รถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด
QUADCOPTOR CAR

ฟ้าใส เผ่ากันทะ
อรสิรา เพชรรักษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

รถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด

QUADCOPTOR CAR

ฟ้าใส เผ่ากันทะ

อรสิรา เพชรรักษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

QUADCOPTOR CAR

FASAI PHAOKANTA

ORNSIRA PHETCHARAK

THE THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด

QUADCOPTOR CAR

ผู้จัดทำ นางสาวฟ้าใส เผ่ากันทะ 54010963

นางสาวอรสิรา เพชรรักษ์ 54011523

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริ้วรุจา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด

โดย

นางสาวฟ้าใส	เผ่ากันทะ	54010963
นางสาวอรสิรา	เพชรรักษ์	54011523

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย	ริ้วรุจา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร์	เชยโภคา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี	เพชรมณีล้ำค่า

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเสนอการออกแบบ และสร้างรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งบนพื้นดิน และบินได้ในอากาศ วัตถุประสงค์หลักในการทำโครงงานคือ ศึกษาหลักการทำงานต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด และสามารถสร้างเครื่องต้นแบบที่สามารถทำงานได้จริง ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจาก ออกแบบโครงสร้างของรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด ด้วยโปรแกรม SolidWorks และทำการขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงสร้างด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ จากนั้นทำการประกอบโครงสร้างทั้งหมด การควบคุมการเคลื่อนที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การควบคุมการเคลื่อนที่บนพื้นดินกับในอากาศ การเคลื่อนที่ในอากาศใช้บอร์ด MultiWii Flight Controller ซึ่งภายในบอร์ดจะมี Gyroscope และเซนเซอร์ต่างๆ ที่ใช้ตรวจวัดค่าต่างๆ เพื่อนำมาประมวลผลในการสั่งการทำงานของมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน ส่วนการเคลื่อนที่บนพื้นดินไม่ผ่านตัวคอนโทรลเลอร์ ใช้มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน ควบคู่กับชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ แบบ 2 ทาง ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งเดินหน้า-ถอยหลัง และใช้เซอร์โวมอเตอร์เพื่อควบคุมการเลี้ยวซ้าย-ขวา โดยการควบคุมการเคลื่อนที่นั้น ควบคุมผ่านรีโมทคอนโทรล ที่มีช่องรับสัญญาณ 6 ช่อง เพื่อให้เพียงพอต่อการควบคุมทั้งการวิ่ง และการบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUADCOPTOR CAR

By

Miss Fasai Phaokanta 54010963

Miss Ornsira Phetcharak 54011523

Advisors

Prof.Dr.Vanchai Riewruja

Asst.Prof.Thepjit Cheypoca

Asst.Prof.Dr.Wandee Petchmaneelumka

Academic Year 2015

ABSTRACT

This thesis presents design and implementation of quadcopter car that can run on the ground and fly into the air. The purpose of this thesis is to study the principle used to construct quadcopter car and be able to create machine prototype that can actually work. Procedure of operating starts from design of quadcopter car structure using SolidWorks program and craeation of all part by 3D printer. After that, all part is installed. Moving control parts have been separated in 2 methods according to pathway which are driving on the ground and flying into the air. In case of flying, Auduino program has been used to control MuitiWii Flight controller. Inside of the board of this controller consists of gyroscope and sensors to measure the resulls for control motors (brushless motor). In case of driving, brushless motor is used together with 2-way speed control in order to control forward-backward motion and servo motor is used in order to control right-left motion. Remote controller with 6-input channels is employed to control the motion to provide adequate control for both of driving and flying.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยความกรุณาช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริ้วรุจา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า และผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณญาติ และครอบครัวของผู้เขียนที่ได้สนับสนุนการทำงาน และให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์เสมอมา

การศึกษาค้นคว้าปริญญานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และความดีอันเกิดจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านที่ได้กล่าวนามมา จึงขอขอบพระคุณทุกๆ ท่าน และหากผิดพลาดประการใดขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้จัดทำ

ฟ้าใส เผ่ากันทะ

อรสิรา เพชรรักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงงาน	2
1.4 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจาการค้นคว้า	2
1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความรู้พื้นฐานสำหรับเครื่องบินไฟฟ้า	3
2.1.1 การเลือกมอเตอร์ (Brushless Motor)	3
2.1.2 การเลือกตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Speed Controller)	4
2.2 ความรู้พื้นฐานด้านการบินเฮลิคอปเตอร์	4
2.3 หลักการการบินแบบ Quadrotor	5
2.3.1 Hovering	5
2.3.2 Throttle	6
2.3.3 Roll	6
2.3.4 Pitch	7
2.3.5 Yaw	7
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MultiWii Broad v2.5	8
2.5 หลักการทำงานของมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน	9
2.5.1 การคำนวณรอบของมอเตอร์	9
2.6 หลักการทำงานของชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์	11
บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างและการควบคุม	14
3.1 หลักการออกแบบ	14
3.2 ขั้นตอนการออกแบบ	14
3.2.1 โปรแกรม SolidWorks 2014	14
3.2.2 การใช้โปรแกรม SolidWorks 2014	15
3.3 การขึ้นรูปโครงสร้าง	16
3.4 การประกอบโครงสร้าง	17
3.5 ออกแบบการเคลื่อนที่บนพื้นราบ	19
3.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ	19
3.5.2 หลักการทำงานการเคลื่อนที่บนพื้นราบ	19
3.6 ออกแบบการเคลื่อนที่ในอากาศ	20
3.6.1 อุปกรณ์	20
3.6.2 การคอมไพล์และอัพโหลดเฟิร์มแวร์สำหรับ MultiWii v2.5 ด้วย Arduino	21
3.6.3 การปรับค่า PID ของ MultiWii v2.5 ด้วย โปรแกรม MultiWiiConf	25
3.7 การควบคุม	27
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	28
4.1 การทดลองในโหมดวิ่งเคลื่อนที่บนพื้นดิน	28
4.2 การทดลองในโหมดบินเคลื่อนที่ในอากาศ	29
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	32
5.1 บทสรุปและวิจารณ์	32
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข	32
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	35
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการทำงานของ MultiWii Borad v.2.5	36
ภาคผนวก ข แบบอัตราส่วนโครงสร้าง	44
ภาคผนวก ค การใช้งานรีโมทควบคุม	54
ภาคผนวก ง โปสเตอร์แสดงผลงาน	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โปรแกรมการ์ด	4
2.2 ลักษณะการหมุนของ Hovering	5
2.3 ลักษณะการหมุนของ Throttle	6
2.4 ลักษณะการหมุนของ Roll	6
2.5 ลักษณะการหมุนของ Pitch	7
2.6 ลักษณะการหมุนของ Yaw	7
2.7 MultiWii Broad v2.5	8
2.8 มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน	9
2.9 ชุดอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์	10
2.10 องค์ประกอบหลักของเซอร์โว	11
2.11 ชิ้นส่วนโครงสร้างภายในตัวเซอร์โว	12
2.12 ระบบการทำงานของเซอร์โว	13
3.1 โปรแกรม SolidWorks 2014	15
3.2 หน้าต่าง New SolidWorks Document	15
3.3 ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ออกแบบไว้	16
3.4 การจัดเรียงชิ้นส่วนในโปรแกรม MakerWare	16
3.5 ชิ้นงานที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	17
3.6 โครงสร้างที่ออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks	17
3.7 ตัวอย่างการประกอบโครงสร้างล้อหลัง	18
3.8 โครงสร้างรถเมื่อประกอบเรียบร้อย	18
3.9 หลักการทำงานการเคลื่อนที่บนพื้นราบด้วยมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน	19
3.10 การทำงานของเซอร์โว	20
3.11 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการควบคุมการบิน	21
3.12 เปิดไฟล์ MultiWii.ino เลือก config.h	22
3.13 เลือกใช้ QUADX โดยแก้ไขจาก config.h	23
3.14 การกำหนดค่า MINTHROTTLE, MAXTHROTTLE และ I2C SPEED	23
3.15 การเลือกใช้บอร์ดควบคุม โดยเลือก CRIUS_SE_V2_0 ซึ่งตรงกับบอร์ดที่ใช้ไอซี เซนเซอร์ MPU6050, HMC5883L และ BMP085	24
3.16 เลือกลักษณะการควบคุมแบบ PID	24
3.17 การเลือกใช้ขา D8 สำหรับช่องสัญญาณอินพุต AUX2 จาก Receiver	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 หน้าต่างโปรแกรม MultiWiiConf	25
3.19 การปรับค่า PID ของบอร์ด MultiWii ให้มีเสถียรภาพ	26
3.20 รีโมทควบคุม	27
3.21 ช่องรับสัญญาณ	27
4.1 การทดลองในโหมดวิ่งเคลื่อนที่บนที่ดิน	28
4.2 การทดลองในโหมดบินเคลื่อนที่ในอากาศ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการใช้งานรีโมทกับเวลาในการเคลื่อนที่ในระยะ 10 เมตร 28

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการใช้งานรีโมทกับความเร็วในการเคลื่อนที่ในระยะ 10 เมตร 29

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการใช้งานรีโมทกับความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ในระยะ 10 เมตร ของมอเตอร์ตัวที่หนึ่ง 30

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการใช้งานรีโมทกับความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ในระยะ 10 เมตร ของมอเตอร์ตัวที่สอง 30

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการใช้งานรีโมทกับความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ในระยะ 10 เมตร ของมอเตอร์ตัวที่สาม 31

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการใช้งานรีโมทกับความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ในระยะ 10 เมตร ของมอเตอร์ตัวที่สี่ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ปัจจุบันเทคโนโลยีอากาศยานขับเคลื่อนแบบไร้คนขับนั้น ได้ถูกนำมาพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย ตามวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกัน อาทิเช่น ทางด้านกองทัพ ซึ่งมักจะใช้งานในการสอดแนม หรืออาจจะถูกนำมาใช้งานทางด้านการช่วยเหลือค้นหาผู้ประสบภัย เนื่องจากสามารถควบคุมการใช้งานได้ในระยะไกล นอกจากนี้ยังสามารถตั้งโปรแกรมกำหนดเส้นทางการบินได้อีกด้วย และด้วยลักษณะการทำงานที่ต้องเคลื่อนที่บนอากาศนั้น อาจจะยังไม่สามารถเข้าถึงพื้นที่ที่ซับซ้อนในภาคพื้นดินได้ ดังนั้นจึงนำคุณสมบัติการใช้งานที่คล่องตัวบนพื้นราบของรถบังคับวิทยุ มาประยุกต์รวมกับเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการใช้งานที่ครอบคลุมทั้งในอากาศ และบนดิน

และเนื่องด้วยการศึกษาในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ได้ศึกษาเกี่ยวกับหลักการทางไฟฟ้า หลักการทางอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรมควบคุมระบบเพื่อให้เกิดเสถียรภาพ ตลอดจนการออกแบบชิ้นงาน 3 มิติด้วยโปรแกรม SolidWorks โครงงานนี้จึงเป็นการนำความรู้จากการศึกษามาประดิษฐ์เป็นรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด (Quadcoptor Car) ที่ทั้งสามารถเคลื่อนที่บนพื้นดิน และยังสามารถเคลื่อนที่ในอากาศได้อย่างอิสระ โดยผ่านการควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรลที่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถควบคุมได้ในระยะที่เหมาะสม และสะดวกต่อการทดลอง

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาและออกแบบรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด
2. เพื่อเรียนรู้หลักการทำงานและการควบคุมการสั่งการทำงานของรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงงาน

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องบิน 4 ใบพัด และรถยนต์บังคับ
2. ออกแบบและสร้างโครงรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด
3. ออกแบบและสร้างระบบวงจร
4. ทดสอบและบันทึกข้อมูลการทำงานของรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด
5. สรุปผลการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

1. สร้างชิ้นส่วนโครงสร้างของรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัดด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
2. สร้างชุดขับเคลื่อนการวิ่งของรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด
3. สร้างชุดควบคุมการบินของรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด
4. รถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัดต้องสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งในอากาศและบนพื้นดิน โดยสามารถควบคุมผ่านวิทยุบังคับ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้โปรแกรม SolidWorks เพื่อออกแบบชิ้นงาน 3 มิติ
2. สามารถใช้งานเครื่องพิมพ์ 3 มิติได้
3. สามารถใช้โปรแกรม Arduino เพื่อควบคุมการทำงานของบอร์ด MultiWii
4. มีทักษะการทำงานเป็นกลุ่มที่ดีขึ้น

1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 บทกล่าวนำ วัตถุประสงค์ของโครงงาน ขอบเขตในการค้นคว้า ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและรายละเอียดของปริญญานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องบินบังคับ ความรู้เบื้องต้นด้านการบินของเฮลิคอปเตอร์ และหลักการบินของเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด

บทที่ 3 การสร้างและการออกแบบ หลักการออกแบบ ขั้นตอนการออกแบบ การขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงสร้าง การประกอบโครงสร้าง การออกแบบการเคลื่อนที่บนพื้นราบ การออกแบบเคลื่อนที่ในอากาศ และการควบคุม

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองซึ่งได้ทำการทดลองการวิ่งบนพื้นดิน และการทดลองการบินในอากาศ

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข และข้อเสนอแนะแนวทางค้นคว้าพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อากาศยานไร้คนขับ หรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) เป็นอากาศยานไร้คนขับ ตามหลักแล้วยูเอวีนั้นก็คือ โดรน (Drone) อากาศยานที่ควบคุมจากระยะไกล แต่การควบคุมอัตโนมัติที่เหมือนกับยูเอวีมากกว่า ยูเอวีมีสองแบบคือ ควบคุมจากระยะไกล และบินได้ด้วยตนเองโดยอาศัยการโปรแกรมที่เป็นระบบ ซึ่งซับซ้อนกว่ามีความสามารถในการทรงตัว ประคองตัวเองให้ลอยตัวได้อย่างมีเสถียรภาพและสามารถกำหนดเส้นทางในการเคลื่อนที่ได้

2.1 ความรู้พื้นฐานสำหรับเครื่องบินไฟฟ้า

ในการศึกษาและออกแบบรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัดนั้น จำเป็นที่จะต้องรู้หลักเบื้องต้นในการทำเครื่องบินไฟฟ้า เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการเลือกชุดไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเครื่องบินนั้นคือมอเตอร์และเครื่องมือควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Speed Controller, ESC) ที่จำเป็นสำหรับเครื่องบินแต่ละแบบ ซึ่งหากจะใช้ชุดไฟฟ้าที่มีกำลังมากเข้าไว้ก็เป็นเรื่องดีแต่ก็ต้องแลกมาซึ่งน้ำหนักที่มากเมื่อเทียบกับตัวเครื่อง ดังนั้นการเลือกชุดไฟฟ้าสำหรับเครื่องบินไฟฟ้าที่ดีนั้นจะต้องให้มีความเหมาะสมกับขนาดของเครื่องบินนั้น และทำให้เครื่องบินมีสมรรถนะที่ดีในการบิน

2.1.1 การเลือกมอเตอร์ (Brushless Motor)

โดยทั่วไปแล้วควรเลือกใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมกับขนาดของใบพัด เพื่อให้ได้แรงบิดที่ต้องการ ถ้าเปรียบเหมือนเครื่องยนต์ก็จะสามารถเปรียบได้ว่า มอเตอร์ที่มีรอบต่อโวลต์น้อยหรือที่เรียกกันว่าค่า KV นั้นถูกเทียบได้กับเครื่องยนต์ 4 จังหวะที่รอบต่ำแต่แรงบิดสูง ส่วนมอเตอร์ค่า KV สูงเปรียบเทียบได้กับเครื่องยนต์ 2 จังหวะที่มีรอบสูงแต่แรงบิดต่ำ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงขนาดของใบพัดและกำลังที่ได้ รวมทั้งขนาดมิติและน้ำหนักของมอเตอร์ด้วย

2.1.2 การเลือกตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Speed Controller)

เมื่อเลือกมอเตอร์ได้แล้วให้ดูประมาณกระแสสูงสุดที่มอเตอร์ใช้ซึ่งจะระบุไว้ในรายละเอียดของมอเตอร์ โดยปกติจะเพิ่มไปอีก 25% ดังนั้นถ้ามอเตอร์ของใช้กระแสสูงสุด 15A ควรเลือกสปีดคอนโทรล 18A หรือถ้าจะให้ดีกว่านั้นคือ 20A หรือมากกว่า ในขั้นต่อไปคือให้มั่นใจว่าสปีดคอนโทรลที่เลือกมีโวลต์ที่เหมาะสมหรือไม่ กล่าวคือ ถ้าใช้แบตเตอร์รี่ Lipo 4S ก็ควรเลือกสปีดคอนโทลที่รองรับสำหรับแบ็ต 4S จากนั้นทำการตรวจสอบว่า ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่เลือกมีโปรแกรมการทำงานที่ต้องการหรือไม่ เช่น ถ้าเล่นเครื่องบินประเภทเครื่องร่อน ความต้องการของเครื่องร่อนคือ การหยุดหมุนของใบพัดเมื่อไม่ได้เร่ง (Throttle) ซึ่งจะทำให้ใบพัดอยู่ในสภาพที่ไม่เกิดแรงต้าน เนื่องจากการหมุนของใบพัดที่เกิดจากลมที่ปะทะด้านหน้าของใบพัด แนะนำอย่างยิ่งที่จะให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่านมีโปรแกรมการ์ด ซึ่งจะช่วยในการตั้งโปรแกรมสปีดคอนโท รลง่ายขึ้น จากนั้นดูปริมาณการจ่ายกระแสของ BEC (Battery Eliminator Circuit) ซึ่งจ่ายกระแสไฟให้กับ ตัวรับสัญญาณ และเซอร์โว โดยไม่ต้องแยกแ บตเตอรี่ ต่างหาก อย่างไรก็ดีหากจำนวนของเซอร์โวมีมากกระแสไฟจาก BEC ก็อาจจะไม่เพียงพอในการใช้งานโดยเฉพาะเมื่อเซอร์โวมีมากกว่า 4 ตัว ซึ่งพบได้ทั่วไปในเครื่องบินสมัยนี้ ดังนั้นแล้วจึงควรพิจารณาเลือกซื้อสปีดคอนโท รลที่มีการจ่ายกระแส BEC ที่เพียงพอต่อการใช้งาน หรืออาจจะแยกการจ่ายกระแสไฟให้กับ ตัวรับสัญญาณ และเซอร์โวต่างหากซึ่งจะเรียกอุ ปกรณ์นี้ว่า (Universal Battery Elimination Circuit, UBEC) หรือ OPTO Type ESC ซึ่งจะเหมาะกับเครื่องบินที่มีการใช้งานเซอร์โวหลายตัวหรือใช้เซอร์โวที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะเป็นการป้องกันอันตรายอีกขั้นหนึ่งเมื่อต้องใช้กระแสไฟสูงๆ เพราะมอเตอร์จะไม่ทำงานจนกว่าจะเปิดสวิทช์

รูปที่ 2.1 โปรแกรมการ์ด

2.2 ความรู้พื้นฐานด้านการบินเฮลิคอปเตอร์

เฮลิคอปเตอร์มีส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการบินคือ ใบพัดหรือโรเตอร์ เครื่องยนต์ และกลไกส่งผ่านกำลังจากเครื่องยนต์ไปสู่ใบพัดและใบพัดส่วนหาง ใบพัดโรเตอร์หลักเป็นส่วนสำคัญที่สุดใน การสร้างแรงยกใบพัดหลัก (Main Rotor) ทำหน้าที่เช่นเดียวกันกับปีกของเครื่องบิน โดยปีกของเครื่องบินจะต้องเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เพื่อให้กระแสอากาศไหลผ่านแพนปีก แต่ใบพัดหลักของเฮลิคอปเตอร์ ทำให้กระแสอากาศไหลผ่านด้วยการห มุนรอบแกนโรเตอร์ ใบพัดหลักของเฮ ลิคอปเตอร์มี ตั้งแต่ 2 ใบขึ้นไป แรงยกของเฮลิคอปเตอร์เกิดจากการขับเคลื่อนใบพัดแนวราบ หนึ่งอันหรือมากกว่านั้น ที่เรียกว่า โรเตอร์ เมื่อโรเตอร์ของเฮลิคอปเตอร์หมุนก็จะทำให้เกิดแรงยกและแรงหมุน (Reaction Torque) ซึ่ง Reaction Torque เป็นแรงที่พยายามทำให้ เฮลิคอปเตอร์หมุน โดยทั่วไปแล้วเฮลิคอปเตอร์จะมีใบพัดเล็กๆ ที่หาง ซึ่งเรียกว่า Tail Rotor เพื่อแก้หรือต้านแรงที่ทำให้เฮลิคอปเตอร์หมุน สำหรับเฮลิคอปเตอร์ที่มีใบพัดใหญ่สองอัน ใบพัดทั้งสองจะหมุนสวนทางกันทั้งนี้เพื่อให้แรงหมุนที่เกิดจากใบพัดใหญ่ (Main Rotors) แก้กันเอง (Cancel Each Other) ทิศทางการบินของเฮลิคอปเตอร์ควบคุมได้ โดยเอียงแกนของระนาบการหมุนของใบพัดใหญ่ไปตามทิศทางที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการบินตัวควบคุมเฮลิคอปเตอร์มี3อย่างที่นักบินต้องใช้ขณะที่บินได้แก่

1. Collective Pitch Control หน้าที่คือ การบังคับให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ขึ้นลงแนวดิ่ง (Vertical Flight Control)

2. Anti Torque Pedals or Tail Rotor Control หน้าที่คือ การบังคับให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปทางขวา-ซ้าย

3. Cyclic Stick Control หน้าที่คือ การบังคับให้เฮลิคอปเตอร์การบังคับให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ในแนวระนาบ (Horizontal Flight Control) หรือการบินต่ำ

2.3 หลักการบินแบบ Quadrotor

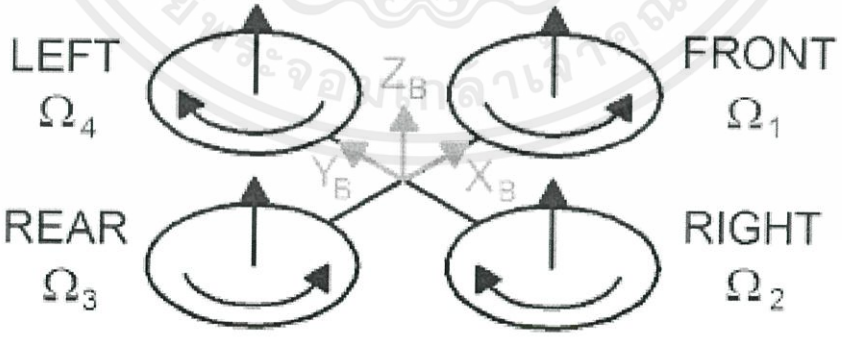
การบินของ Quadrotor จะเป็นการเคลื่อนที่ 4 ทิศทาง หรือ ที่เรียกกันว่า 4CH คือ ประกอบด้วย ขึ้น-ลง, เดินหน้า-ถอยหลัง, เอียงซ้าย-เอียงขวา และหมุนซ้าย-หมุนขวา

กำหนดสัญลักษณ์และความหมายดังต่อไปนี้

1. Ω หมายถึงความเร็วขณะนั้น
2. Δ หมายถึงความเร็วที่เปลี่ยนไป
3. Ö หมายถึงการเร่งความเร็วในแนวดิ่ง (Throttle)
4. R หมายถึงการเอียงตัวไปทางขวา (Roll)
5. P หมายถึงการเอียงตัวไปข้างหน้า (Pitch)

2.3.1 Hovering

การลอยตัวอยู่นิ่ง ทำได้โดยควบคุมให้ความเร็วใบพัดทั้ง 4 ตัว มีความเร็วที่เท่ากันเพื่อสร้างแรงบิด (Torque) และหักล้างแรงบิดจากรูปจะเห็นว่าใบพัดจะหมุนกันกลับทิศกัน ใบพัดหน้าและหลังจะหมุนตามเข็ม ใบพัดซ้ายและขวาจะหมุนทวนเข็ม ทำให้เครื่องบินไม่หมุนตัว

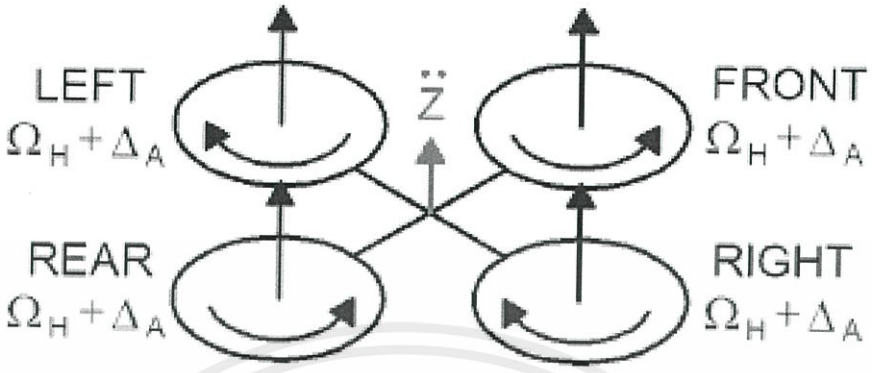


รูปที่ 2.2 ลักษณะการหมุนของ Hovering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Throttle

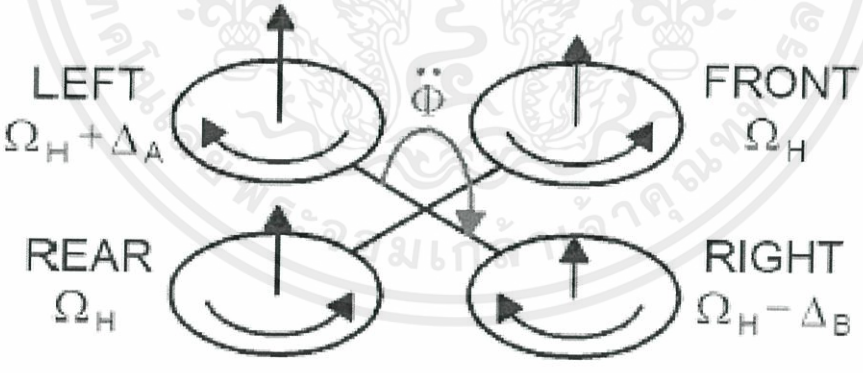
การเร่งความเร็วให้เครื่องบินบินขึ้น-ลง จากรูปที่ 2.2 ใบพัดทั้ง 4 ใบ จะต้องเพิ่มความเร็วทุกใบพัดที่เท่ากัน ทำให้เครื่องบินลอยตัวขึ้นได้



รูปที่ 2.3 ลักษณะการหมุนของ Throttle

2.3.3 Roll

การเอียงตัวซ้าย-ขวา จากรูปที่ 2.3 ใบพัดหน้าและหลังจะความเร็วเท่าเดิม แต่ความเร็วใบพัดซ้ายจะหมุนเร็วขึ้น ทิศทางนี้การยกตัวใบพัดขวาในทิศทางนี้จะตกลง จึงทำให้เกิดการเอียงตัวไปทางขวาได้ ส่วนเอียงตัวซ้ายก็ใช้วิธีคล้ายกัน

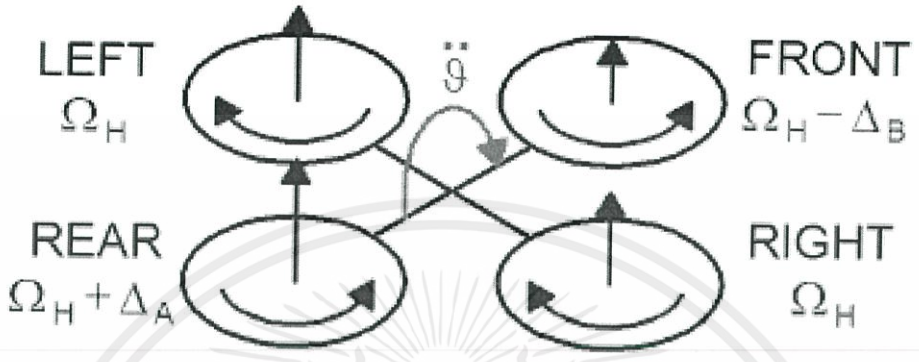


รูปที่ 2.4 ลักษณะการหมุนของ Roll

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 Pitch

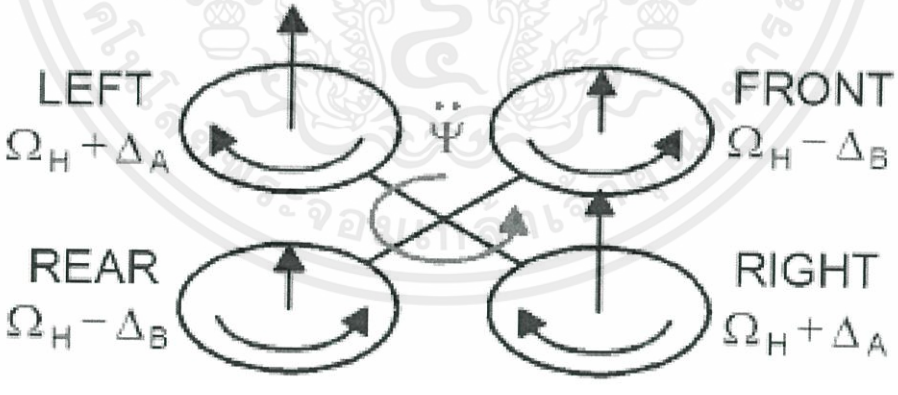
การเอียงหน้าและหลังจะคล้ายกับการ Roll แต่เปลี่ยนเป็นใบพัดซ้ายและขวาจะมีความเร็วคงที่ แต่ความเร็วใบพัดหลังจะหมุนเร็วขึ้นทางหลังจะยก แต่ใบพัดหน้าจะหมุนช้ากว่า ทำให้ทางหน้าจะตก เครื่องจึงบินเอียงไปข้างหน้า



รูปที่ 2.5 ลักษณะการหมุนของ Pitch

2.3.5 Yaw

การหมุนตัวความเร็วใบพัดหน้าและหลังมากกว่าความเร็วใบพัดซ้ายและขวาเพื่อให้แรงบิดด้านซ้ายหรือขวามากกว่า จึงทำให้เครื่องบินหมุนตัวได้



รูปที่ 2.6 ลักษณะการหมุนของ Yaw

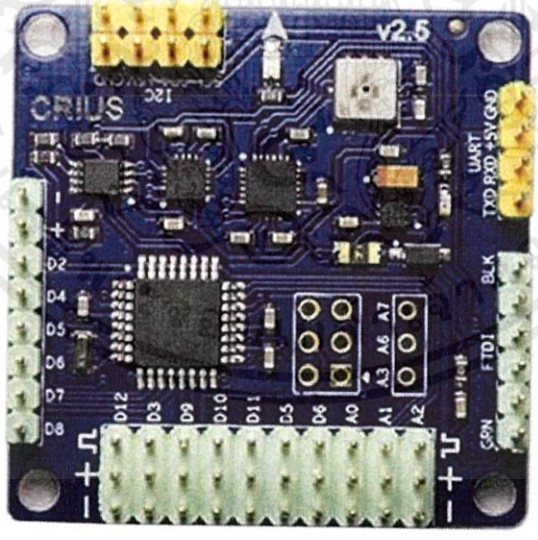
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MultiWii Broad v2.5

ระบบคอมพิวเตอร์ ควบคุมการบิน (Flight Controller) ซึ่งโดยทั่วไปหมายถึงบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กที่มีเซนเซอร์ประเภทต่างๆ รวมไว้ด้วย และในปัจจุบันมีผู้พัฒนาเฟิร์มแวร์ (Firmwre) สำหรับระบบดังกล่าวให้เป็น Opensource และมีหลายระบบควบคุมที่ใช้ Arduino เป็นพื้นฐานในการพัฒนา และถือว่าเป็นตัวอย่างหนึ่ งของการนำฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) ที่เกี่ยวข้องกับ Arduino ไปใช้อย่างจริงจัง โดยในบอร์ดจะประกอบด้วยไอซี (Integrated Circuit, IC) สำคัญดังนี้

- ATmega328P Microcontroller (5V, 16MHz) ซึ่งทำงานเช่นเดียวกับ Arduino Pro Mini
- MPU6050C 6-axis Gyro/Accelerometer With Motion Processing Unit เป็นไอซีวัดความเร่ง (Accelerometer) และไจโร (Gyro) โดยสามารถวัดได้ทั้ง 3 แกน
- HMC5883L 3-axis Digital Magnetometer เป็นไอซีเข็มทิศแบบสามแกนใช้ทำหน้าที่ระบุทิศทางการบิน
- BMP085 Barometric Pressure Sensor เป็นไอซีวัดความดันบรรยากาศ

โดยการตั้งค่านั้นสามารถทำได้โดยผ่านซอฟต์แวร์ MultiWii v2.3 มีลักษณะดังรูปที่ 3.9 ซึ่งสามารถปรับค่า PID พร้อมทั้งสามารถสังเกตความเร็วรอบของมอเตอร์แต่ละตัวได้



รูปที่ 2.7 MultiWii Broad v2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หลักการทำงานของมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน

มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน (Brushless Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้พลังงานแม่เหล็กที่สร้างจากขดลวดสองขด สนามแม่เหล็กจะกลับทิศกันเพื่อให้ผลักแกนโรเตอร์ให้หมุน ส่วนใหญ่มอเตอร์จะถูกใช้กันโดยทั่วไป เพราะสามารถควบคุมความเร็วอย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังมีความทนทานไม่ต้องเปลี่ยนแปรงถ่านบ่อย การใช้งานจึงเป็นงานที่ไม่ต้องใช้แรงจากมอเตอร์มาก จึงต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการเริ่มหมุน

รูปที่ 2.8 มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน

2.5.1 การคำนวณรอบของมอเตอร์

จากความสัมพันธ์ที่ใช้ในการคำนวณหารอบการหมุนของมอเตอร์

$$Speed_M = KV \times Input\ Volt \times Efficiency \quad (2.1)$$

เมื่อกำหนดให้

$Speed_M$	คือ ค่าความเร็วของมอเตอร์ (RPM)
KV	คือ ค่าความเร็วรอบของการหมุนต่อ 1Volt
InputVolt	คือ แรงดันที่ป้อนเข้ามอเตอร์
Efficiency	คือ เป็นค่าความสามารถที่มอเตอร์จะใช้งานได้จริง

จากโครงงานเลือกใช้มอเตอร์ 1800 KV จำนวน 4 ตัวกับแบตเตอรี่ขนาด 11.1V สำหรับการบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $Speed_M$ = 1,800×11.1×0.8

= 15,984 RPM

และมอเตอร์ 1000 KV จำนวน 1 ตัวกับการเคลื่อนที่บนพื้นราบ

จะได้ $Speed_M$ = 1,000x11.1x0.8

= 8,880 RPM

สำหรับมอเตอร์ ที่ใช้บินจะใช้คู่กับใบพัดขนาด 7X4.5 นิ้ว เนื่องจากเฮลิคอปเตอร์มีน้ำหนักไม่มาก และต้องการให้สามารถบินผาดโผนได้ จึงต้อ งเลือกใช้ใบพัดขนาดเล็กกับรอบมอเตอร์ที่สูง เพราะถ้าใช้มอเตอร์ที่มีค่า KV ต่ำจะทำให้มีแรงบิดที่สูง ความเร็วรอบจะน้อย เหมาะกับการใช้คู่กับใบพัด ขนาดใหญ่ และเฮลิคอปเตอร์ที่มีน้ำหนักมาก หรือต้องก ารให้เฮลิคอปเตอร์นั้นบินได้อย่างมีเสถียรภาพ

2.6 หลักการทำงานของชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์

ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Speed Control) คือ อุปกรณ์ที่ออกแบบมาสำ หรับใช้ ควบคุมมอเตอร์ที่ ใช้ในการบิน โดยเฉพ าะ หรือมีชื่อเรียกอีก อย่างหนึ่งว่ า (Battery Eliminate Circuit, BEC) โดยภายในประกอบด้วย วงจร Voltage Regulator สำหรับลดระดับแรงดันของแบตเตอรี่เป็น 5-6 โวลต์ เพื่อใช้ในอุปกรณ์ไ ฟฟ้าของเครื่องบินได้เพียงพอ และใช้ในวงจรของ Speed Control ที่อยู่ภายในออกแบบโดยใช้ ทรานซิสเตอร์ชนิด (Field Effect Transistor, FET) เป็นวงจรสำหรับควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส โดยก ารป้อนอินพุตเป็นสัญญ าณ PWM และควบคุมมอเตอร์ที่มีรอบสูงๆ และสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โดยจ่ ายสัญญาณ Pulse Width Modulation โดยความเร็วที่ได้ขึ้นอยู่กับความกว้างของสัญญาณ PWM ตั้งแต่ 1-2 ms ที่สั่งจ่ายโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 ชุดอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์

2.7 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) คือ มอเตอร์ที่ประกอบไปด้วยชุดเกียร์ (Gear) มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) และส่วนชุดควบคุมอิเล็กทรอนิก ส์ที่อยู่ภายในมอเตอร์ โดยอาศัยหลักการของการเปลี่ยนคำสั่งที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าจาก ช่องรับสัญญาณให้เป็นการเคลื่อนที่ของแขนเซอร์โว ซึ่งโดยปกติแล้วสายสัญญาณของเซอร์โวจะเสี ยบไว้ที่ช่องใดช่องหนึ่งของ ตัวรับสัญญาณ เพื่อใช้บัง คับส่วนต่างๆ ของเครื่องบิน ดังนั้นแล้วการเคลื่อนที่ ของเซอร์โวจึงขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของ คันโยกที่ตัววิทยุ

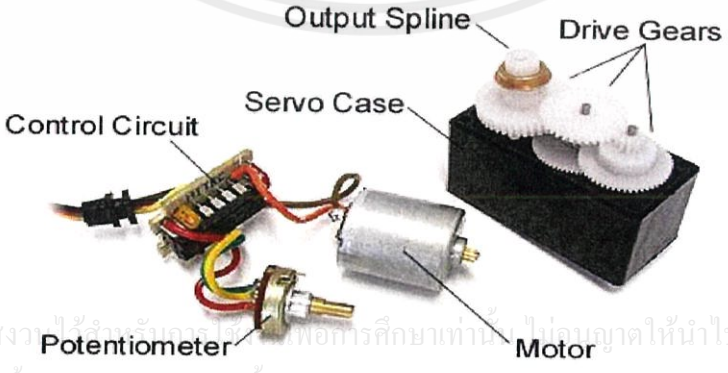
องค์ประกอบหลักของเซอร์โวโดยทั่วไปแล้วจะมีส่วนประกอบหลักดังนี้

1. Servo Case ส่วนใหญ่จะทำมาจากพลาสติก
2. Motor ซึ่งเป็นส่วนให้กำลังในการหมุนของเซอร์โว
3. Control Circuit มีหน้าที่ในการถอดรหัสสัญญาณควบคุมจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งส่งมาเป็นแบบ PWM และส่งการควบคุมไปสั่งการทำงานของมอเตอร์ให้หมุนแขนของเซอร์โวให้อยู่ในตำแหน่งที่ได้ถอดรหัสมา
4. Potentiometer คือ ส่วนที่ตรวจวัดตำแหน่ งของเซอร์โวและส่งสัญญาณกลับไปยัง Control Circuit เพื่อแก้ไขตำแหน่งให้ถูกต้องตามสัญญาณที่ได้ตั้งค่าไว้
5. Drive Gear คือ ชุดทดรอบจากการหมุนของมอเตอร์เพื่อให้ได้แรงบิดที่สูง
6. Output Spline คือ ส่วนที่ป้องกันการเสียดสีระหว่าง Servo Case และ Output Shaft ซึ่งอาจใช้อุปกรณ์ประเภท Baring เพื่อช่วยลดแรงเสียดทานที่ดี
7. Servo Wire จะมีอยู่ 3 เส้นซึ่งจะติดเป็นชุดเดียวกัน ซึ่งจะมีหน้าที่คือ

เส้นที่ 1 จ่ายไฟกระแส + DC ซึ่งแรงดันปรกติจะอยู่ที่ 5-6 โวลท์

เส้นที่ 2 เป็นสาย Ground หรือเป็นขั้ว – DC

เส้นที่ 3 เป็นสายสัญญาณ โดยที่ตัวรับสัญญาณจะส่งสัญญาณลักษณะ On/Off Pulse



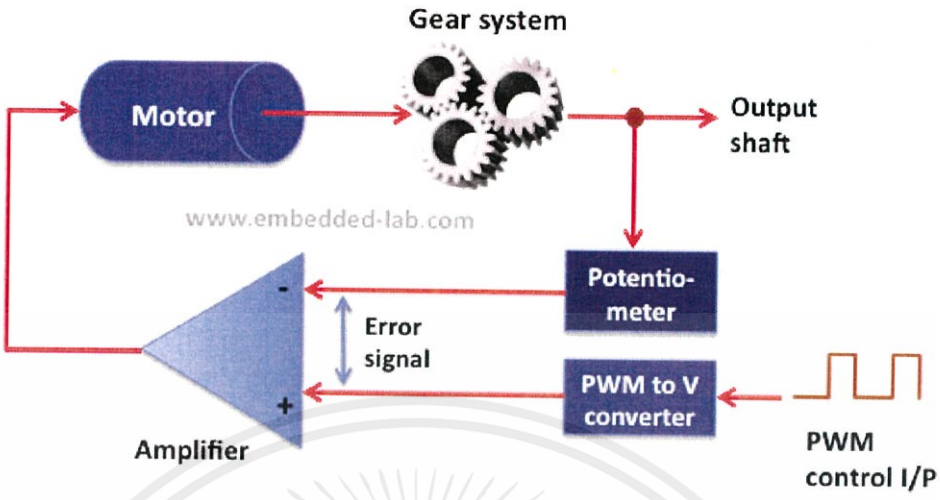
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 องค์ประกอบหลักของเซอร์โว

ระบบการทำงานของเซอร์โวโดยที่ตัวรับสัญญาณ จะส่งสัญญาณการควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวไปยังส่วน Control Circuit ของเซอร์โวโดยสัญญาณที่ส่งมาจะเป็นสัญญาณแบบ PWM (Pule Width Modulation) จากนั้น Control Circuit จะถอดรหัสสัญญาณ PWM ที่ได้ให้เป็นตำแหน่งของเซอร์โวที่ถูกต้อง โดยเปรียบเทียบค่าตำแหน่งปัจจุบันกับสัญญาณกลับจาก Potentiometer แล้วจึงส่งแรงดันไฟฟ้าไปยังมอเตอร์ให้ไปหมุนไปในทิศทางที่จะทำให้ตำแหน่งของ Potentiometer มีค่าที่ถูกต้องเท่ากับค่าที่ได้ถอดรหัสมา ซึ่งขณะที่มอเตอร์หมุนก็จะมีเฟืองที่ไปต่อกับแกนของ Potentiometer (ปกติจะอยู่ในแกนเดียวกับ Output Shaft) ด้วย ดังนั้นกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นซ้ำๆจนกว่าค่าของ Potentiometerจะมีค่าเท่ากับการถอดรหัสสัญญาณที่ได้รับมาจ ากตัวรับสัญญาณ การทำงานของมอเตอร์จึงจะหยุด แต่กระบวนการทำงานของ Control Circuit จะยังทำงานอยู่ตลอดเวลา เพียงแต่หากค่าของ Potentiometer มีค่าเท่ากับสัญญาณที่ถอดรหัสมาจาก ตัวรับสัญญาณแล้วก็จะไม่มีการส่งแรงดันไฟฟ้าไปยังมอเตอร์ (ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ คันโยกที่รีโมท) ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่าการอัพเดทสัญญาณโดยมีความเร็วที่ 50 ครั้งต่อหนึ่งวินาที จึงเห็นเป็นการเคลื่อนที่ของเซอร์โว

รูปที่ 2.11 ชิ้นส่วนโครงสร้างภายในตัวเซอร์โว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ระบบการทำงานของเซอร์โว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้างและการออกแบบ

3.1 หลักการออกแบบ

หลักการออกแบบนั้นพิจารณาจากน้ำหนักและขนาดของรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัดเป็นสำคัญ เพราะขนาดของใบพัด และมอเตอร์ที่ใช้นั้นจะส่งผลต่อแรงที่สามารถยกวัตถุขึ้นบิน หลักการคือ แรงที่ใช้ยกนั้นจะต้องมากกว่าน้ำหนักวัตถุอย่างน้อย 1 เท่า กำหนดขนาดของรถเครื่องบิน ความกว้าง ความยาว ความสูง ขนาดของล้อ และความกว้างของใบพัด พอทราบขนาดของโครงสร้างแล้วจึงสามารถเลือกมอเตอร์ และขนาดของใบพัดที่เหมาะสมกับตัวรถได้ เพราะมอเตอร์ที่เลือกใช้จะสัมพันธ์กับความกว้างของใบพัด และส่งผลกับแรงยกรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด ดังนั้นการออกแบบขนาด ความหนาของชิ้นส่วนต่างๆ จึงสำคัญและส่งผลต่อความแข็งแรงของ Quadcoptor Car

3.2 ขั้นตอนการออกแบบ

ใช้โปรแกรม SolidWorks 2014 ในการออกแบบโครงสร้างของรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด และทำการขึ้นรูปชิ้นส่วนโดยใช้เครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ

3.2.1 โปรแกรม SolidWorks 2014

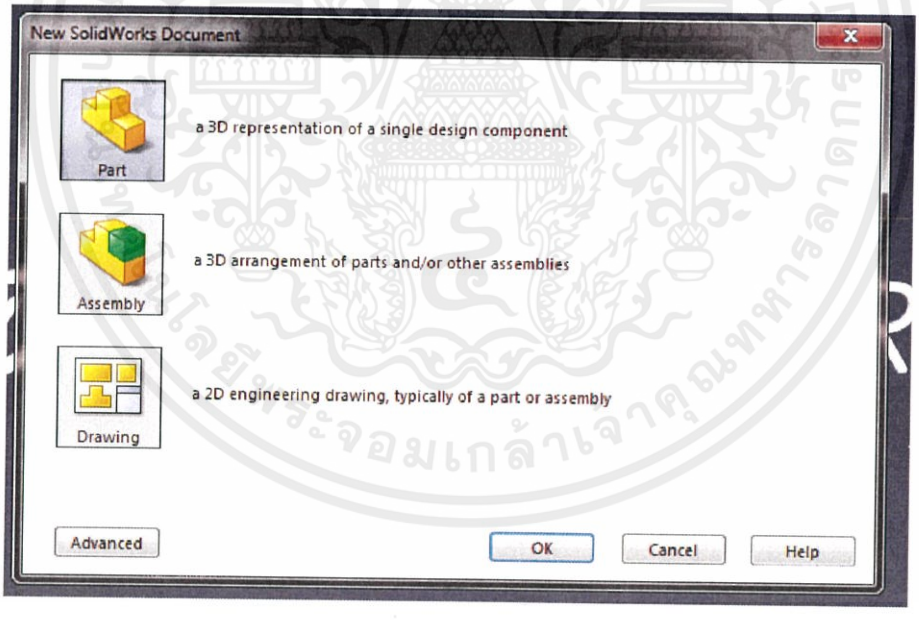
โปรแกรม SolidWorks 2014 คือ โปรแกรมที่นิยมใช้ในการออกแบบ 3 มิติ เหมาะสำหรับงานออกแบบงานเชิงกล (Mechanic) เช่น ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ จนไปถึงส่วนประกอบของเครื่องจักรในอุตสาหกรรม ข้อดีของโปรแกรมคือ การใช้งานที่ง่าย ทำให้ออกแบบได้อย่างแม่นยำ มีเครื่องมือที่ช่วยทำให้การออกแบบรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถส่งต่อไปยังกระบวนการผลิตได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 โปรแกรม SolidWorks 2014

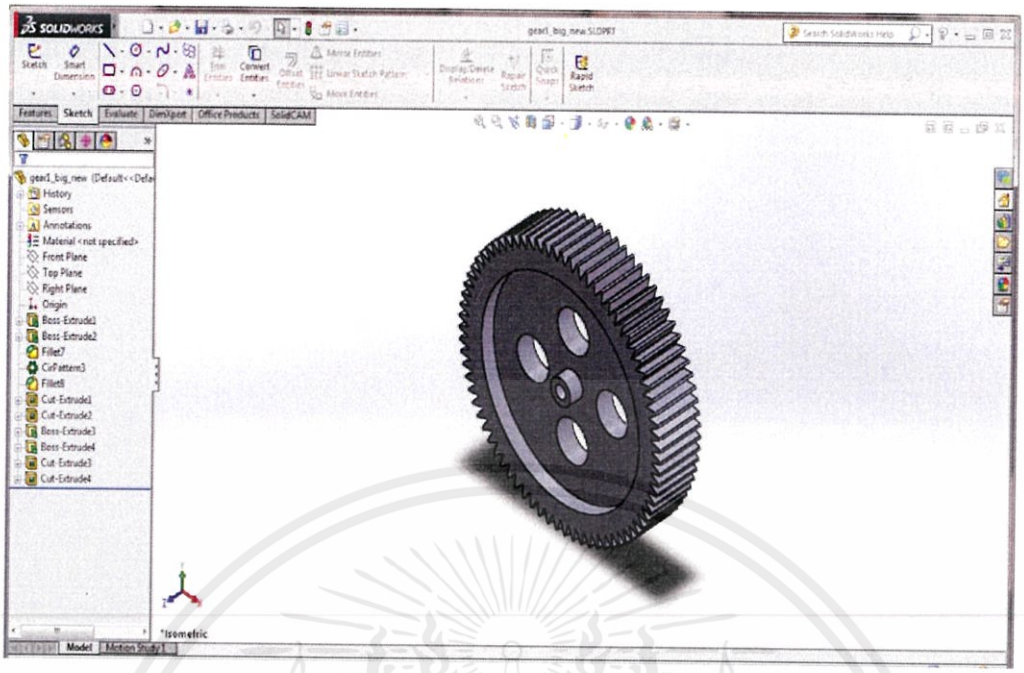
3.2.2 การใช้โปรแกรม SolidWorks 2014

เมื่อเข้าสู่โปรแกรม SolidWorks 2014 แล้วกดเลือกที่ New Document จะแสดงหน้าต่าง New SolidWorks Document ขึ้นมาดังรูปที่ 3.2 แล้วเลือก Part ที่อยู่ด้านบนสุด จากนั้นเริ่มสร้างชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ ได้ตามที่ออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 หน้าต่าง New SolidWorks Document

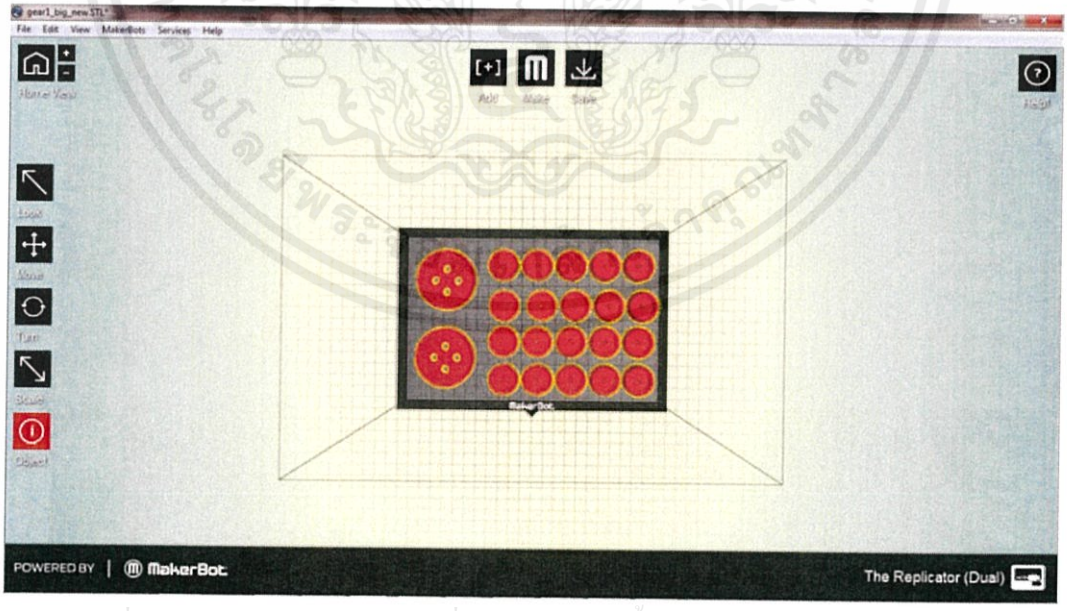
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ออกแบบไว้

3.3 การขึ้นรูปโครงสร้าง

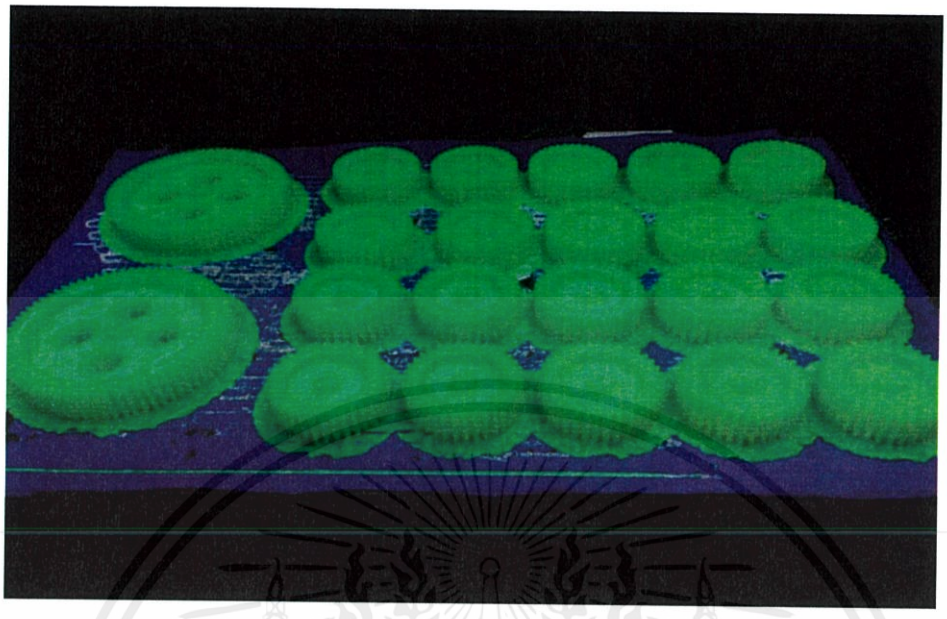
เมื่อออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างที่ต้องการแล้ว ให้บันทึกไฟล์เป็น *.STL หลังจากนั้นนำมาจัดเรียงในโปรแกรม MakerWare เพื่อนำไปพิมพ์บนเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การจัดเรียงชิ้นส่วนในโปรแกรม MakerWare

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

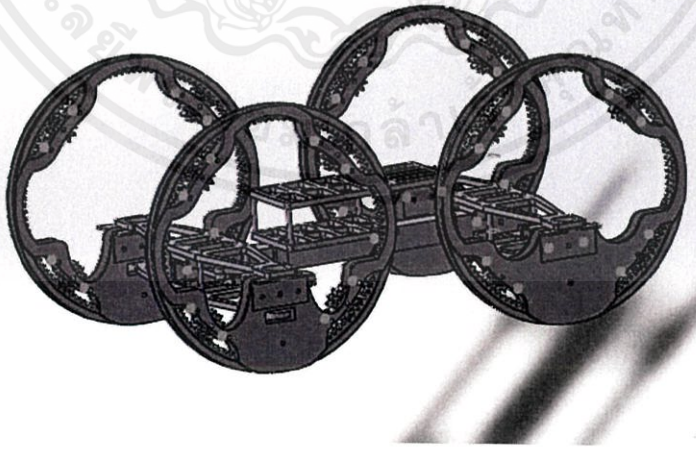
โดยไฟล์ที่ได้นั้นจะเป็นไฟล์สกุล *.3xg ซึ่งจะสามารถนำไปพิมพ์บนเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

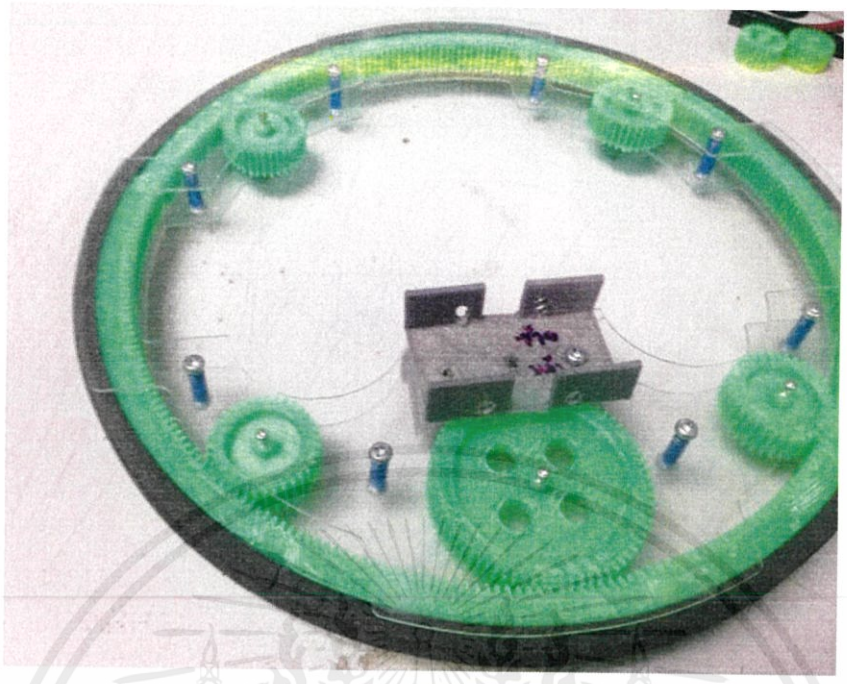
3.4 การประกอบโครงสร้าง

จากโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ในโปรแกรม SolidWorks ดังรูปที่ 3.6 และเมื่อทำการพิมพ์ชิ้นส่วนต่างๆ ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ หลังจากนั้นก็นำชิ้นส่วนต่างๆ มาประกอบขึ้นโครงสร้างต่างๆ ให้ได้ตามแบบที่ออกไว้



รูปที่ 3.6 โครงสร้างที่ออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการประกอบโครงสร้างล้อหลัง

รูปที่ 3.8 โครงสร้างรถเมื่อประกอบเรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

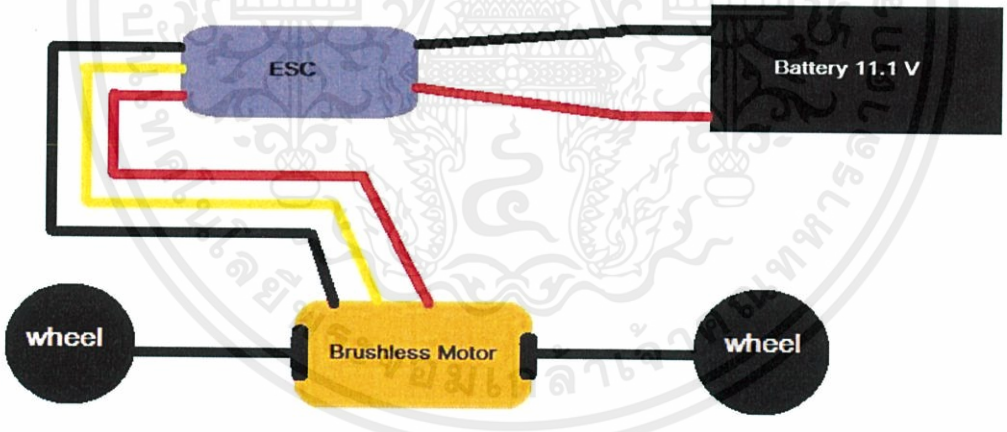
3.5 ออกแบบการเคลื่อนที่บนพื้นราบ

3.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบประกอบด้วย

1. มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน (Brushless Motor)
2. Electronic Speed Control
3. Servo Motor
4. แกนเซอร์โวมอเตอร์
5. BatteryLiPo ขนาด 11.1V
6. ตัวส่งสัญญาณวิทยุ (Transmitter)
7. เครื่องรับสัญญาณวิทยุ (Receiver)

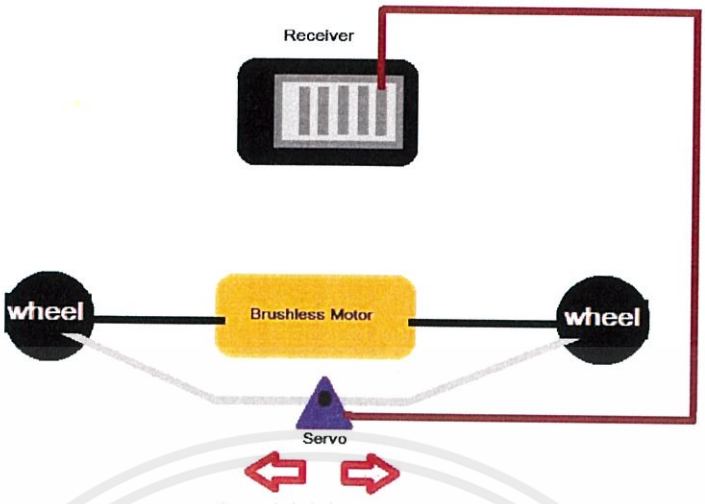
3.5.2 หลักการทำงานการเคลื่อนที่บนพื้นราบ

เมื่อนำ ESC (Electronic Speed Control) มาต่อเข้ากับ มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน (Brushless Motor) จะทำให้แกนของมอเตอร์หมุนตาม และเมื่อ นำแกนไปยึดติดกับล้อหลัง เมื่อแกนของมอเตอร์หมุน ล้อหลังจะขับเคลื่อนให้ล้อหน้าหมุนเช่นกัน และเมื่อนำเซอ รโว (Servo) มาต่อเข้ากับแกนขับล้อ ก็จะทำให้ล้อหน้าสามารถเลี้ยวซ้าย–ขวา ได้โดยผ่านการควบคุมจากรีโมทคอนโทรล



รูปที่ 3.9 หลักการทำงานการเคลื่อนที่บนพื้นราบด้วยมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



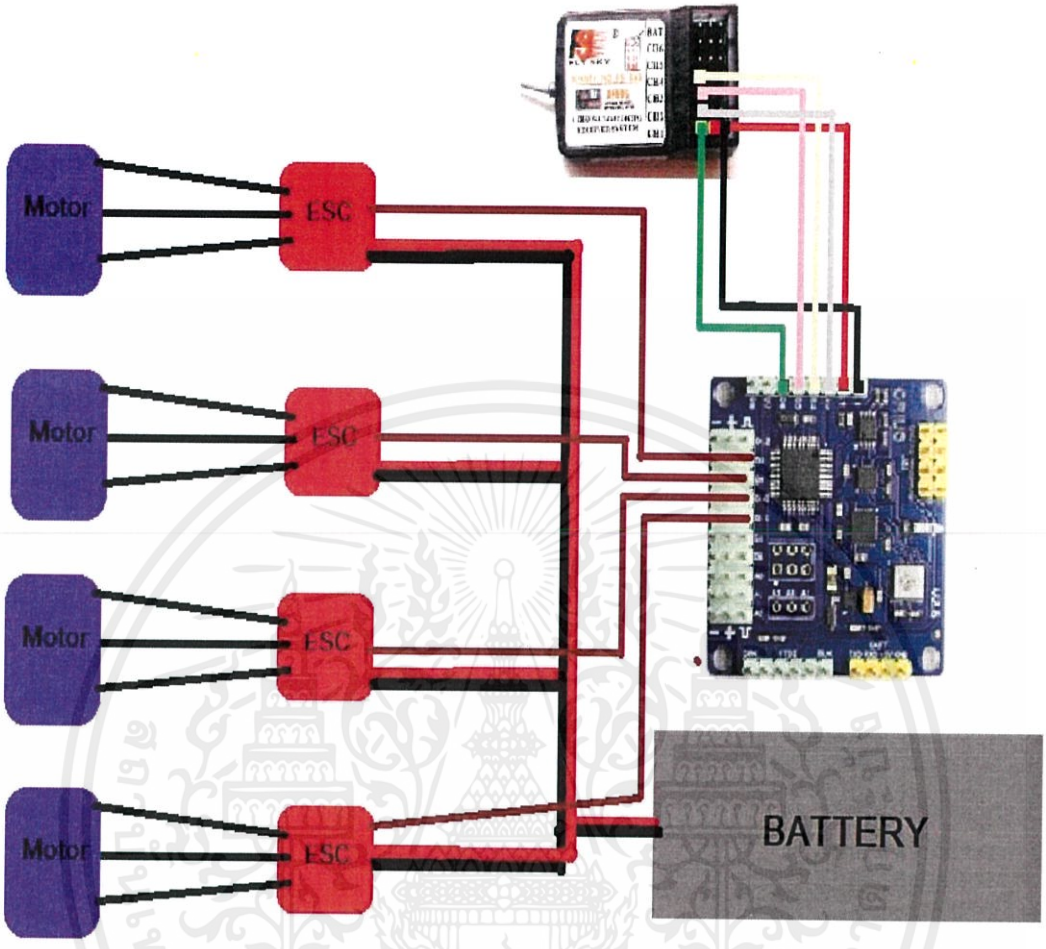
รูปที่ 3.10 การทำงานของเซอร์โว

3.6 ออกแบบการเคลื่อนที่ในอากาศ

3.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบประกอบด้วย

1. มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน (Brushless Motor)
2. Electronic Speed Control
3. ไมโครคอนโทรลเลอร์ MultiWii v2.5
4. ใบพัด 7 x 4.5
5. Battery LiPo ขนาด 11.1V
6. ตัวส่งสัญญาณวิทยุ (Transmitter)
7. เครื่องรับสัญญาณวิทยุ (Receiver)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

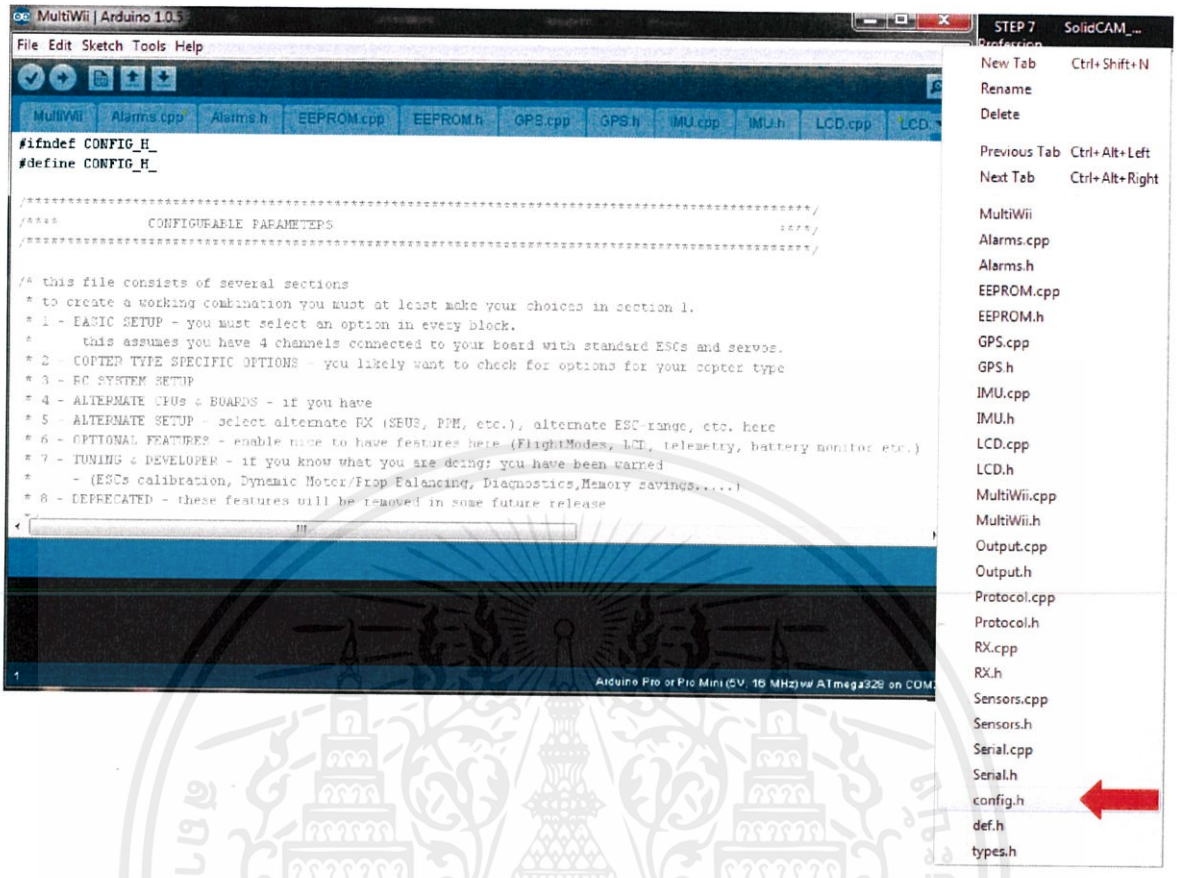


รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการควบคุมการบิน

3.6.2 การคอมไพล์ และอัพโหลดเฟิร์มแวร์สำหรับ MultiWii v2.5 ด้วย Arduino

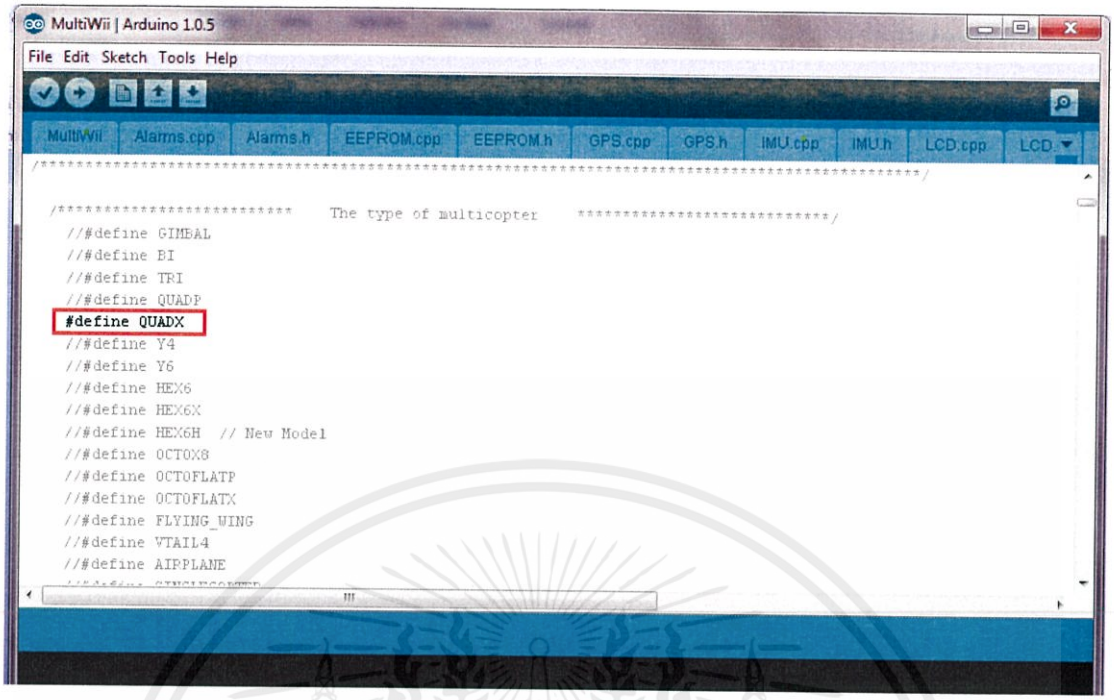
เปิดโปรแกรม Arduino ขึ้นมา และเปิดไฟล์ MultiWii.ino ใน MultiWii จากนั้นให้เลือกที่ด้านบนเป็น config.h ดังรูปที่ 3.11 เพื่อทำการแก้ไข และตั้งค่าการใช้งานของบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

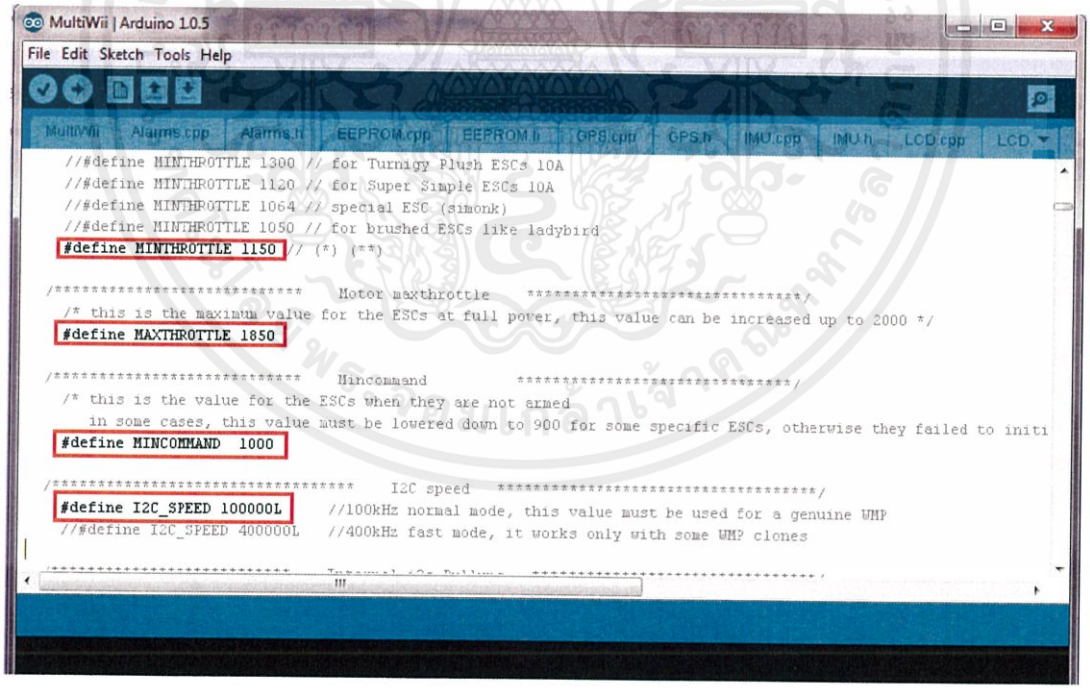


รูปที่ 3.12 เปิดไฟล์ MultiWii.ino เลือก config.h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

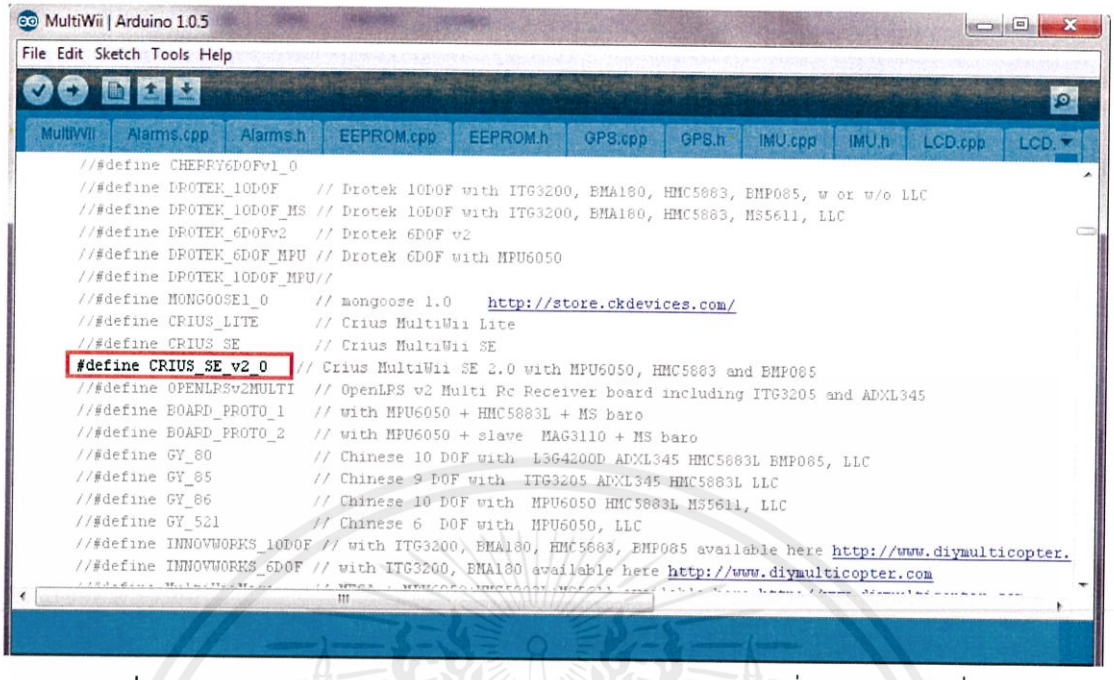


รูปที่ 3.13 เลือกใช้ QUADX โดยแก้ไขจาก config.h

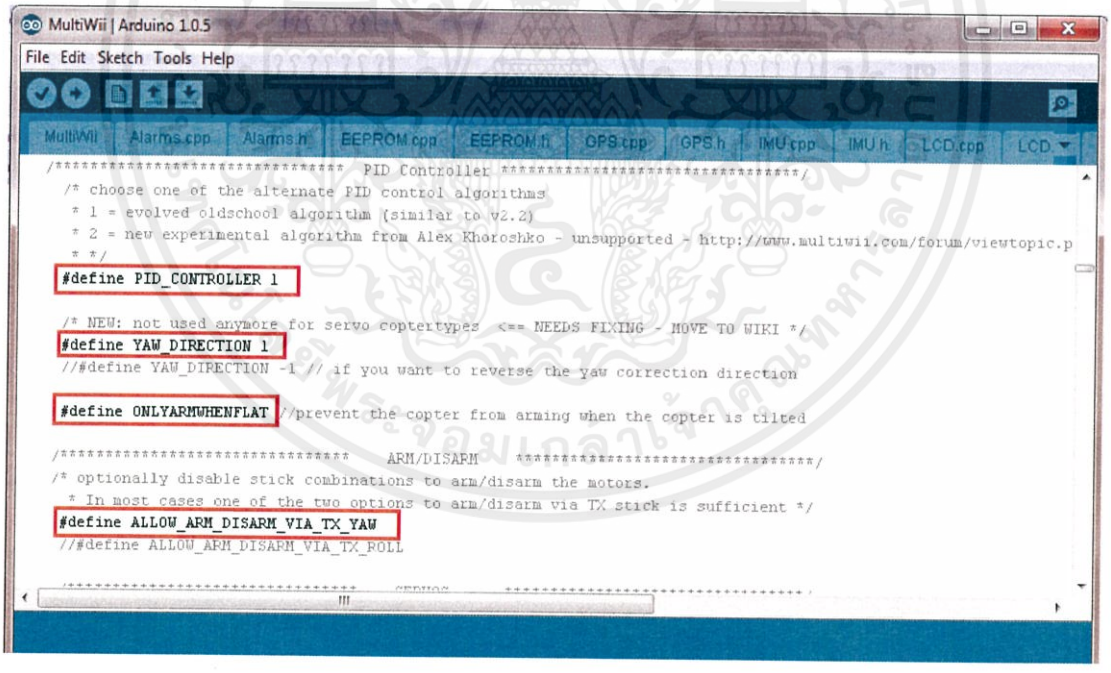


รูปที่ 3.14 การกำหนดค่า MINTHROTTLE, MAXTHROTTLE และ I2C SPEED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

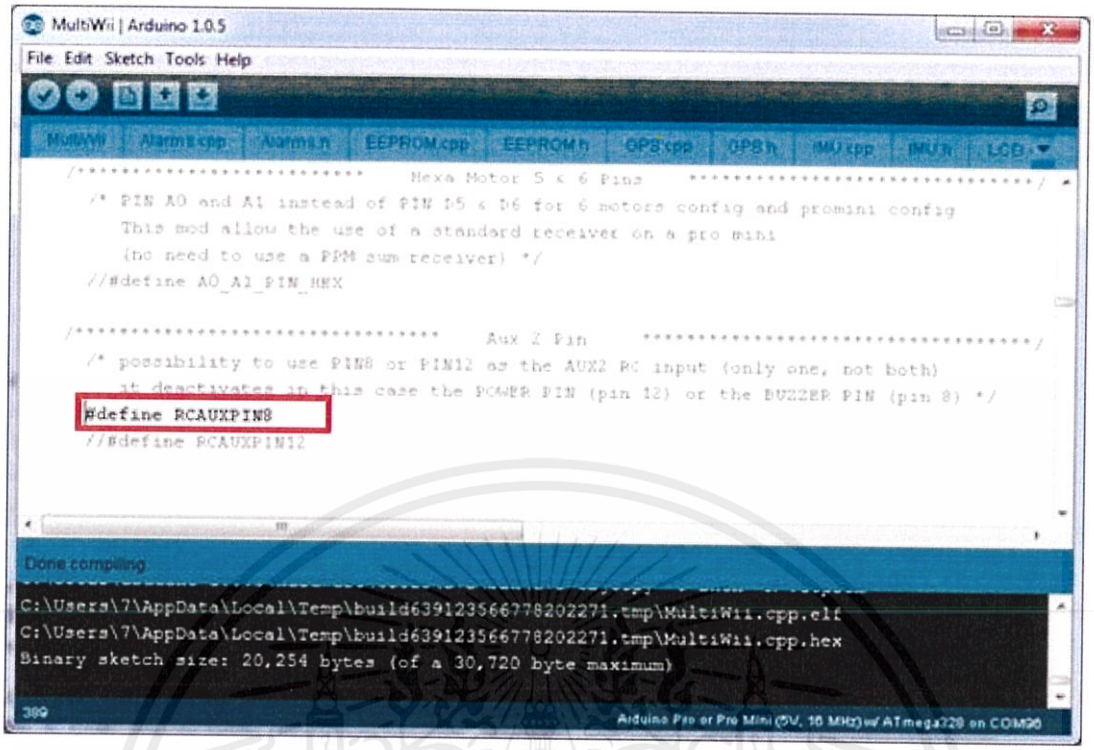


รูปที่ 3.15 การเลือกใช้บอร์ดควบคุมโดยเลือก CRIUS_SE_V2_0 ซึ่งตรงกับบอร์ดที่ใช้ไอซีเซนเซอร์ MPU6050, HMC5883L และ BMP085



รูปที่ 3.16 เลือกลักษณะการควบคุมแบบ PID

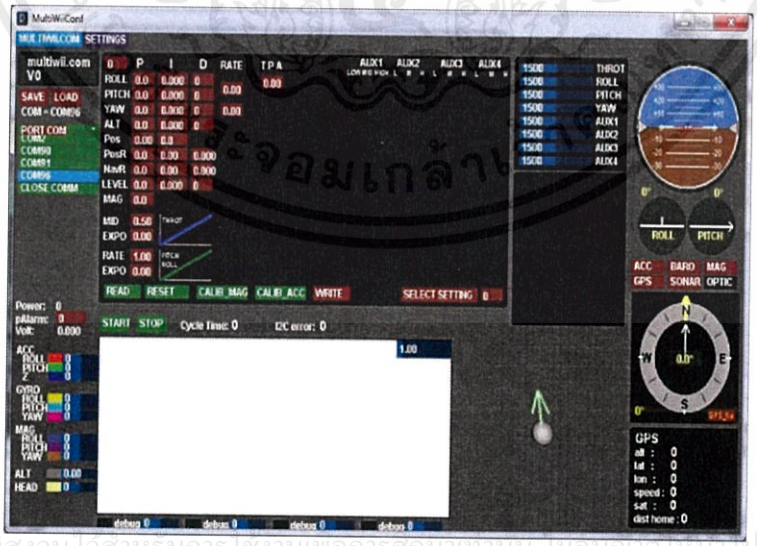
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 การเลือกใช้ขา D8 สำหรับช่องสัญญาณอินพุต AUX2 จาก Receiver

3.6.3 การปรับค่า PID ของ MultiWii v2.5 ด้วยโปรแกรม MultiWiiConf

โปรแกรม MultiWiiConf ทำหน้าที่เป็นส่วนเชื่อมต่อแสดงผลผ่านหน้าจอแบบกราฟิก ทำให้สามารถดูการทำงานของบอร์ด MultiWii ได้ง่ายขึ้น รวมถึงสามารถปรับค่าต่างๆ และบันทึกค่าลง EEPROM ในไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอร์ด MultiWii ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.18 หน้าต่างโปรแกรม MultiWiiConf

เมื่อเปิดโปรแกรม MutliWiiConf ขึ้นมาแล้วให้เลือกพอร์ตอนุกรมที่ตรงกับ USB-to-Serial ที่เชื่อมต่ออยู่กับ MultiWii แล้วกดปุ่ม START จากนั้นโปรแกรมจะทำการเชื่อมต่อกับบอร์ด MultiWii และให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่าจากเซนเซอร์ที่ได้จากบอร์ด MultiWii เช่น ACC, GYRO, MAG และ ALT เป็นต้น ถ้าบอร์ดวางอยู่ได้ระนาบค่า ROLL และ PITCH ของ ACC ควรจะใกล้เคียง 0 ในกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนค่าของ P, I และ D สำหรับการควบคุมในแก่น Roll, Pitch และ Yaw เป็นต้น ให้ทำการบันทึกค่าโดยกดปุ่ม WRITE และถ้าต้องการจบการเชื่อมต่อกับบอร์ด MultiWii ให้กดปุ่ม STOP

รูปที่ 3.19 การปรับค่า PID ของบอร์ด MultiWii ให้มีเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การควบคุม

ระบบการควบคุมของรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด ควบคุมด้วยรีโมทควบคุม โดยตัวรีโมทควบคุมที่เลือกใช้ ต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งการใช้งานที่เหมาะสมนั้นจะต้องมีช่องรองรับสัญญาณที่เพียงพอกับฟังก์ชันการใช้งาน

รูปที่ 3.20 รีโมทควบคุม

รูปที่ 3.21 ช่องรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองในการสร้างรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด โดยทั้งหมดนั้นเริ่มต้นจากการออกแบบในโปรแกรม SolidWorks ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ จนสามารถประกอบชิ้นส่ วนต่างๆ ขึ้นเป็นโครงรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด โดยการทดลองและผลการทดลองมีดังนี้

4.1 การทดลองในโหมดวิ่งเคลื่อนที่บนพื้นดิน

ทำการทดลองโดยวัดระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เทียบกับระดับการใช้งานรีโมทคอนโทรลที่ต่างกันเพื่อต้องการทราบความเร็วในระดับการใช้งานที่ต่างกัน

รูปที่ 4.1 การทดลองในโหมดวิ่งเคลื่อนที่บนที่ดิน

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการใช้งานรีโมทกับเวลาในการเคลื่อนที่ในระยะ 10 เมตร

ระยะเวลา(วินาที) / ระดับการใช้งาน (%)	การทดลอง ครั้งที่1	การทดลอง ครั้งที่2	การทดลอง ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
25	9.14	9.25	9.04	9.14
50	8.68	8.32	8.30	8.43
75	7.11	7.83	7.44	7.46
100	7.01	6.85	6.53	6.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการใช้งานรีโมทกับความเร็วในการเคลื่อนที่ในระยะ 10 เมตร

ความเร็ว(เมตร/วินาที) / ระดับการใช้งาน (%)	การทดลอง ครั้งที่1	การทดลอง ครั้งที่2	การทดลอง ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
25	1.09	1.08	1.12	1.10
50	1.15	1.20	1.20	1.18
75	1.41	1.28	1.34	1.34
100	1.43	1.46	1.53	1.47

4.2 การทดลองในโหมดบินเคลื่อนที่ในอากาศ

ทำการทดลองโดยความเร็วรอบที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เปรียบเทียบกับระดับการใช้งานรีโมทคอนโทรลที่ต่างกัน เพื่อต้องการทราบความเร็วรอบในระดับการใช้งานที่ต่างกัน ซึ่งสามารถคิดได้จากสมการที่ 2.1 ดังนี้

$$\text{Speed} = KV \times \text{Input} \times \text{Efficiency}$$

รูปที่ 4.2 การทดลองในโหมดบินเคลื่อนที่ในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการใช้งานรีโมทกับความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ในระยะ 10 เมตรของมอเตอร์ตัวที่หนึ่ง

ความเร็วรอบ(rpm) / ระดับการใช้งาน (%)	การทดลอง ครั้งที่1	การทดลอง ครั้งที่2	การทดลอง ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
25	2,864	3,572	2,948	3,128
50	7,807	6,531	7,135	7,157.67
75	10,756	8,921	7,478	9,051.67
100	14,512	13,794	11,862	13,389.33

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการใช้งานรีโมทกับความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ในระยะ 10 เมตรของมอเตอร์ตัวที่สอง

ความเร็วรอบ(rpm) / ระดับการใช้งาน (%)	การทดลอง ครั้งที่1	การทดลอง ครั้งที่2	การทดลอง ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
25	3,462	3,674	3,168	3,434.67
50	7,278	7,049	7,386	7,237.70
75	9,896	10,310	9,702	9,969.33
100	12,786	14,034	13,953	13,591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการใช้งานรีโมทกับความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ในระยะ 10 เมตรของมอเตอร์ตัวที่สาม

ความเร็วรอบ(rpm) / ระดับการใช้งาน (%)	การทดลอง ครั้งที่1	การทดลอง ครั้งที่2	การทดลอง ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
25	3,581	3,119	3,320	3,340
50	7,527	7,636	7,214	7,459
75	9,931	9,763	10,242	9,978.67
100	11,564	12,751	13,011	12,442

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการใช้งานรีโมทกับความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ในระยะ 10 เมตรของมอเตอร์ตัวที่สี่

ความเร็วรอบ(rpm) / ระดับการใช้งาน (%)	การทดลอง ครั้งที่1	การทดลอง ครั้งที่2	การทดลอง ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
25	3,674	3,652	3,703	3,676.33
50	7,604	7,598	7,586	7,596
75	9,894	9,921	9,906	9,907
100	11,426	11,962	12,004	11,797.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 บทสรุปและวิจารณ์

โครงงานนี้เป็นการสร้างรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด เมื่อทำการออกแบบ พิมพ์ชิ้นงาน และประกอบเป็นโครงรถเรียบร้อยแล้วทำการวางระบบการวิ่งและการบิน จะเห็นได้ว่าในส่วนของการวิ่งจะพบปัญหาในด้านของโครงสร้างโดยเฉพาะล้อและเฟือง ทำให้การวิ่งไม่มีความคล่องตัวมากนัก จึงต้องมีการปรับแก้ขนาดของเฟืองและล้อ เมื่อทำการปรับแก้แล้วเห็นได้ชัดว่าการวิ่งความคล่องตัวจากเดิมอย่างมาก ส่วนในเรื่องของการบินนั้นพบปัญหาในเรื่องของโครงสร้างโดยรวม และเรื่องน้ำหนักของตัวรถซึ่งมีน้ำหนักมากเกินไป รวมไปถึงเรื่องของการตั้งค่าและการปรับค่าจากบอร์ด MultiWii จึงทำให้ไม่สามารถบินขึ้นได้อย่างที่คาดการณ์ไว้ในตอนต้น

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

จากการศึกษาและทำโครงงานนี้ในช่วงแรกเกิดปัญหาคือ โครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้นั้น ไม่สามารถพิมพ์กับเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่มีได้ เนื่องจากขนาดของฐานเครื่องพิมพ์นั้นเล็กกว่าขนาดของล้อ จึงทำการแก้ไขโดยตัดแบ่งชิ้นส่วนของล้อเป็น 3 ส่วน ทำให้สามารถพิมพ์บนเครื่องพิมพ์ได้อย่างสะดวกขึ้น และเมื่อพิมพ์เสร็จก็นำกาวชนิดพิเศษมาประกอบชิ้นส่วนทั้ง 3 ให้กลับมาเป็นโครงล้อเช่นเดิม

เนื่องจากการตัดแบ่งล้อเป็น 3 ส่วนและนำมาประกอบให้เป็นโครงล้อเช่นเดิม ทำให้เวลาล้อหมุนไม่ลื่นเท่าที่ควร ทำการแก้ปัญหาโดยการเพิ่มจำนวนซี่ฟันเฟืองให้มากขึ้น เพื่อให้เฟืองขบกันได้มากขึ้น

โครงสร้างที่ออกแบบมาใช้ได้กับใบพัดขนาด 7 นิ้ว และมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านขนาด 2205 รวมถึงเมื่อประกอบโครงสร้างและอุปกรณ์ทั้งหมดแล้ว ตัวรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัดมีน้ำหนักมาก ซึ่งใบพัดและมอเตอร์ที่ใช้อยู่นั้นมีแรงยกไม่มากพอ และใบพัดที่มีขนาดใหญ่กว่าใบพัดเดิมค่อนข้างหายาก สามารถทำการแก้ได้โดยปรับปรุงโครงสร้างใหม่ให้สามารถใช้ได้กับใบพัด และมอเตอร์ชนิดอื่นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

การทำรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัดมีปัญหาในเรื่องโครงสร้าง ควรจะศึกษาการออกแบบโครงสร้าง การวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงการคำนวณแรงยกจากใบพัดและมอเตอร์ ว่าการใช้งานอุปกรณ์ใดจะให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการใช้งาน และศึกษาวิธีการใช้และการควบคุมบอร์ด MultiWii เพิ่มเติม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ฉัตรชัย จันทร์อุดม และคณะ. 2553. **การออกแบบและสร้างยานบินไร้คนขับแบบสี่ใบพัด**. ปริญญานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรื่องการออกแบบและสร้างยานบินไร้คนขับแบบสี่ใบพัด

[2] จักรกริช หล่อประโคน และจักรพรรณ ดีสุด 2554 **อากาศยาน 4 ใบพัด** โครงงานนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[3] คฑาพิสิษฐ์ คูเพชรรัตน์ และอนุมัติ อิงคนินันท์ 2555 **ระบบควบคุมความสมดุลอัตโนมัติของอากาศยาน 4 โรเตอร์** ปริญญานิพนธ์สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[4] ปฏิพัทธ์ ญาติโสม และเมธาวุฒิ อุตรินทร์ 2555 **เฮลิคอปเตอร์ 4 ใบพัด** โครงงานนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[5] **หลักการบินแบบ Quadrotor**, http://www.ayarafun.com/2010/04/what-is-quadrotor/ สืบค้นเมื่อ 11 พฤศจิกายน 2557

[6] **ความรู้พื้นฐานด้านการบิน** http://avi.operationsystem.mnre.go.th/index.php/content/knowledge/742012-01-12-03-19-20.html/สืบค้นเมื่อ 11 พฤศจิกายน 2557

[7] MultiWiiv2.5, http://cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/index.php?article=multiwii-v25/ สืบค้นเมื่อ 20ธันวาคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมการทำงานของ MultiWii Borad v.2.5 ใน MultiWii

```
#ifndef CONFIG_H_
#define CONFIG_H_
/******  The type of multicopter  *********/
    //#define GIMBAL
    //#define BI
    //#define TRI
    //#define QUADP
    #define QUADX
    //#define Y4
    //#define Y6
    //#define HEX6
    //#define HEX6X
    //#define HEX6H  // New Model
    //#define OCTOX8
    //#define OCTOFLATP
    //#define OCTOFLATX
    //#define FLYING_WING
    //#define VTAIL4
    //#define AIRPLANE
    //#define SINGLECOPTER
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    //#define DUALCOPTER
    //#define HELI_120_CCPM
    //#define HELI_90_DEG
/******** Motor minthrottle ********/
    //#define MINTHROTTLE 1300 // for Turnigy Plush ESCs 10A
    //#define MINTHROTTLE 1120 // for Super Simple ESCs 10A
    //#define MINTHROTTLE 1064 // special ESC (simonk)
    //#define MINTHROTTLE 1050 // for brushed ESCs like ladybird
    #define MINTHROTTLE 1150 // (*) (**)
/******** Motor maxthrottle ***********/
    #define MAXTHROTTLE 1850
 /******** Mincommand **********/
    #define MINCOMMAND 1000

/********** I2C speed **************/
    #define I2C_SPEED 100000L     //100kHz normal mode, this value must be used
for a genuine WMP
/********* Combined IMU Boards *************/
    //#define FFIMUv1          // first 9DOF+baro board from Jussi, with HMC5843
    //#define FFIMUv2          // second version of 9DOF+baro board from Jussi, with
HMC5883
    //#define FREEIMUv1        // v0.1 & v0.2 & v0.3 version of 9DOF board from Fabio
    //#define FREEIMUv03       // FreeIMU v0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//#define NANOWII          // the smallest multiwii FC based on MPU6050 + pro micro based proc <- confirmed by Alex

    //#define PIPO           // 9DOF board from erazz

    //#define QUADRINO       // full FC board 9DOF+baro board from witespy  with BMP085 baro     <- confirmed by Alex

    //#define QUADRINO_ZOOM  // full FC board 9DOF+baro board from witespy second edition

    //#define QUADRINO_ZOOM_MS// full FC board 9DOF+baro board from witespy second edition       <- confirmed by Alex

    //#define ALLINONE       // full FC board or standalone 9DOF+baro board from CSG_EU

    //#define AEROQUADSHIELDv2

 #define CRIUS_SE_v2_0  // Crius MultiWii SE 2.0 with MPU6050, HMC5883 and BMP085

    //#define OPENLRSv2MULTI  // OpenLRS v2 Multi Rc Receiver board including ITG3205 and ADXL345

    //#define BOARD_PROTO_1  // with MPU6050 + HMC5883L + MS baro

    //#define BOARD_PROTO_2  // with MPU6050 + slave  MAG3110 + MS baro

    //#define GY_80          // Chinese 10 DOF with  L3G4200D ADXL345 HMC5883L BMP085, LLC

    //#define GY_85          // Chinese 9 DOF with  ITG3205 ADXL345 HMC5883L LLC

/********PID Controller ***************/

#define PID_CONTROLLER 1

#define YAW_DIRECTION 1

#define ONLYARMWHENFLAT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/************  ARM/DISARM  *********/
  #define ALLOW_ARM_DISARM_VIA_TX_YAW
  //#define ALLOW_ARM_DISARM_VIA_TX_ROLL
/******  Cam Stabilisation  ***************/
 #define CAM_TIME_HIGH 1000  // the duration of HIGH state servo expressed in ms
/******  Airplane  ************/
  //#define USE_THROTTLESERVO // For use of standard 50Hz servo on throttle.
  //#define FLAPPERONS  AUX4  // Mix Flaps with Aileroins.
  #define FLAPPERON_EP  { 1500, 1700 } // Endpooints for flaps on a 2 way switch else set {1020,2000} and program in radio.
  #define FLAPPERON_INVERT { -1, 1 }  // Change direction om flapperons { Wing1, Wing2 }

  //#define FLAPS  // Traditional Flaps on SERVO3.
  //#define FLAPSPEED  3  // Make flaps move slowm Higher value is Higher Speed.
/********  Heli  ***********/
#define COLLECTIVE_PITCH  THROTTLE
#define COLLECTIVE_RANGE { 80, 0, 80 }
#define YAWMOTOR  0
#define SERVO_NICK  { +10, -10,  0 }
#define SERVO_LEFT  { +10, +5, +10 }
#define SERVO_RIGHT { +10, +5, -10 }
#define CONTROL_RANGE  { 100, 100 }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/******              Serial com speed    **********/

    #define SERIAL0_COM_SPEED 115200

    #define SERIAL1_COM_SPEED 115200

    #define SERIAL2_COM_SPEED 115200

    #define SERIAL3_COM_SPEED 115200

#define INTERLEAVING_DELAY 3000

#define NEUTRALIZE_DELAY 100000

/**********  AP FlightMode        *****************/

    #define AP_MODE 40  // Create a deadspan for GPS.

/******  Failsafe settings  ********/

#define FAILSAFE_DELAY     10                // Guard time for failsafe activation
after signal lost. 1 step = 0.1sec - 1sec in example

    #define FAILSAFE_OFF_DELAY 200                // Time for Landing before motors
stop in 0.1sec. 1 step = 0.1sec - 20sec in example

    #define FAILSAFE_THROTTLE  (MINTHROTTLE + 200)    // (*) Throttle level used for
landing - may be relative to MINTHROTTLE - as in this case

    #define FAILSAFE_DETECT_TRESHOLD  985

/*************       GPS         **********/

#define GPS_BAUD   57600

#define GPS_LED_INDICATOR

#define NAV_CONTROLS_HEADING       true      // copter faces toward the navigation
point, maghold must be enabled for it

    #define NAV_TAIL_FIRST             false     // true - copter comes in with tail first
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define NAV_SET_TAKEOFF_HEADING    true      // true - when copter arrives to home position it rotates it's head to takeoff direction

#define MAG_DECLINATION  0.0f

#define GPS_LEAD_FILTER                    // Adds a forward predictive filterig to compensate gps lag. Code based on Jason Short's lead filter implementation

   //#define GPS_FILTERING                  // add a 5 element moving average filter to GPS coordinates, helps eliminate gps noise but adds latency comment out to disable

   #define GPS_WP_RADIUS            200      // if we are within this distance to a waypoint then we consider it reached (distance is in cm)

   #define NAV_SLEW_RATE            30       // Adds a rate control to nav output, will smo

/**********  LCD/OLED - display settings    *********/

#define LCD_SERIAL_PORT 0



/************   Navigation   *************/

#define LCD_MENU_PREV 'p'

#define LCD_MENU_NEXT 'n'

#define LCD_VALUE_UP 'u'

#define LCD_VALUE_DOWN 'd'

 #define LCD_MENU_SAVE_EXIT 's'

#define LCD_MENU_ABORT 'x'

****    battery voltage monitoring    ****/
```

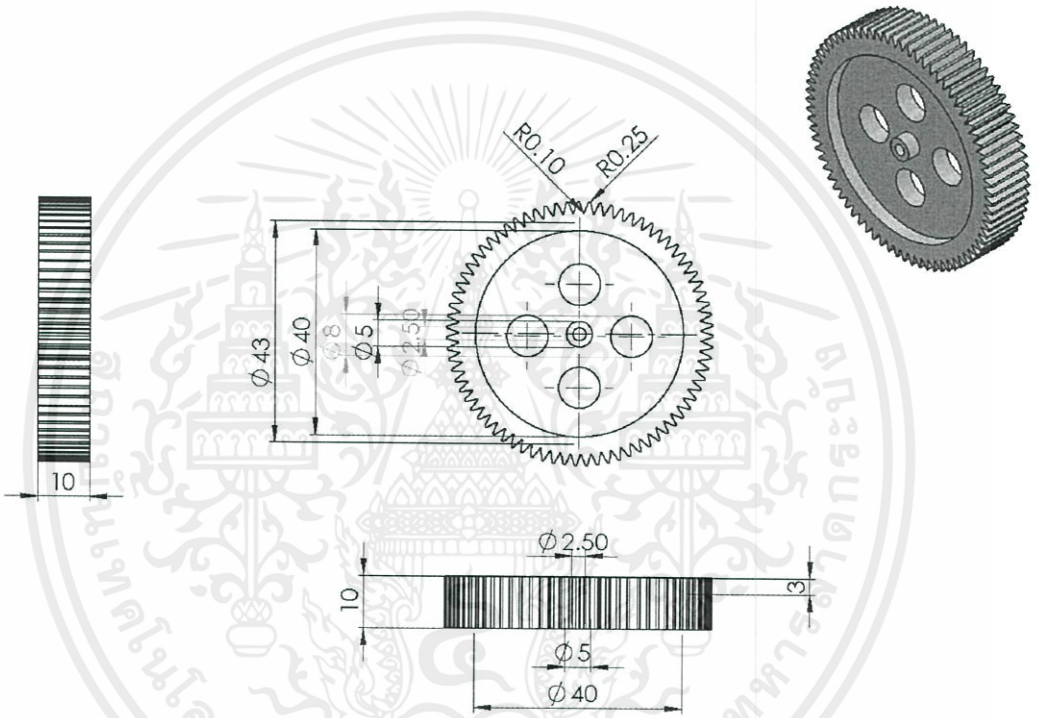
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define VBATSCALE        131 // (*) (**) change this value if readed Battery voltage is different than real voltage

  #define VBATNOMINAL     126 // 12,6V full battery nominal voltage - only used for lcd.telemetry

  #define VBATLEVEL_WARN1 107 // (*) (**) 10,7V

  #define VBATLEVEL_WARN2  99 // (*) (**) 9.9V

  #define VBATLEVEL_CRIT   93 // (*) (**) 9.3V - critical condition: if vbat ever goes below this value, permanent alarm is triggered

  #define NO_VBAT          16 // Avoid beeping without any battery

/****   powermeter (battery capacity monitoring)  ****/

#define PSENSORNULL 510

#define PINT2mA 132

/****      altitude hold      ****/

#define ALT_HOLD_THROTTLE_NEUTRAL_ZONE   50

/********** motor, servo and other presets **************/

#define MIDRC 1500

/**********  Servo Refreshrates      *************/

#define SERVO_RFR_50HZ

/***********       HW PWM Servos      *********/

#define MEGA_HW_PWM_SERVOS

#define SERVO_RFR_RATE  50

/****      ESCs calibration     ****/

#define ESC_CALIB_LOW  MINCOMMAND

  #define ESC_CALIB_HIGH 2000
```

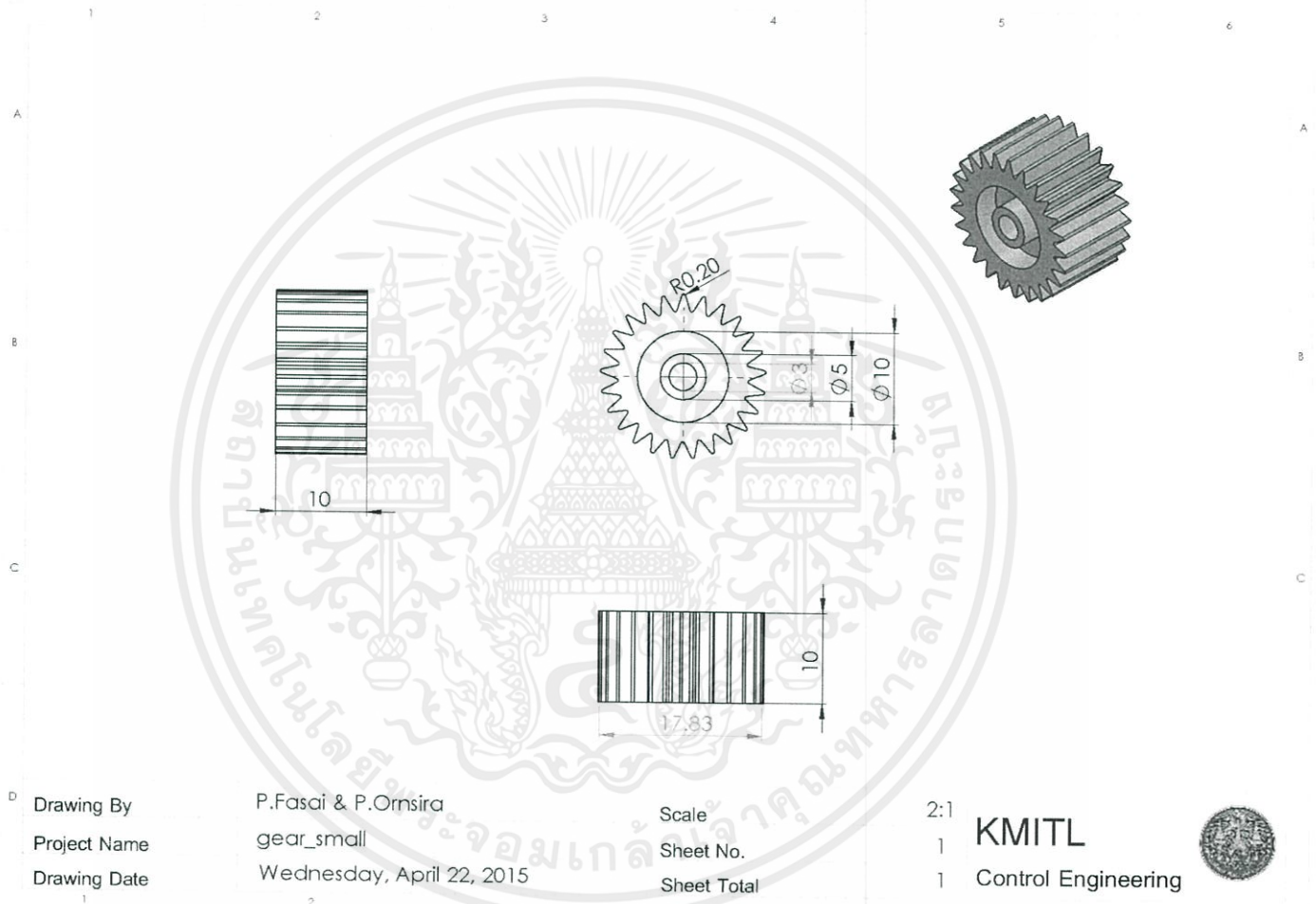
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/**** internal frequencies  ****/

#define LCD_TELEMETRY_FREQ 23        // to send telemetry data over serial
23<=>60ms <=>16Hz (only sending interlaced, so 8Hz update rate)

   #define LCD_TELEMETRY_AUTO_FREQ  967// to step to next telemetry page
967<=>3s

   #define PSENSOR_SMOOTH 16          // len of averaging vector for smoothing the
PSENSOR readings; should be power of 2; set to 1 to disable

   #define VBAT_SMOOTH 16             // len of averaging vector for smoothing the
VBAT readings; should be power of 2; set to 1 to disable

   #define RSSI_SMOOTH 16             // len of averaging vector for smoothing the
RSSI readings; should be power of 2; set to 1 to disable

/********** WMP power pin  ******************/

  #define DISABLE_POWER_PIN

#endif
```

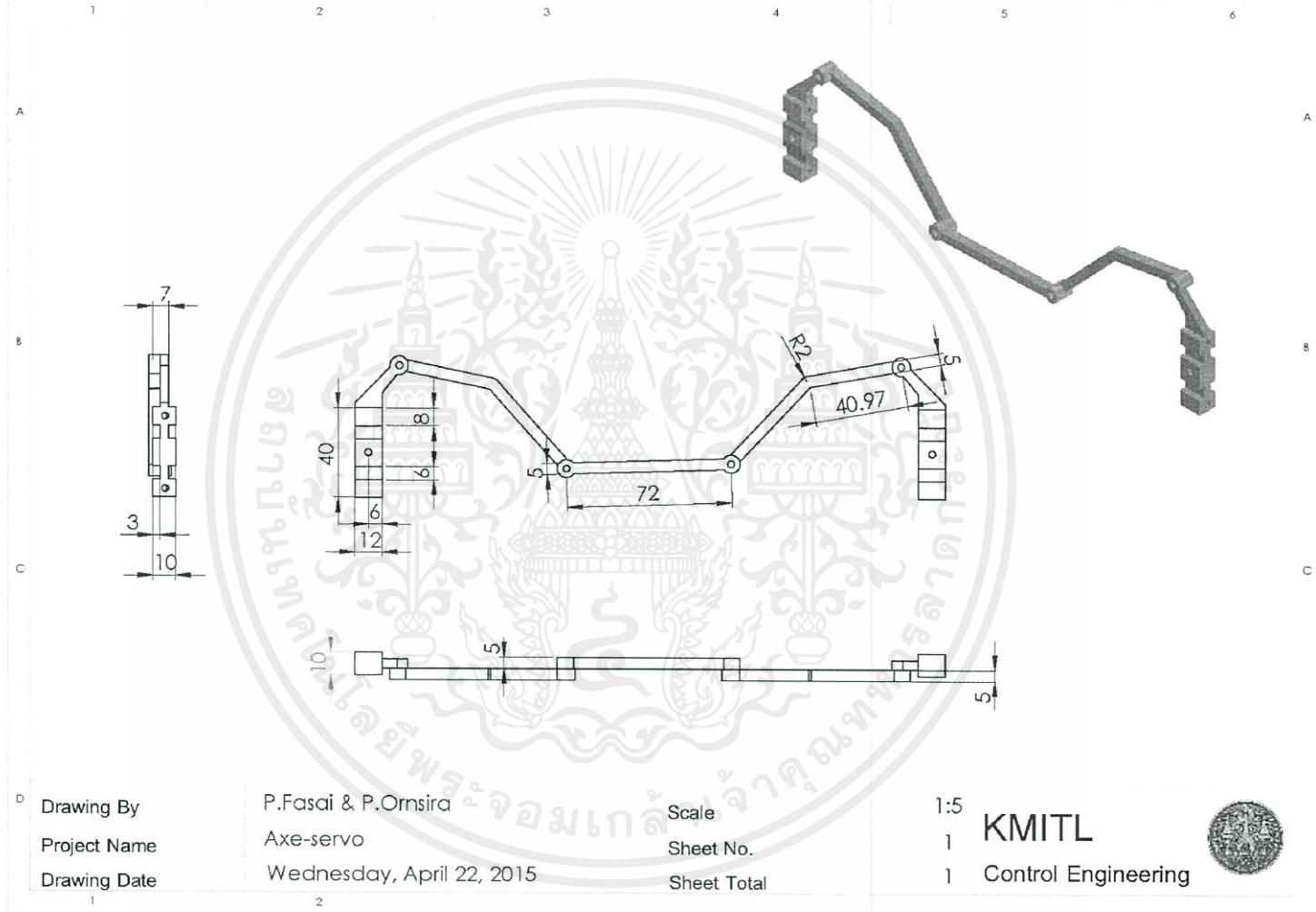
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



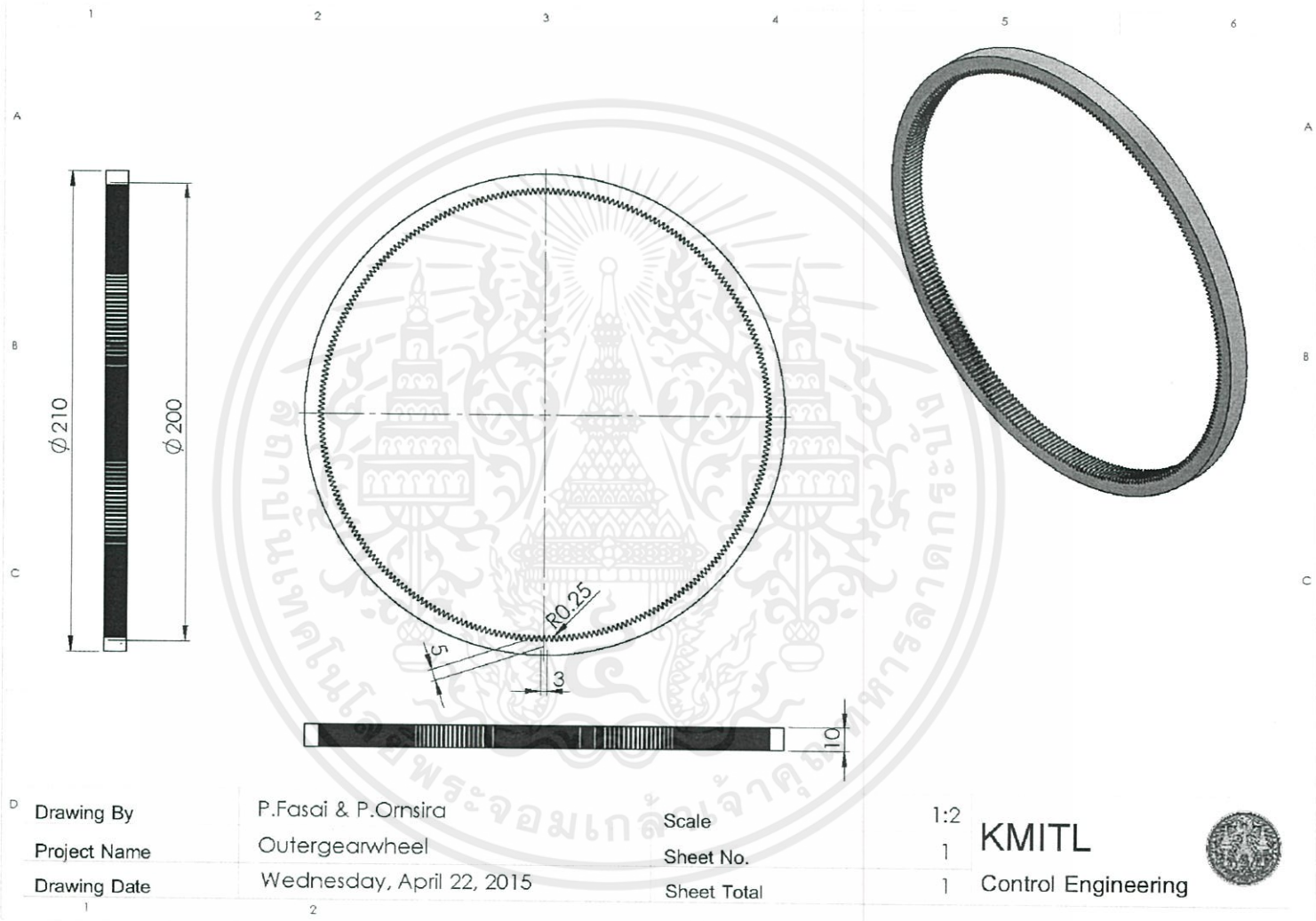
รูปที่ ข.1 แบบโครงสร้างของเฟืองตัวใหญ่



รูปที่ ข.2 แบบโครงสร้างของเฟืองตัวเล็ก



รูปที่ ข.3 แบบโครงสร้างของเพลาล้อ



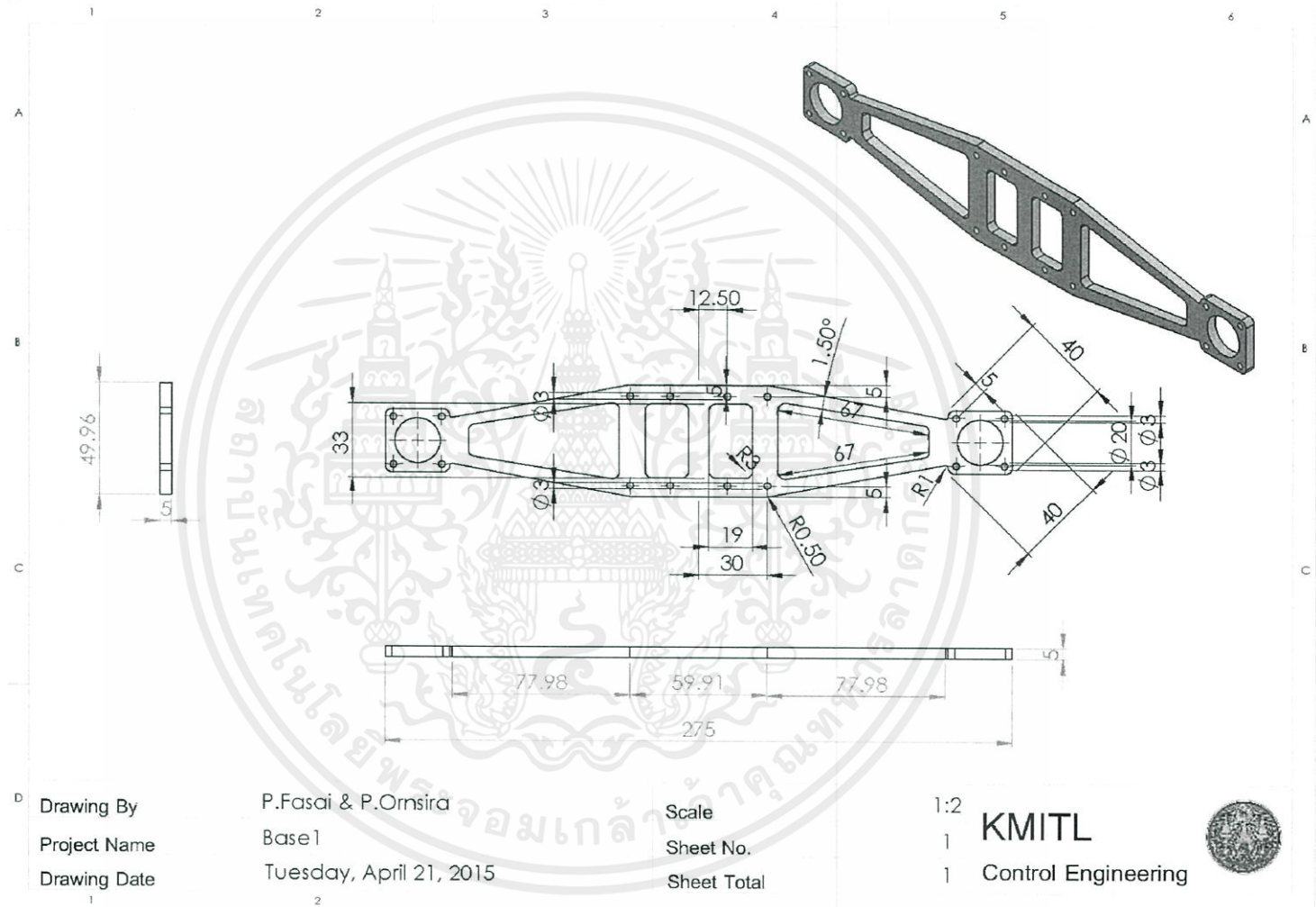
รูปที่ ข.3 แบบโครงสร้างของล้อ

Drawing By	P.Fasai & P.Ornsira	Scale	1:2
Project Name	Front_wheel	Sheet No.	1
Drawing Date	Wednesday, April 22, 2015	Sheet Total	1

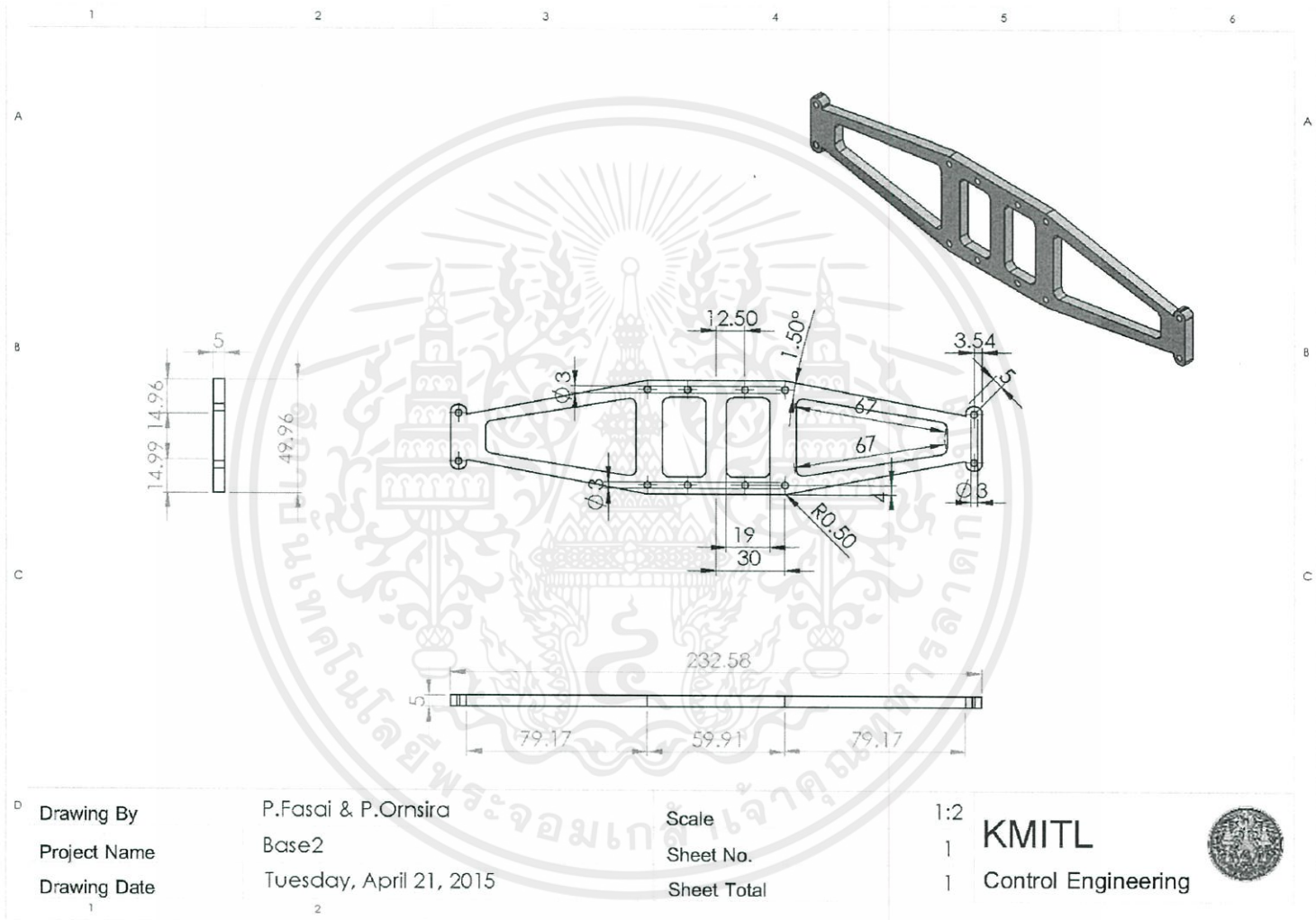
KMITL
Control Engineering

รูปที่ ข.4 แบบโครงสร้างของล้อหน้า

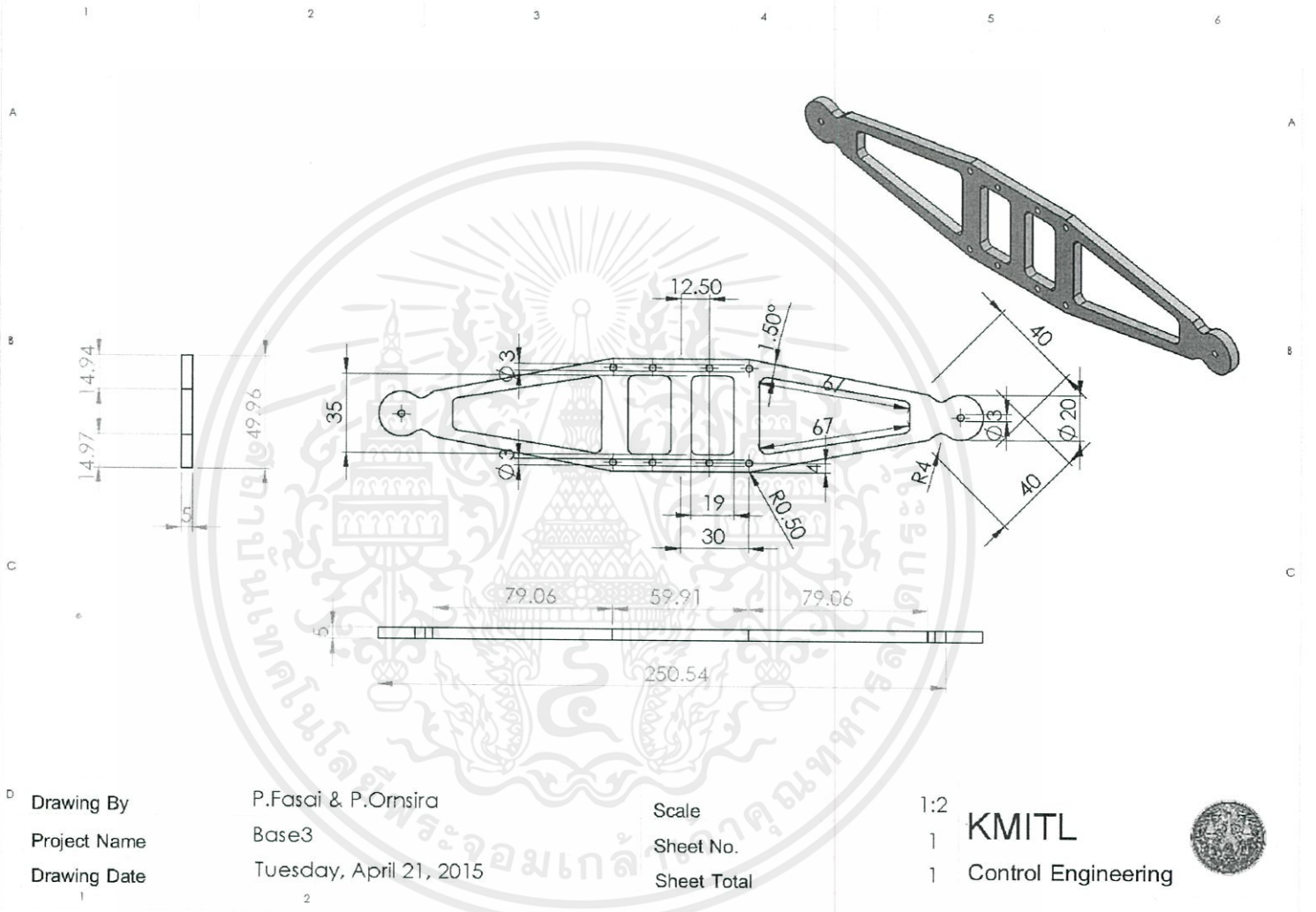
รูปที่ ข.5 แบบโครงสร้างของล้อหลัง



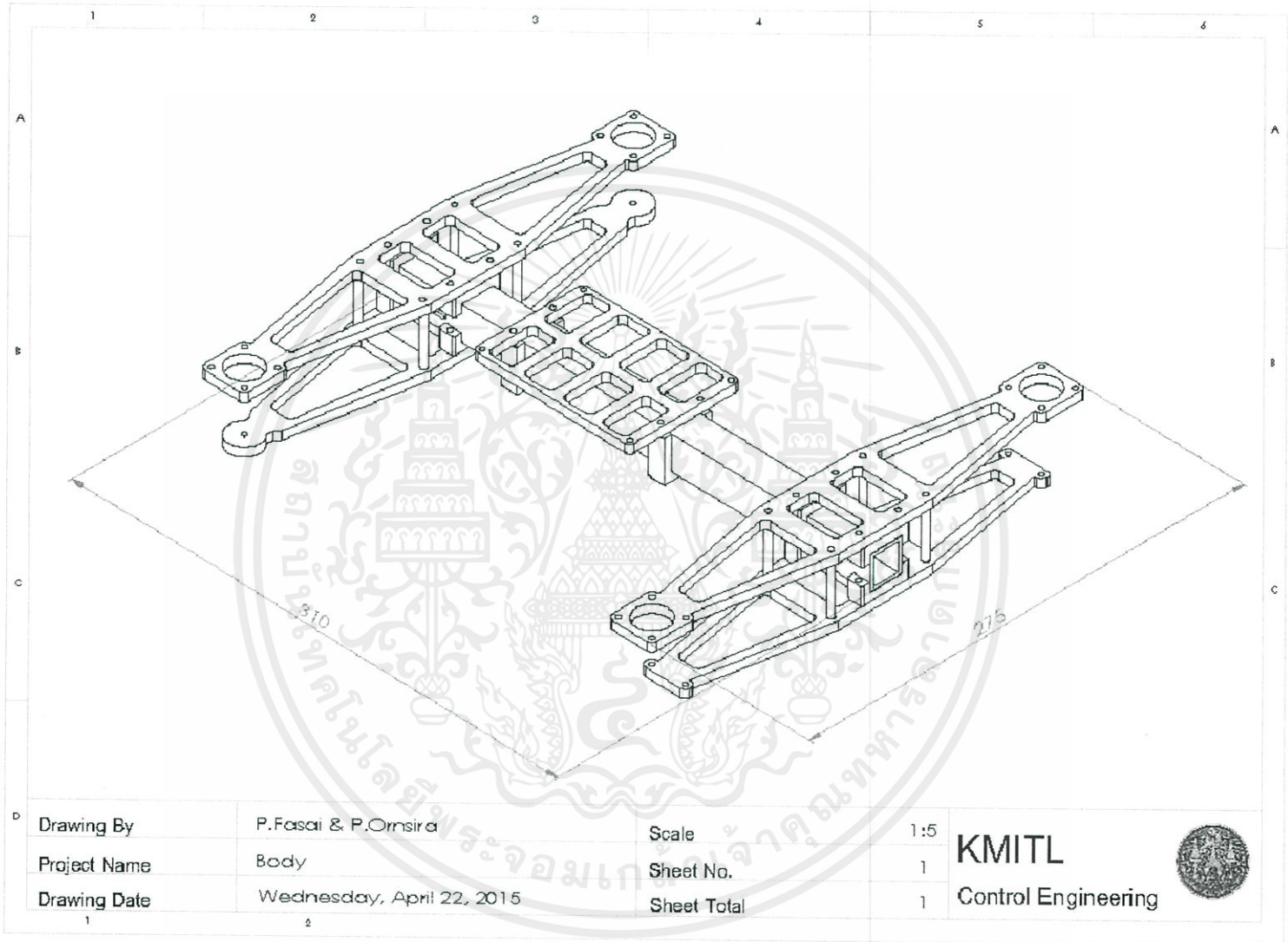
รูปที่ ข.6 แบบโครงสร้างของฐานล้อ



รูปที่ ข.7 แบบโครงสร้างของฐานล้อหน้า



รูปที่ ข.8 แบบโครงสร้างของฐานล้อหลัง



รูปที่ ข.9 แบบโครงสร้างของโครงรถ

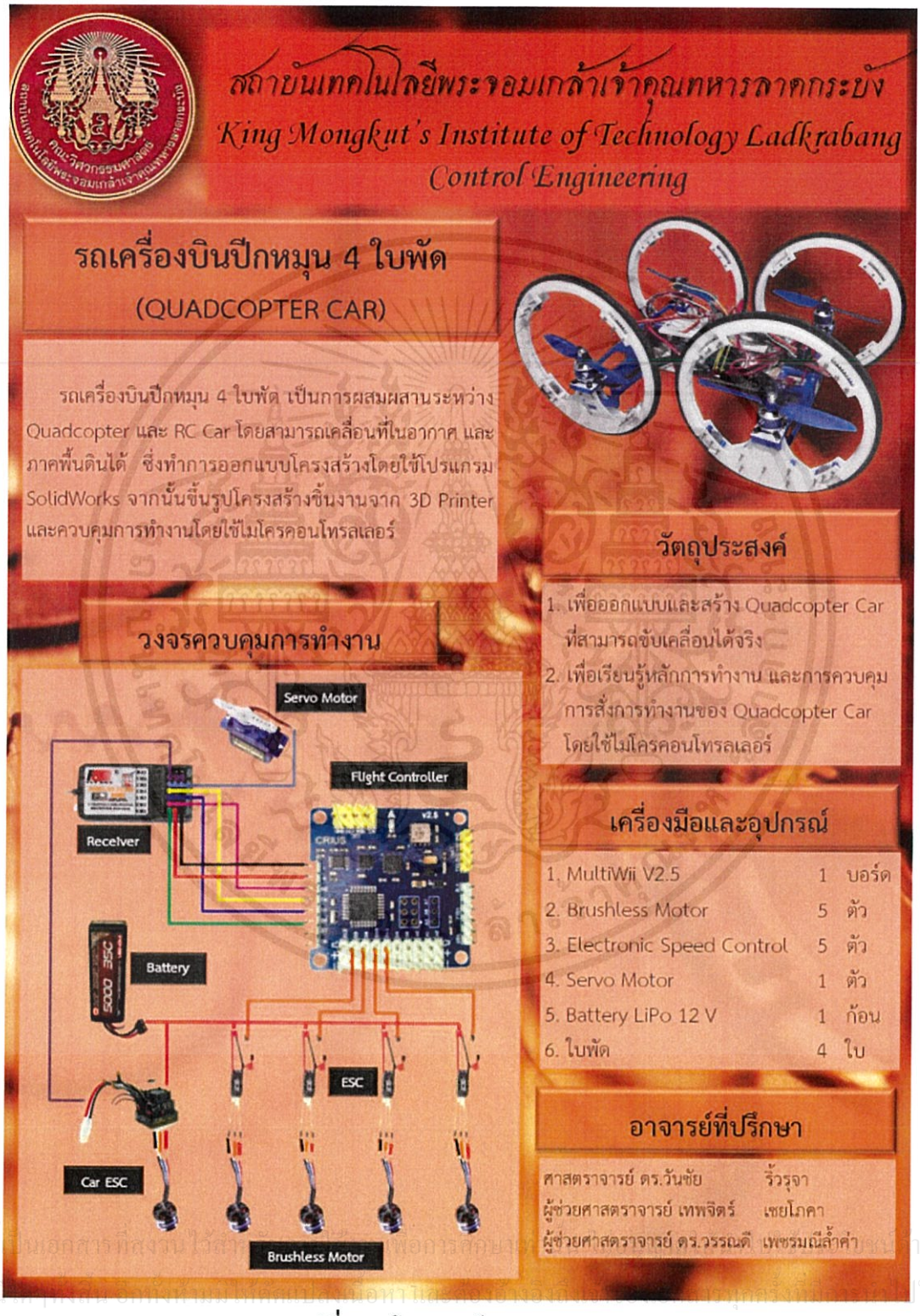
ภาคผนวก ค
การใช้งานรีโมทควบคุม

รูปที่ ค.1 รีโมทควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

โปสเตอร์แสดงผลงาน



รูปที่ ง.1 โปสเตอร์แสดงผลงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้