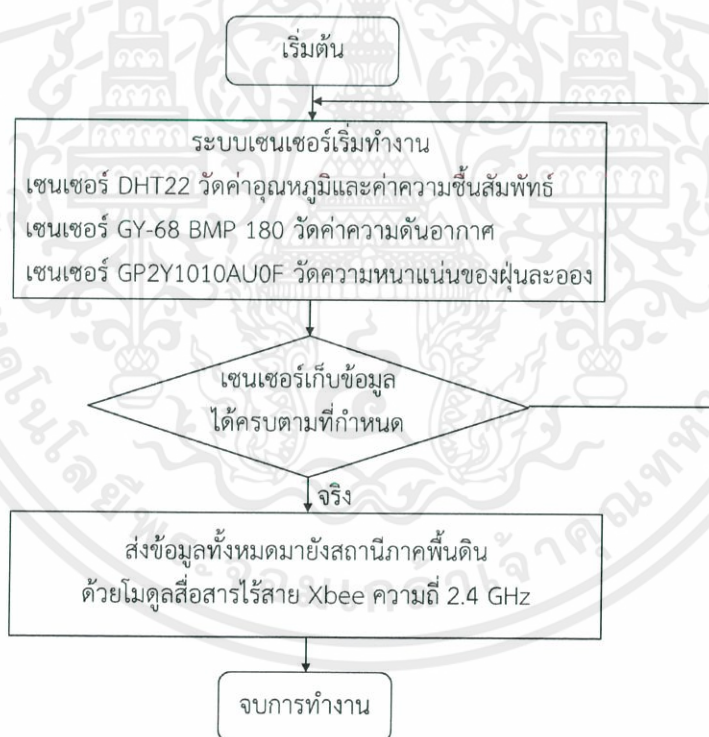


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์ และการสื่อสารข้อมูลของชุดตรวจวัดสภาพอากาศ

1.1 รูปแบบโปรแกรมการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์ และการสื่อสารข้อมูลของชุดตรวจวัดสภาพอากาศ

ภายในชุดตรวจวัดสภาพอากาศจะทำการติดตั้งเซนเซอร์ต่างๆ ได้แก่ เซนเซอร์ DHT22 สำหรับใช้ตรวจวัดอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ เซนเซอร์ GY-68 BMP 180 สำหรับวัดค่าความดันอากาศ เซนเซอร์ GP2Y1010AU0F สำหรับตรวจวัดความหนาแน่นของฝุ่นละออง หากเซนเซอร์ทั้งหมดสามารถทำงานได้ จะได้ค่าความดันอากาศที่วัดได้ในหน่วยเฮกโตปาสกาล (hPa) ค่าอุณหภูมิที่เซนเซอร์ทำการวัดได้ ในหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) ค่าดัชนีความร้อนแท้จริงสืบเนื่องมาจากผลของความชื้นในหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) และค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ตามลำดับ จากนั้นทำการส่งข้อมูลดังกล่าวมายังสถานีรับภาคพื้นดิน โดยรูปแบบโปรแกรมการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์ และการสื่อสารข้อมูลของชุดตรวจวัดสภาพอากาศ แสดงได้ ดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 รูปแบบโปรแกรมการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์ และการสื่อสารข้อมูลของชุดตรวจวัดสภาพอากาศ

1.2 โค้ดคำสั่งการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์และการสื่อสารข้อมูลของชุดตรวจวัดสภาพอากาศ

ในการโปรแกรมคำสั่งให้อุปกรณ์ทั้งหมดในระบบที่ทำการเชื่อมต่อกัน ให้ทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ จะใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโค้ดคำสั่งดังกล่าว โดยโค้ดโปรแกรมคำสั่งการทำงานของระบบย่อยเซนเซอร์และการสื่อสารข้อมูลของชุดตรวจวัดสภาพอากาศ แสดงได้ดังนี้

```
#include "cactus_io_DHT22.h"           // นำเข้า cactus_io_DHT22 library
#include <Wire.h>                       // นำเข้า Wire library เพื่อใช้งาน
#include <SoftwareSerial.h>            // นำเข้า SoftwareSerial library เพื่อใช้งาน
#include <Adafruit_BMP085.h>          // นำเข้า Adafruit_BMP085 library
#include <Adafruit_Sensor.h>         // นำเข้า Adafruit_Sensor library
/*****BMP180*****/
Adafruit_BMP085 bmp;                  // เรียกใช้ Library BMP085 และกำหนดตัวแปร bmp
/*****DHT22*****/
#define DHT22_PIN 2                   // กำหนดขา DHT22 = D2
String S = "";                         // กำหนดตัวแปร S
DHT22 dht(DHT22_PIN);                 // เชื่อมต่อขาของ DHT22 เข้ากับขา D2
/*****dust*****/
int measurePin = A0 ;                 // เชื่อมต่อขาเซนเซอร์วัดความหนาแน่นฝุ่นเข้ากับขา A0
int ledPower = 12;                    // เชื่อมต่อขา LED ของเซนเซอร์วัดความหนาแน่นฝุ่นเข้ากับขา D12
unsigned int samplingTime = 280;      // กำหนด samplingTime = 280 us
unsigned int deltaTime = 40;          // กำหนด deltaTime = 40 us
unsigned int sleepTime = 9680;        // กำหนด sleepTime = 9680 us
float voMeasured = 0;                 // กำหนด voMeasured = 0
float calcVoltage = 0;                // กำหนด calcVoltage = 0
float dustDensity = 0;                // กำหนด dustDensity = 0
void setup() {
/*****BMP180*****/
  Serial.begin(9600);                  // กำหนด Baud Rate = 9600
  bmp.begin();                         // เริ่มการทำงานของเซนเซอร์ BMP180
/*****DHT22*****/
  dht.begin();                         // เริ่มการทำงานของเซนเซอร์ DHT22
```

```

/*****Dust*****/
  pinMode(ledPower,OUTPUT);          // เริ่มการทำงานของเซนเซอร์วัดความ
                                     หนาแน่นฝุ่น
}
void loop() {
/*****DHT22*****/
  dht.readHumidity();                // คำสั่งอ่านค่าความชื้น
  dht.readTemperature();             // คำสั่งอ่านค่าอุณหภูมิ
  if (isnan(dht.humidity) || isnan(dht.temperature_C))
  {
    return;
  }
/*****Dust*****/
  digitalWrite(ledPower,LOW);        // ปิด LED
  delayMicroseconds(samplingTime);   // หน่วงเวลา 280 us
  voMeasured = analogRead(measurePin); // อ่านค่าฝุ่นที่ LED จับได้
  delayMicroseconds(deltaTime);      // หน่วงเวลา 40 us
  digitalWrite(ledPower,HIGH);       // เปิด LED เพื่ออ่านค่าฝุ่น
  delayMicroseconds(sleepTime);      // หน่วงเวลา 9680 us
  calcVoltage = voMeasured*(5.0/1024); // คำนวณ calcVoltage
  dustDensity = 0.17*calcVoltage-0.1; // คำนวณความหนาแน่นของฝุ่น
  if ( dustDensity < 0)
  {
    dustDensity = 0.00;
  }
  Serial.print("Pressure1 = ");      // แสดงค่าความดันอากาศ ในหน่วย hPa
  Serial.print(bmp.readPressure()/100);
  Serial.print(" hPa");
  Serial.print(",");
  Serial.print("Temp1 = ");          // แสดงค่าอุณหภูมิ ในหน่วยองศา C
  Serial.print(dht.temperature_C);
  Serial.print("°C");
  Serial.print(",");
  Serial.print("RH1 = ");            // แสดงค่าความชื้นในอากาศเป็นเปอร์เซ็นต์
  Serial.print(dht.humidity);
  Serial.print("%");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print(",");
Serial.print("Heat Index1 = ");           // แสดงค่าดัชนีความร้อน ในหน่วยองศา C
Serial.print(dht.computeHeatIndex_C());
Serial.print("°C");
Serial.print(",");
Serial.print("Dust Density1:");          // แสดงค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง ใน
                                          หน่วย ug/m3

Serial.print(dustDensity*1000);
Serial.println(" ug/m^3");
delay(60000);                             // หน่วงเวลา 60000 ms หรือ 1 นาที
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้