รถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด

QUADCOPTER CAR

ปิยะเดช พิสิษฐ์กุล
พิชญุตม์ เนตรพระ
พิทวัส วรรณชัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

รถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด

QUADCOPTER CAR

ปิยะเดช พิสิษฐ์กุล
พิชญุตม์ เนตรพระ
พิทวัส วรรณชัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

QUADCOPTER CAR

PIYADET PISITKUL
PICHAYUT NETPRA
PITAWAT WANACHAI

THIS 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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำเนื้อหาไปดัดแปลงเพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด
QUADCOPTER CAR

ผู้จัดทำ

นายปิยะเดช	พิสิษฐ์กุล	54010822
นายพิชญุตม์	เนตรพระ	54010914
นายพิทวัส	วรรณชัย	54010920

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริ้วรุจา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด

โดย

นายปิยะเดช พิสิษฐ์กุล 54010822
นายพิชญุตม์ เนตรพระ 54010914
นายพิทวัส วรรณชัย 54010920

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

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเสนอโครงงานการออกแบบและพัฒนาเครื่องบินสี่ใบพัดที่สามารถวิ่งบนพื้นได้ภายใต้ชื่อว่า "รถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด" โดยรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัดลำนี้อยู่ในขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาในขั้นต้น จุดประสงค์หลักคือ เพื่อศึกษาหลักการทำงาน การโปรแกรมควบคุมการสั่งงานผ่านตัวคอนโทรลเลอร์ และการออกแบบโครงสร้างการเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับตัวรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด โดยหลักการทำงานจะใช้ MultiWii Flight Controller เป็นตัวควบคุมการสั่งงานให้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านแต่ละตัว ผ่านตัวควบคุมความเร็วที่ได้มาจากตัวรับสัญญาณที่ความถี่ 2.4 GHz จากรีโมทคอนโทรลเลอร์ ในส่วนของชุดควบคุมระดับการเอียงจะรวมอยู่ใน MultiWii Flight Controller จะมีทั้งหมด 3 แกน เพื่อควบคุมการเอียงในรูปแบบต่างๆ คือ การเอียงหน้า-เอียงหลัง การเอียงซ้าย-เอียงขวา และการหมุนตัว ในส่วนของการวิ่งจะใช้การติดต่อกับภาครับสัญญาณโดยตรง โดยไม่ผ่านตัวคอนโทรลเลอร์ ใช้สัญญาณ 2 ช่องสัญญาณคือ ช่องสัญญาณแรกจะเป็นระบบการขับเคลื่อนเดินหน้า-ถอยหลัง จะใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน และตัวควบคุมความเร็วแบบกลับทางได้เป็นตัวขับ ส่วนอีกช่องสัญญาณจะเป็นตัวควบคุมการเลี้ยวซ้าย-ขวา จะใช้เซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวควบคุม เพื่อให้เคลื่อนที่บนภาคพื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUADCOPTER CAR

By

Mr.Piyadet Pisitkul 54010822

Mr.Pichayut Netpra 54010914

Mr.Pitawat Wannachai 54010920

Advisors

Prof.Dr.Wanchai Reawruja

Asst.Prof. Thepjit Cheyphocha

Asst.Prof. Dr.Wandee Petchmaneelamkha

Academic Year 2014

ABSTRACT

This thesis presents the design and development of quadcopter which can run on the ground. The project was named "Quadcopter Car" and still in designing and developing progress. The main purposes of this project are to study quadcopter's working system by using microcontroller and to design suitable body for quadcopter car. This quadcopter car uses MultiWii Flight controller with internal gyro and accelerometer to control the flight motion (yaw, pitch and roll motions). During flight, this flight controller receives a signal from remote controller via 2.4 GHz receiver. After that it calculates and sends signal to control brushless motor and electronics speed controller (ESC). In the ground movement part, it will be controlled directly via receiver by using two remaining channels. The first is used to control forward and backward movements by using brushless motor and reverse electronics speed controller (Reverse ESC). Another channel is use to control steering arm by using servo motor for the effective movement on the ground.

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริ้วรุจา ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า และอาจารย์ทุกๆ ท่าน ที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ในโครงงาน ทั้งในด้านทฤษฎี และทางปฏิบัติ รวมทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ น้องๆ นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม ที่ช่วยให้คำปรึกษาแก้ไขในส่วนที่คณะผู้จัดทำยังไม่มีความเข้าใจเป็นอย่างดี ตลอดจนมิตรภาพ และกำลังใจที่มีให้กันมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนแรงบันดาลใจที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จเสร็จสมบูรณ์ และลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

ปิยะเดช พิสิษฐ์กุล

พิชญุตม์ เนตรพระ

พิทวัส วรรณชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในโครงงาน	4
2.1.1 การควบคุมการบินของเครื่องบิน 4 ใบพัด	4
2.1.1.1 การลอยตัวนิ่ง (Hovering)	4
2.1.1.2 การเร่ง – ลดความเร็วในแนวดิ่ง (Throttle)	5
2.1.1.3 การเอียงตัวซ้าย-ขวา (Roll)	5
2.1.1.4 การเอียงตัวหน้า-หลัง (Pitch)	6
2.1.1.5 การหมุนตัว (Yaw)	6
2.1.2 หลักการของใบพัด	7
2.1.2.1 ข้อมูลทั่วไป	7
2.1.2.2 ความหมายของคำที่ควรทราบ	8
2.1.2.3 แรง และความล้า ที่กระทำบนใบพัดขณะทำการบิน	12
2.1.3 หลักการทำงานของ Accelerometer	13
2.1.4 หลักการทำงานของ Gyroscope	15
2.1.5 แบตเตอรี่	16
2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง Quadcopter Car	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	16
2.2.2 Multiwii Flight Controller	17
2.2.3 เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง	18
2.2.4 ESC	20
2.2.5 ตัวควบคุมความเร็วสำหรับมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านแบบถอยหลังได้	21
2.2.6 Gyroscope	21
2.2.7 เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ (Transmitter)	22
2.2.8 เครื่องรับสัญญาณวิทยุ (Receiver)	22
บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบและการสร้าง	24
3.1 หลักการออกแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์เบื้องต้น	24
3.1.1 การออกแบบการบินเบื้องต้น	24
3.1.2 การเลือกอุปกรณ์สำหรับการบินเบื้องต้น	25
3.1.2.1 มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านและใบพัด (Propeller)	25
3.1.2.2 ตัวควบคุมความเร็ว	26
3.1.2.3 แบตเตอรี่	27
3.1.3 การเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิ่งเบื้องต้น	28
3.1.3.1 มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านของรถ	28
3.1.3.2 ตัวควบคุมความเร็วสำหรับมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านแบบถอยหลังได้	28
3.1.3.3 เซอร์โวมอเตอร์	29
3.1.4 การเลือกตัวควบคุมการบิน (Flight Controller)	30
3.1.5 การเลือกวิทยุบังคับและตัวรับสัญญาณ	30
3.2 การออกแบบโครงสร้างและขั้นตอนการสร้าง	31
3.2.1 การศึกษาและออกแบบระบบการเคลื่อนที่บนพื้น	31
3.2.2 การออกแบบส่วนประกอบโดยใช้โปรแกรม SolidWorks	33
3.2.3 การจัดทำส่วนประกอบโดยใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ	36
3.3 ส่วนโปรแกรมควบคุมการบินของ Quadcopter Car	37
3.3.1 การใช้งานในส่วนโปรแกรม Arduino	38
3.3.2 การใช้งานในส่วนของโปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI)	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 โครงสร้างของระบบ	43
3.4.1 การออกแบบวงจรควบคุม	45
3.4.1.1 วงจรควบคุมการบิน	46
3.4.1.2 วงจรควบคุมการวิ่ง	47
3.4.2 การควบคุม Quadcopter Car โดยใช้วิทยุและตัวรับสัญญาณ	47
บทที่ 4 ผลการทดลอง	48
4.1 การทดสอบมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน	48
4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่บนพื้น	52
4.3 การทดสอบการบิน และการปรับค่าพีไอดี	52
บทที่ 5 ผลสรุปและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุป	55
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินโครงงานนี้	56
5.3 ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	59
ภาคผนวก ก แบบ Drawing โครงสร้างของส่วนประกอบรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด	60
ภาคผนวก ข โปสเตอร์	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การลอยตัวนิ่งของ Quadcopter	4
2.2 การเร่งความเร็วในแนวดิ่งของ Quadcopter	5
2.3 การเอียงตัวไปทางขวาของ Quadcopter	5
2.4 การเอียงตัวไปข้างหน้าของ Quadcopter	6
2.5 การหมุนตัวของ Quadcopter	6
2.6 การบินของเครื่องบิน	7
2.7 การเคลื่อนที่ผ่านอากาศ	7
2.8 Leading Edge	8
2.9 Blade Face	8
2.10 Thrust Face	9
2.11 Plane of Rotation	9
2.12 Blade Angle	10
2.13 Relative Wind	11
2.14 Geometric Pitch	11
2.15 แรงและความล้าที่กระทำบนใบพัดขณะทำการบิน	12
2.16 โครงสร้างพื้นฐานของมิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบ Seismic Mass	13
2.17 โครงสร้างพื้นฐานของมิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริก	14
2.18 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มกำลังให้กับแบตเตอรี่	16
2.19 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	17
2.20 วงจรควบคุม Multiwii Flight Controller	18
2.21 เซอร์โวมอเตอร์รุ่น S03T STD	19
2.22 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์	19
2.23 Timing Diagram ของ Control Pulse	20
2.24 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในของ ESC	20
2.25 ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านแบบถอยหลังได้	21
2.26 GyroScope ที่ใช้ใน Quadcopter	22
2.27 เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ Futaba 6J-2.4GHz	22
2.28 เครื่องรับสัญญาณวิทยุ	23
3.1 หลักเบื้องต้นของการบิน	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 การคำนวณแรงยกของ Quadcopter	25
3.3 A2212 1400KV Brushless Outrunner Motor	25
3.4 Hobbywing Eagle 30 A ESC	27
3.5 แบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ขนาด 3 เซลล์ แรงดันไฟฟ้า 11.1 โวลต์	27
3.6 EMAX BL2210 1300KV Brushless Outrunner Motor	28
3.7 HobbyKing Brushless Car ESC 45A with Reverse	29
3.8 เซอร์โวมอเตอร์	29
3.9 MultiWii SE v2.5 Flight Controller Board	30
3.10 การควบคุมทิศทางของ Quadcopter ผ่านทางวิทยุบังคับ	31
3.11 วิทยุ FlySky FS T6 2.4 GHz	31
3.12 การเคลื่อนที่โดยใช้ระบบสายพาน	32
3.13 ล้อที่ออกแบบโดยใช้ระบบฟันเฟืองและสายพาน	32
3.14 ขยายส่วนประกอบล้อ	32
3.15 การเขียนแบบส่วนล้อหลังในโปรแกรม SolidWorks 1	33
3.16 การเขียนแบบส่วนล้อหลังในโปรแกรม SolidWorks 2	33
3.17 การเขียนแบบส่วนล้อหน้าในโปรแกรม SolidWorks 1	34
3.18 การเขียนแบบส่วนล้อหน้าในโปรแกรม SolidWorks 2	34
3.19 การเขียนแบบส่วนตัวโครงในโปรแกรม SolidWorks 1	35
3.20 การเขียนแบบส่วนตัวโครงในโปรแกรม SolidWorks 2	35
3.21 ชิ้นส่วนเฟืองที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ	36
3.22 ชิ้นส่วนโครงที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ	36
3.23 ชิ้นส่วนข้อต่อต่างๆ ได้จากการพิมพ์สามมิติ	36
3.24 ชิ้นส่วนแขนได้จากการพิมพ์สามมิติ	37
3.25 ชิ้นส่วนล้อและกรอบล้อได้จากการพิมพ์สามมิติ	37
3.26 การระบุค่าชนิดของคอปเตอร์ในฟังก์ชันไฟล์ Config.h	38
3.27 การระบุชนิดของบอร์ดและไมโครคอนโทรลเลอร์ในฟังก์ชันไฟล์ Config.h	39
3.28 การแก้ไขค่า MAXTHROTTLE ในฟังก์ชันไฟล์ Config.h	39
3.29 ตัวสื่อสารอนุกรม FTDI to RS232R	40
3.30 การเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม MultiWiiConf ในส่วน Graphical User Interface	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.31 การใช้งานโปรแกรม MultiWiiConf ในส่วน Graphical User Interface 1	41
3.32 การใช้งานโปรแกรม MultiWiiConf ในส่วน Graphical User Interface 2	42
3.33 การใช้งานโปรแกรม MultiWiiConf ในส่วน Graphical User Interface 3	43
3.34 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด	44
3.35 วงจรควบคุมทั้งหมดของ Quadcopter Car	45
3.36 ทิศทางการหมุนของใบพัดเมื่อบินแบบโครงเป็นตัว X	46
3.37 การกำหนดแผงวิทยุบังคับสำหรับการควบคุมการบินในอากาศและการวิ่งบนพื้นของ Quadcopter Car ที่สร้างขึ้น	47
4.1 Tachometer แบบ Photo Type	48
4.2 การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อมีใบพัด	48
4.3 การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อไม่มีใบพัด	49
4.4 ค่าพีไอดีเริ่มต้นของ Flight Controller	52
4.5 ค่าพีไอดีที่ได้ปรับ	53
4.6 ค่าพีไอดีที่เหมาะสม	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ผลของการใช้มอเตอร์ 1400 KV ร่วมกับใบพัด 8 นิ้ว	26
3.2 คุณสมบัติของมอเตอร์ EMAX BL2210 1300KV	28
4.1 มอเตอร์ตัวที่ 1 วัดความเร็วรอบขณะที่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.33 โวลต์	49
4.2 มอเตอร์ตัวที่ 1 วัดความเร็วรอบขณะที่มอเตอร์ไม่ต่อกับใบพัดที่แรงดัน 11.33 โวลต์	49
4.3 มอเตอร์ตัวที่ 2 วัดความเร็วรอบขณะที่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.22 โวลต์	50
4.4 มอเตอร์ตัวที่ 2 วัดความเร็วรอบขณะที่ไม่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.22 โวลต์	50
4.5 มอเตอร์ตัวที่ 3 วัดความเร็วรอบขณะที่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.21 โวลต์	50
4.6 มอเตอร์ตัวที่ 3 วัดความเร็วรอบขณะที่ไม่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.12 โวลต์	51
4.7 มอเตอร์ตัวที่ 4 วัดความเร็วรอบขณะที่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.09 โวลต์	51
4.8 มอเตอร์ตัวที่ 4 วัดความเร็วรอบขณะที่ไม่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.45 โวลต์	51
4.9 ที่ตำแหน่งการโยกคันบังคับที่ 25 %	52
4.10 ที่ตำแหน่งการโยกคันบังคับที่ 50 %	52
4.11 ค่าพีไอดี ที่ได้รับการปรับ	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ปัจจุบันการเล่นคอปเตอร์บังคับวิทยุ หรือที่เรียกกันว่า RC Copter ดูจะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในประเทศไทย คำว่า RC ย่อมากจากคำว่า Radio Control หรือคนส่วนใหญ่เรียกว่า Remote Control ซึ่งหมายความว่า การบังคับด้วยสัญญาณคลื่นวิทยุหรือการบังคับระยะไกลนั่นเอง RC Copter มีอยู่หลายประเภท ตามรูปแบบของการใช้งาน เช่น RC Tricopter, RC Quadcopter และ RC Hexacopter เป็นต้น ซึ่งชื่อเรียกแต่ละชื่อจะเรียกตามจำนวนของใบพัด RC Copter บางกลุ่มนิยมเล่นเพื่อความสนุกนาน แต่สำหรับบางกลุ่มหรือบางองค์กรนำไปประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์เฉพาะทาง เช่น ติดกล้องบันทึกภาพ วีดีโอ เพื่อใช้สอดแนมหรือทำแผนที่ทางการทหาร สำรวจลักษณะภูมิประเทศทางธรณีวิทยา หรือใช้ค้นหาผู้ประสบภัยในพื้นที่เสี่ยงภัยของหน่วยกู้ภัย ซึ่งถือเป็นเครื่องมือถ่ายและบันทึกภาพทางอากาศขนาดเล็กที่มีต้นทุนต่ำ สามารถขึ้นบินได้โดยอัตโนมัติโดยไม่จำเป็นต้องมีนักบิน เพื่อลดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินที่จะเกิดขึ้น

สำหรับโครงงานชิ้นนี้ผู้จัดทำได้เกิดแนวคิดที่ต้องการจะศึกษาระบบการทำงาน และออกแบบโครงสร้างของ “รถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด” (Quadcopter Car) ซึ่งจะแตกต่างจาก RC Quadcopter ทั่วไปที่ขึ้นบินได้เพียงอย่างเดียว หากยังสามารถวิ่งบนพื้นได้ด้วย โดยการบังคับด้วยสัญญาณคลื่นวิทยุและอาศัยทฤษฎีแรงยก ที่มีความสัมพันธ์กับขนาดของมอเตอร์ (Motor) ขนาดของใบพัด (Propeller) และตัวควบคุมความเร็ว (Electronic Speed Control, ESC) หลักการเคลื่อนที่ของคอปเตอร์สี่ใบพัด (Movement) การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์แต่ละตัว รวมไปถึงเครื่องส่งสัญญาณและรับสัญญาณวิทยุเพื่อที่จะใช้เป็นเครื่องต้นแบบ สำหรับพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพทั้งการใช้ประโยชน์ทางภาคพื้นดินและภาคพื้นอากาศต่อไป

ในอนาคตผู้จัดทำคาดหวังว่าจะสามารถนำเอาเทคโนโลยีการสร้างรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด และระบบนำทางอัตโนมัติผ่านระบบจีพีเอส (Global Positioning System, GPS) ที่สามารถใช้ระบุตำแหน่ง นำมาใช้ในการบอกพิกัดตำแหน่งปัจจุบัน แล้วนำมาประมวลผลในระบบควบคุมการบินของเครื่องบิน โดยเครื่องบินนั้นจะสามารถบินตามเส้นทางที่กำหนดไว้ หรือที่นิยมเรียกกันว่า โหมดการบินแบบ Autopilot และระบบบันทึกภาพถ่ายและวีดีโอมาใช้ประโยชน์ในการถ่ายภาพทางอากาศด้วยการบินแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการสร้างและการทำงานของรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด
2. เพื่อเรียนรู้การควบคุม สั่งการทำงานโดยเขียนโปรแกรมลงในตัวคอนโทรลเลอร์ได้
3. เพื่อสร้างรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัดที่บินและวิ่งได้จริงและสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ ได้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้ผู้จัดทำจำเป็นที่จะต้องกำหนดขอบเขตการศึกษา เพื่อให้มีแนวโน้มในการดำเนินงานให้สำเร็จตามขอบเขตที่ได้วางไว้ดังนี้

1. สร้างและออกแบบรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัดได้
2. สร้างรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัดที่สามารถบินขึ้น – ลง และควบคุมทิศทางการเลี้ยวได้
3. สร้างรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด ที่สามารถวิ่งบนพื้น และควบคุมทิศทางการเลี้ยวได้
4. สามารถควบคุมการบินและวิ่งจากระยะไกลได้

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงงาน

1. ออกแบบและสร้างรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด จากโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks)
2. พิมพ์ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ออกแบบไว้ในโปรแกรมโซลิดเวิร์ค จากเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) และตัดชิ้นส่วนของโครงจากเครื่อง CNC (Computer Numerical Control)
3. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่คอยรับส่งค่าของข้อมูลไปยังตัวรับสัญญาณและตัวรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด
4. ปรับค่า PID Controller และเปิดระบบให้ใช้งานทดลองบินและวิ่ง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด ที่สามารถขึ้นบินและวิ่งบนพื้นได้
2. ได้ศึกษาระบบการทำงานของเครื่องบินหลายใบพัดรวมถึงทฤษฎีต่างๆ ที่ทำให้ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนที่และลอยอยู่ในอากาศได้
3. ได้เรียนรู้การทำงานและการสั่งการควบคุมชุดไมโครคอนโทรลเลอร์
4. ได้เข้าใจปัญหาและเรียนรู้การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทกล่าวนำถึงวัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน ขอบเขตของโครงงาน ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและรายละเอียดของปริญญานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ และความรู้ที่เกี่ยวข้องในการสร้าง Quadcopter Car

บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างชิ้นงาน

บทที่ 4 ผลการทดลอง

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป สรุปการดำเนินการ ปัญหา และแนวทางการปรับปรุงโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

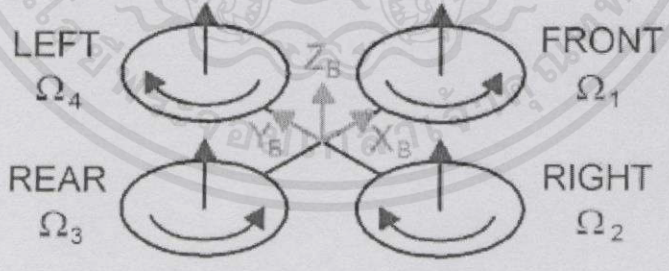
2.1 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในโครงงาน

2.1.1 การควบคุมการบินของเครื่องบิน 4 ใบพัด

การควบคุม Quadcopter ทำได้โดยการเปลี่ยนความเร็วของใบพัด ซึ่งทำให้แรงบิดและแรงยกของแต่ละใบพัดเปลี่ยนไป โดยใบพัดทั้ง 4 นั้นจะเป็นอิสระต่อกัน หลักการควบคุม Quadcopter ในแบบต่างๆ ทำได้ดังนี้

2.1.1.1 การลอยตัวนิ่ง (Hovering)

การลอยตัวนิ่ง ทำได้โดยควบคุมให้ความเร็วใบพัดทั้งสี่ตัวหมุนเพื่อสร้างแรงยกในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งถ้าความเร็วเท่ากันอาจไม่สามารถยกตัวขึ้นได้ เนื่องมาจากโครงสร้างที่มีการถ่ายเทน้ำหนักในแนวแกนที่ไม่เท่ากัน จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่า ใบพัดแต่ละคู่จะหมุนในทิศทางตรงข้ามกันคือ ใบพัดหน้าและหลังจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาใบพัดซ้ายและขวาจะหมุนตามเข็มนาฬิกา แรงบิดจากใบพัดแต่ละคู่จะหักล้างกันทำให้ Quadcopter ไม่หมุนตัว

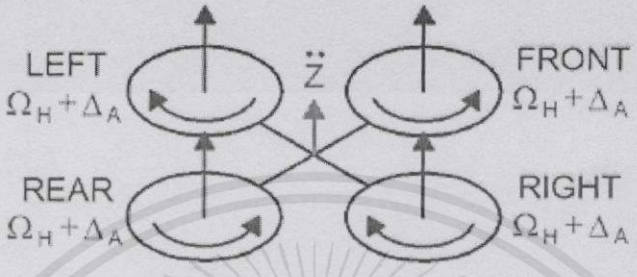


รูปที่ 2.1 การลอยตัวนิ่งของ Quadcopter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 การเร่ง – ลดความเร็วในแนวดิ่ง (Throttle)

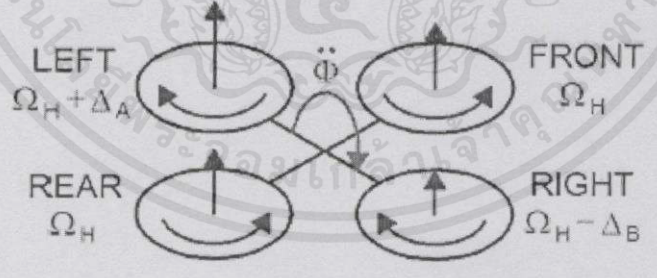
การเร่ง – ลดความเร็วในแนวดิ่งทำได้โดยใบพัดทั้งสี่จะต้องเพิ่มหรือลดความเร็วทุกใบพัดเท่าๆ กัน ทำให้ Quadcopter บินขึ้น-ลง จากรูปที่ 2.2 เป็นการเร่งความเร็วในแนวดิ่งโดยเพิ่มความเร็วทั้งสี่ใบพัดเท่ากันทำให้ Quadcopter ลอยขึ้น



รูปที่ 2.2 การเร่งความเร็วในแนวดิ่งของ Quadcopter

2.1.1.3 การเอียงตัวซ้าย-ขวา (Roll)

จากรูปที่ 2.3 ใบพัดหน้า (Front) หลัง (Rear) จะมีความเร็วเท่าเดิม แต่ความเร็วใบพัดซ้าย (Left) จะหมุนเร็วขึ้น ทิศทางนี้จะยกตัวขึ้น ส่วนใบพัดขวา (Right) จะหมุนด้วยความเร็วที่ช้ากว่า ทิศทางนี้ตกลงทำให้เกิดการเอียงตัวไปทางขวา ส่วนเอียงตัวซ้ายก็ใช้วิธีตรงกันข้าม

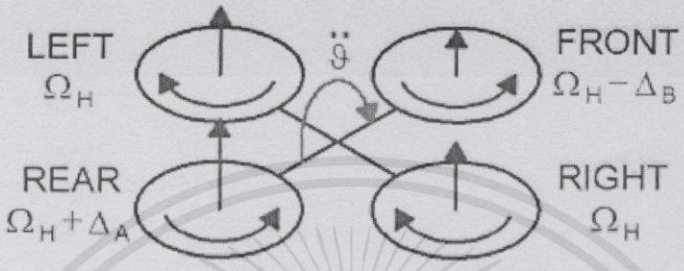


รูปที่ 2.3 การเอียงตัวไปทางขวาของ Quadcopter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4 การเอียงตัวหน้า-หลัง (Pitch)

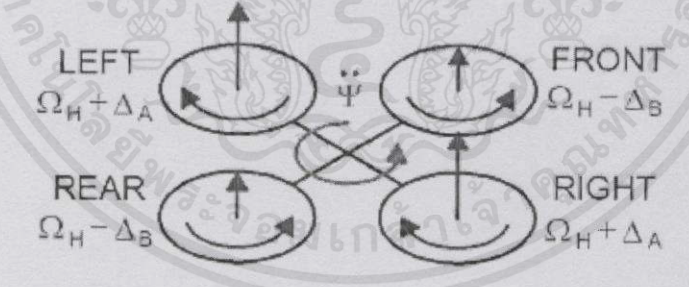
วิธีนี้คล้ายกับการเอียงตัวซ้าย - ขวา แต่เปลี่ยนเป็นให้ใบพัดซ้าย - ขวา และข้างหน้าให้มีความเร็วคงที่ แต่ความเร็วใบพัดหลังจะหมุนเร็วขึ้น ทำให้ทิศทางนี้ยกตัว ทำให้เครื่องบินเอียงไปข้างหน้า ดังรูปที่ 2.4 ส่วนการเอียงตัวทางด้านหลังก็ใช้วิธีตรงกันข้าม



รูปที่ 2.4 การเอียงตัวไปข้างหน้าของ Quadcopter

2.1.1.5 การหมุนตัว (Yaw)

การหมุนตัว ทำได้โดยให้ความเร็วใบพัดหน้า – หลังมากกว่าความเร็วใบพัดซ้าย – ขวาเพื่อให้แรงบิดด้านซ้ายหรือขวามากกว่า ทำให้เครื่องบินหมุนตัวได้



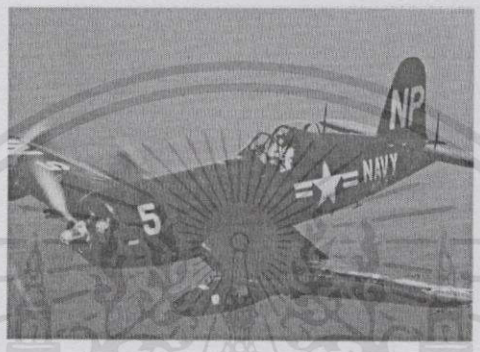
รูปที่ 2.5 การหมุนตัวของ Quadcopter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 หลักการของใบพัด

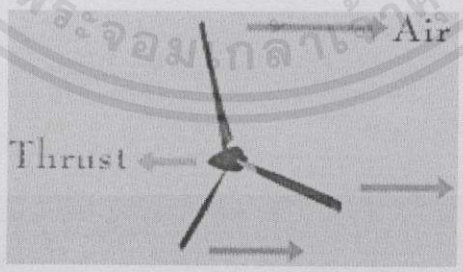
2.1.2.1 ข้อมูลทั่วไป

• Thrust เป็นแรงที่ใช้ขับเคลื่อนอากาศยานไปในอากาศ ซึ่งมีอยู่หลายแบบและหลายวิธีการในการสร้างระบบผลักดันนี้ขึ้นมา จุดมุ่งหมายของใบพัดก็คือการขับเคลื่อนอากาศยานให้เคลื่อนที่ไปในอากาศ ใบพัดประกอบใบด้วยใบ หรือกลีบตั้งแต่สองกลีบหรือสองใบขึ้นไปต่อกันด้วยที่ศูนย์กลาง ซึ่งเรียกว่า Hub ทำหน้าที่ยึดใบพัดแต่ละกลีบ หรือแต่ละใบเข้ากับ Shaft ของเครื่องยนต์



รูปที่ 2.6 การบินของเครื่องบิน

• ใบพัด สร้างขึ้นให้เป็น Airfoil คล้ายกับลักษณะของปีกเครื่องบิน เมื่อใบพัดหมุนโดยการหมุนของเครื่องยนต์ ใบพัดก็จะสร้างแรงยกไปทางด้านหน้าของเครื่องบิน และแรงยกส่วนนี้เราเรียกว่า Thrust ที่จะทำให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปข้างหน้า อากาศยานส่วนใหญ่ มีใบพัดแบบที่ใช้ดึงเครื่องบินผ่านไปในอากาศ ใบพัดประเภทนี้เรียกว่า ใบพัดแบบ Tractor อากาศยานบางเครื่องใช้ใบพัดแบบผลัก ให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปในอากาศ เรียกใบพัดประเภทนี้ว่า Pusher

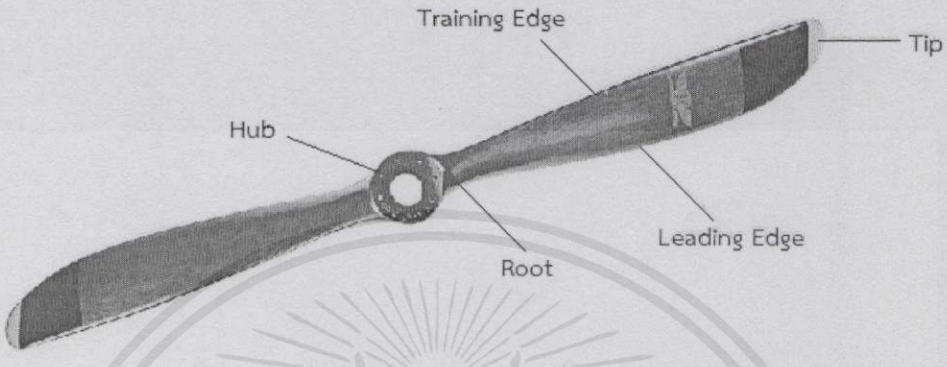


รูปที่ 2.7 การเคลื่อนที่ผ่านอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

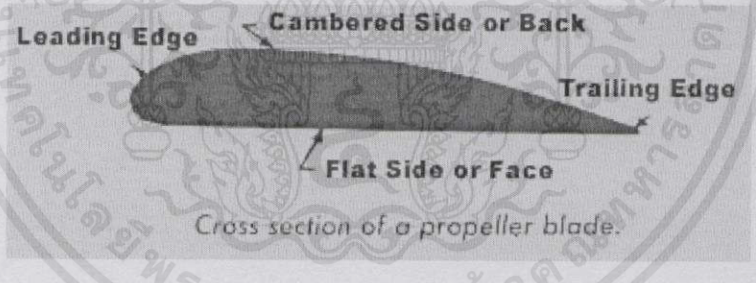
2.1.2.2 ความหมายของคำที่ควรทราบ

• Leading Edge คือ ส่วนแรกของใบพัดที่หมุนตัดกับอากาศ เมื่อใบพัดตัดอากาศ อากาศก็จะไหลผ่านบนด้านหน้าของใบพัด และส่วนที่เป็นส่วนโค้งของใบพัด



รูปที่ 2.8 Leading Edge

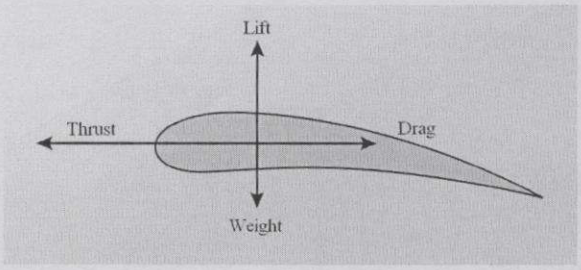
• Blade Face คือ ส่วนล่างของใบพัด หรือส่วนล่างของ Airfoil แต่อาจจะเรียกว่าเป็นด้านหลังของใบพัด



รูปที่ 2.9 Blade Face

• Thrust Face คือ ส่วนที่มีความโค้งพื้นผิวของใบพัด หรือบางทีเราเรียกว่าด้านหน้าของใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

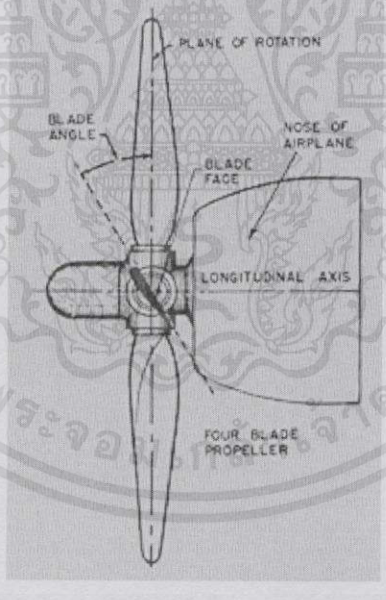


รูปที่ 2.10 Thrust Face

• Blade Shank (Root) คือ ส่วนของกลีบใบพัดที่อยู่ที่ส่วนหัว หรือส่วนที่อยู่ติดกับส่วนตรงกลาง (Hub)

• Blade Tip คือ ส่วนปลายสุดของใบพัด

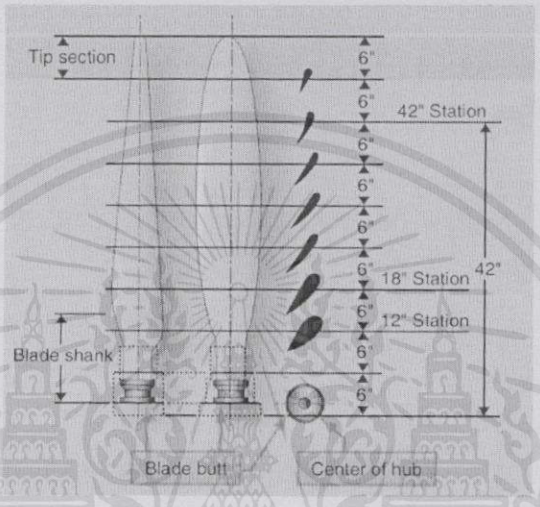
• Plane of Rotation คือ ระนาบจินตนาการของการหมุนของใบพัดที่ตั้งฉากกับแกนของเครื่องยนต์ ระนาบนี้จะเป็นระนาบวงกลม ตามที่ใบพัดหมุน



รูปที่ 2.11 Plane of Rotation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• Blade Angle คือ มุมที่เกิดจากส่วนของด้านหลังของใบพัด หรือ Blade Face กับระนาบการหมุนของใบพัด มุมที่เกิดขึ้นตลอดระยะความยาวของใบพัดตั้งแต่โคนถึงปลายใบพัด จะไม่เท่ากัน เหตุผลในการที่มุมตลอดใบพัดมีค่าต่างกัน เพราะว่าระยะความยาวของใบพัดจากแกนศูนย์กลางการหมุนไม่เท่ากัน ทำให้ความเร็วของใบพัดแต่ละส่วนมีความเร็วไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลกับแรงที่เกิดขึ้น ดังนั้น การออกแบบจึงต้องการให้ทุกๆ ส่วนของใบพัดมีมุม Angle of Attack ของส่วนของตัวเองที่มีประสิทธิภาพที่สุดที่สามารถสร้างแรง Thrust ตามความเร็วรอบที่ออกแบบ



รูปที่ 2.12 Blade Angle

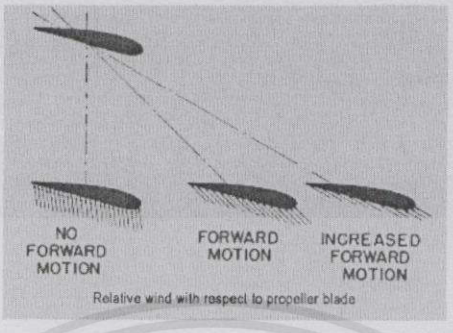
• Blade Element คือ ส่วนย่อยๆ ของความยาวของใบพัด เสมือนนำส่วนย่อยๆ นี้มาต่อกัน ขึ้นมาเป็นใบพัดหรือ Blade Airfoil ส่วนย่อยๆ นี้วางอยู่ในตำแหน่งที่ทำมุมกับระนาบการหมุนที่ต่างกัน

เหตุผลในการวางส่วนต่างๆ ที่มุมต่างกัน เพราะว่าส่วนย่อยๆ ต่างๆ ของใบพัดนั้นมีความเร็วในการหมุนที่ต่างกัน ส่วนของใบพัดที่อยู่ด้านในติดกับศูนย์กลางจะมีความเร็วที่ช้ากว่าส่วนที่อยู่ไกลออกไปที่ส่วนปลายของใบพัด ถ้าหากว่าทุกส่วนตลอดความยาวของใบพัดมีมุมเท่ากันหมด ทิศทางของลมที่กระทบกับใบพัด ก็จะไม่กระทบกับใบพัดที่มุม Angle of Attack ที่เท่ากัน นี่เป็นเพราะความเร็วของใบพัดตลอดระยะความยาว จะไม่เท่ากันใบพัดจะมีลักษณะบิดเป็นเกลียวเล็กน้อย (เนื่องจากการมีมุมที่ต่างกันในแต่ละส่วนของใบพัด) ในตัวของมันด้วยเหตุผลที่สำคัญ เมื่อใบพัดหมุนไปรอบๆ แต่ละส่วนของใบพัดหมุนด้วยความเร็วที่ต่างกัน การที่ใบพัดบิดเล็กน้อย นั่นหมายความว่าแต่ละส่วนที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็วเท่ากัน จึงทำให้ไม่เกิดแรงที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของใบพัดมากกว่ากัน ซึ่งจะทาให้เกิดอาการงอได้ (Bending)

เอกสารนี้ใช้สำหรับการเรียนการสอนและการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• Thrust ที่เกิดจากใบพัดที่ติดอยู่กับ Shaft ของเครื่องยนต์ ขณะที่ใบพัดหมุนขณะทำการบิน แต่ละส่วนเคลื่อนไหวพร้อมกับการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของเครื่องบิน และการหมุนรอบ

ของใบพัด ส่วนที่หมุนช้าก็จะมีมุม Angle of Attack ที่มากกว่าในการสร้าง Thrust ดังนั้นรูปร่าง (Cross Section) ของใบพัดจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงจากโคนใบพัดไปจนถึงปลายของใบพัด และการเปลี่ยนรูปร่างเช่นนี้ทำให้ใบพัดมีลักษณะบิด (Twist) ของใบพัด



รูปที่ 2.13 Relative Wind

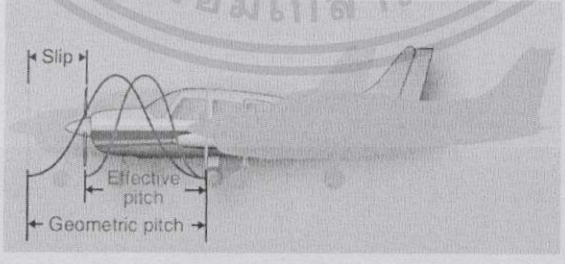
• Relative Wind คือ ลมที่ผ่าน Airfoil เมื่อ Airfoil เคลื่อนที่ผ่านอากาศ

• Angle of Attack เป็นมุมระหว่าง Chord ของ Element กับ Relative Wind สำหรับใบพัดแล้ว มุมที่มีประสิทธิภาพจะอยู่ระหว่าง 2 ถึง 4 องศา

• Blade Path เป็นทางเดินที่ใบพัดเคลื่อนที่ไป

• Pitch อ้างถึงระยะทางที่เป็นเกลียวเหมือนเกลียวของสกรูที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าหนึ่งรอบ ซึ่งก็เหมือนใบพัดเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเมื่อหมุนอยู่ในอากาศ

• Geometric Pitch เป็นระยะทางในทางทฤษฎี ที่ใบพัดควรจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเมื่อใบพัดหมุนไปหนึ่งรอบ



รูปที่ 2.14 Geometric Pitch

• Effective Pitch เป็นระยะทางในทางปฏิบัติจริงๆ เมื่อใบพัดหมุนหนึ่งรอบในขณะทำการบินในอากาศ Effective Pitch จะมีระยะทางสั้นกว่า Geometric Pitch เสมอ เนื่องจากอากาศที่เป็นของไหลจะลื่นไถล (Slip)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

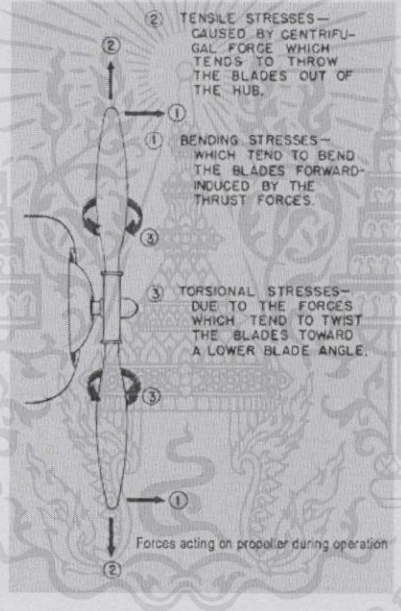
2.1.2.3 แรง และความล้าที่กระทำบนใบพัดขณะทำการบิน

ก. แรง (Force) ที่กระทำต่อใบพัดขณะทำการบิน คือ

• Thrust เป็นแรงของอากาศบนใบพัดซึ่งขนานกับทิศทางที่ไปข้างหน้า และก่อให้เกิดแรงที่ทำให้ใบพัดมีอาการที่จะงอ

• Centrifugal Force เป็นแรงหนีศูนย์กลาง เกิดจากการหมุนของใบพัด มีอาการที่พยายามเหวี่ยงใบพัดออกไปจากศูนย์กลาง

• Torsion or Twisting Forces ภายในตัวของใบพัดเอง ซึ่งเกิดจากผลของแรงที่เกิดจากอากาศที่พยายามจะบิดใบของใบพัดไปหามุมที่ต่ำกว่า หรือไปหามุมที่แบน



รูปที่ 2.15 แรงและความล้าที่กระทำบนใบพัดขณะทำการบิน

ข. Stress ที่กระทำต่อใบพัดขณะทำการบิน คือ

• Bending Stresses ซึ่งเกิดจากแรง Trust ที่กระทำต่อใบพัด Stresses อันนี้พยายามที่จะโค้งงอ ใบพัดไปข้างหน้า ขณะที่เครื่องบินเคลื่อนที่ไปในอากาศด้วยใบพัด

• Tensile Stresses เกิดจากแรงหนีศูนย์กลางของใบพัดเอง

• Torsion Stresses แรงบิดนี้เกิดจากการหมุนของใบพัดเอง ด้วยแรงบิดสองแรง แรงแรกเกิดจากแรงที่กระทำตอบโต้กับแรงลมที่เกิดจากใบพัด ที่เรียกว่า Aerodynamic Twisting Moment อีกแรงหนึ่งเกิดจากแรงหนีศูนย์กลาง และเรียกแรงนี้ว่า Centrifugal Twisting Moment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 หลักการทำงานของ Accelerometer

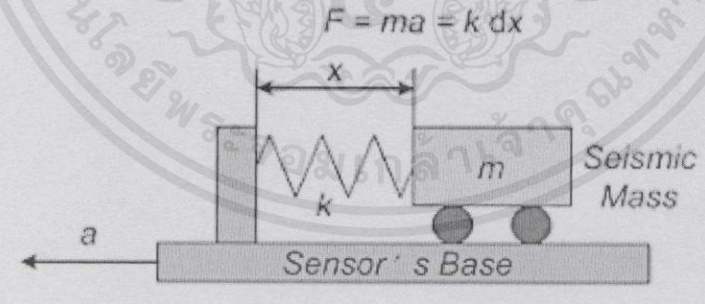
เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราเร่งก็คือ มิเตอร์วัดอัตราเร่งหรือแอกเซเลอโรมิเตอร์ (Accelerometer) โดยที่สามารถแบ่งลักษณะการตรวจวัดได้ 2 ลักษณะ

1. การตรวจวัดการช็อก (Shock) และการสั่นสะเทือน (Vibration) ซึ่งการช็อกคือ อัตราเร่งขนาดมหาศาลที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ การสั่นสะเทือนคือ อัตราเร่งขนาดเล็กที่เกิดขึ้นซ้ำกันไปเรื่อยๆ

2. การตรวจวัดอัตราเร่งของวัตถุ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการระบุตำแหน่งความเร็ว และระยะทางที่ได้จากการเคลื่อนที่ ซึ่งมิเตอร์วัดความเร่งนี้โดยหลักๆ แล้วจะแบ่งเป็น 2 ชนิด

ก. มิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบ Seismic Mass (Seismic Mass Accelerometer)

มิเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการตรวจวัดระยะขจัดเชิงเส้น แล้วนำไปคำนวณหาอัตราเร่งที่เกิดขึ้น โดยเทคนิคดังกล่าวสามารถอธิบายง่ายๆ ได้ก็คือ วัตถุชิ้นหนึ่งจะมีความเร่งได้ก็จะต้องมีแรงมากระทำ ยิ่งมีแรงมากระทำมากก็จะยิ่งมีความเร่งมาก ในขณะเดียวกันแรงต้านการเคลื่อนที่ก็จะมากด้วย นอกจากนี้เมื่อมีแรงมาทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ก็จะมีระยะขจัด ซึ่งก็จะแปรผันตรงกับแรงที่มากระทำที่วัตถุ ยิ่งแรงมากระยะขจัดยิ่งมาก จากความสัมพันธ์ดังกล่าวได้นำไปใช้เป็นหลักการพื้นฐานของมิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบ Seismic Mass ในการตรวจวัดอัตราเร่งของวัตถุในเทอมของระยะขจัดที่เกิดขึ้น



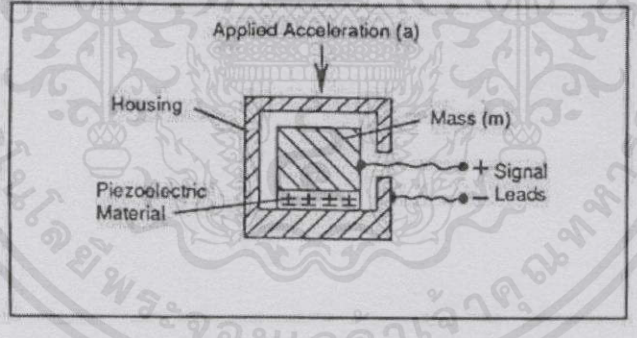
รูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของมิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบ Seismic Mass

โครงสร้างนี้มีมวล m ที่เรียกว่ามวลตรวจการสั่นไหว (Seismic Mass) ยึดติดอยู่กับสปริงที่มีค่า Spring Constant เท่ากับ k และมวลนี้สามารถเคลื่อนที่ในแนวระดับได้ ซึ่งหลักการทำงานก็ง่ายๆ ไม่ได้ซับซ้อนอะไร เมื่อตัวเซนเซอร์ตัวนี้ถูกทำให้มีอัตราเร่งเกิดขึ้นจะส่งผลให้มวล m เคลื่อนที่ ซึ่งระยะที่เคลื่อนที่ออกไปจะเป็นระยะขจัดเท่ากับ x และมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของตัวมิเตอร์ แต่ในทางปฏิบัติสามารถวัดระยะขจัดของมวล m ได้โดยอาศัยมิเตอร์อีกชนิดหนึ่งคือ มิเตอร์

วัดระยะขจัดเชิงเส้น เช่น LVDT หรือ Potentiometer ส่วนการวิเคราะห์หาค่าอัตราเร่งที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณหาได้โดยใช้คอมพิวเตอร์มิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบ Seismic Mass นี้จะนิยมใช้ในการตรวจวัดลักษณะการช็อกและลักษณะการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ต่ำมากๆ เช่น ในเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว หรือในเครื่องมือตรวจวัดการปะทุใต้ดินของภูเขาไฟ ฯลฯ

ข. มิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Accelerometer)

คุณสมบัติพื้นฐานทางไฟฟ้าของผลึกเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Crystal) ถูกค้นพบโดย Pierre และ Jacques Curie ในราวปี ค.ศ.1880 ซึ่งผลึกเพียโซอิเล็กทริกนี้มันมีคุณสมบัติพิเศษคือเมื่อมันถูกแรงทางกลมากระทำ มันจะสร้างประจุไฟฟ้าขึ้นมา โดยเป็นสัดส่วนกับแรงกระทำนั้น ซึ่งจากคุณสมบัติพิเศษนี้ได้ถูกดัดแปลงนำไปใช้สร้างอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย เช่น ใช้เป็นแบตเตอรี่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับนาฬิกาข้อมือดิจิตอลที่ใช้ทั่วไป และยังใช้สร้างมิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริกอีกด้วย โครงสร้างของมอเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริกประกอบด้วย Seismic Mass ยึดติดกับผลึกเพียโซอิเล็กทริก และบรรจุอยู่ในตัวถังป้องกันโดยผลึกเพียโซอิเล็กทริกที่นิยมนำมาใช้งาน ได้แก่ ผลึกควอตซ์ และผลึกโซเดียมโปตัสเซียมตาเตรต (Sodium Potassium Tartrate) เพราะมีความทนทานต่อแรงกระทำ และราคาไม่แพงมากนัก



รูปที่ 2.17 โครงสร้างพื้นฐานของมิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริก

สามารถอธิบายการทำงานง่ายๆ ได้ดังนี้ เมื่อ Seismic Mass (m) ถูกทำให้เกิดอัตราเร่งขึ้น มันจะส่งผ่านแรงกดไปกระทำกับผลึกเพียโซอิเล็กทริกที่ถูกยึดติดอยู่ด้วยกัน ด้วยคุณสมบัติพิเศษของมันจะทำให้ประจุไฟฟ้าถูกสร้างขึ้น และถูกสายนำสัญญาณออกไปยังเอาต์พุตของวงจรโดยที่ด้านเอาต์พุตจะต้องมีวงจรขยายประจุไฟฟ้า (Charge Amplifier) เพื่อขยายค่าประจุไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นแรงดันเอาต์พุตตามสัดส่วนของอัตราเร่ง ที่เกิดจะได้สามารถแสดงผลได้ด้วยโวลต์มิเตอร์มิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริกตอบสนองต่อทางด้านความถี่สูงได้ดี แต่ในทางกลับกันก็จะมีผลตอบสนองทางด้านความถี่ต่ำที่ไม่ดีนัก มีขนาดค่อนข้างเล็ก น้ำหนักเบา และสามารถใช้งานที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร่งได้สูงถึง 250,000 $m.s^{-2}$ ส่วนการประยุกต์ใช้งานที่น่าสนใจและกำลังเป็นที่นิยมอยู่ในขณะนี้เห็นจะเป็นเทคโนโลยีทัชสกรีน (Touch Screen) ที่ใช้ Accelerometer ตรวจจับการเคลื่อนไหวนิ้วมือของผู้ใช้ เวลาใช้นิ้วลากเร็วๆ มิเตอร์วัดความเร่งจะจับความเร่งที่นิ้วเคลื่อนไหวแล้วสั่งให้หน้าจอเลื่อนไปตามความเร่งนั้น ถ้าเลื่อนนิ้วเร็วหน้าจอก็เลื่อนเร็ว แต่ถ้าเลื่อนนิ้วช้าหน้าจอก็จะค่อยๆ เลื่อนไป ดังตัวอย่างเช่น เครื่องเล่นเกม Nintendo Wii มักจะใช้ Accelerometer ประกอบกับ Gyroscope โดย Accelerometer ใช้วัดการเคลื่อนที่ขึ้น ลง ซ้าย ขวา ส่วน Gyroscope ใช้วัดองศาความเอียงจับมุม ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวทุกทิศทาง

2.1.4 หลักการทำงานของ Gyroscope

ก. การทำงานของ Gyroscope

การหมุนของไจโร จะท้าท้ายกับแรงโน้มถ่วง คุณสมบัติอันพิเศษนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ตั้งแต่รถจักรยานจนถึงยานขนส่งอวกาศ เครื่องบินโดยสารทุกประเภทมี Gyroscope ไว้สำหรับทำเป็นเข็มทิศและระบบนำร่องอัตโนมัติสถานีอวกาศ Mir ของรัสเซีย ใช้ Gyroscope จำนวน 11 อัน เพื่อบังคับให้แผงโซลาร์เซลล์หันไปในทิศทางเดียวกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา การเคลื่อนที่แบบ Gyroscope จะเกิดกับมวลทุกชนิดในโลกที่มีการหมุน

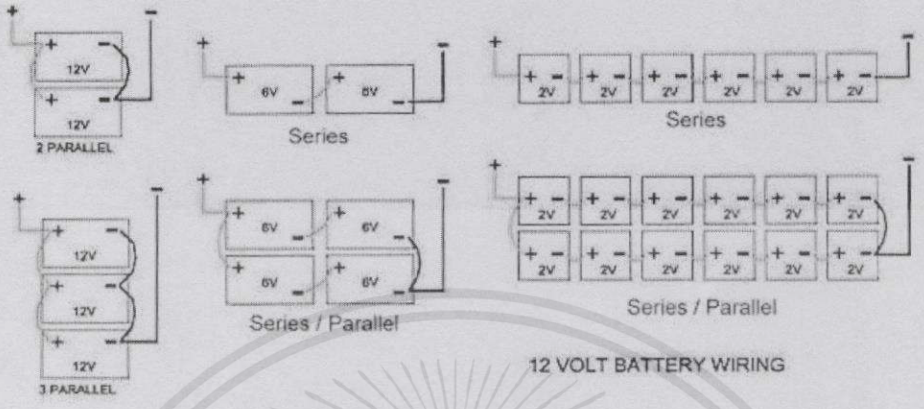
ข. การหมุนของ Gyroscope

การทำงานจะเป็นไปตามกฎของนิวตันคือ มวลจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่ถ้าไม่มีแรงภายนอกมากระทำเมื่อตัว Gyroscope หมุนไป 90 องศา จุดบนจะหมุนเปลี่ยนตำแหน่งไป 90 องศา และยังเคลื่อนที่ไปทางซ้ายเช่นเดียวกับจุดล่าง เมื่อหมุนขึ้นมา 90 องศา มันยังคงเคลื่อนที่ไปทางขวา ทำให้ล้อเกิดการหมุนควงขณะที่จุดบนและจุดล่างเปลี่ยนตำแหน่งไป 90 องศา การเคลื่อนที่ในครั้งแรกจะถูกยกเลิกไปไม่เกิดการพลิกของล้อ ดังนั้นแกนหมุนของ Gyroscope จะเหมือนกับห้อยอยู่กับที่ตลอดเวลา ดาวเทียมบางดวงใช้หลักของ Gyroscope เพื่อปรับตำแหน่งของดาวเทียมในอวกาศ ภายในดาวเทียมจะประกอบด้วยล้อ 3 อัน ตั้งฉากซึ่งกันและกัน แต่ละอันมีมอเตอร์และเบรกไว้สำหรับควบคุมการหมุน เมื่อล้อเริ่มหมุนดาวเทียมจะเริ่มหมุนเช่นกันแต่ไปในทิศตรงกันข้ามกับล้อ หลังจากที่อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการก็บังคับให้ล้อหยุดหมุน ดาวเทียมก็จะหยุดหมุนตามไปด้วย เมื่อใช้วิธีนี้สามารถที่จะบังคับทิศทางของดาวเทียมได้โดยไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงหรือพลังงานมากมายนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 แบตเตอรี่

การเพิ่มกำลังของแบตเตอรี่ สามารถทำให้ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นได้โดยการนำแบตเตอรี่มาต่อพ่วงโดย



รูปที่ 2.18 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มกำลังให้กับแบตเตอรี่

การเพิ่มกระแสไฟฟ้า ทำได้โดยการนำแบตเตอรี่มาต่อกันแบบขนาน ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเท่ากับผลรวมของความจุของแบตเตอรี่แต่ละอัน

การเพิ่มค่าความต่างศักย์ทำได้โดยการนำแบตเตอรี่ มาต่อกันแบบอนุกรม ค่าความต่างศักย์ที่ได้จะมีค่าเท่ากับผลรวมของค่าความต่างศักย์ของแบตเตอรี่แต่ละอัน

ข้อสังเกตประการหนึ่งเมื่อนำแบตเตอรี่มาต่อกันก็คือ แบตเตอรี่ แต่ละอันจะมีอัตราการคายประจุหรือการอัดประจุที่ไม่เท่ากัน เช่น ถ้านำแบตเตอรี่ที่ใช้ไปแล้วประมาณครึ่งหนึ่งจำนวนสองอันมาต่อกับแบตเตอรี่ที่ยังใหม่จำนวนสองอัน จะพบว่าแบตเตอรี่ที่ยังใหม่ ทั้งสองอันนี้จะถูกใช้งานมากที่สุด ดังนั้นเวลาที่จะเปลี่ยนแบตเตอรี่ หรืออัดประจุแบตเตอรี่ จึงควรที่จะทำพร้อมกันทั้งหมด ในทำนองเดียวกันถ้ามีแบตเตอรี่อันหนึ่งหรือจำนวนหนึ่งเสีย ก็ควรจะเปลี่ยนแบตเตอรี่ที่เสียนั้นออก

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง Quadcopter Car

2.2.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านคือ มอเตอร์ชนิดที่ไม่แปรงถ่าน หรือมอเตอร์ซิงโครนัส 3 เฟส ที่ทำงานโดยอาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นสวิตซ์ในการตัดต่อกระแส ที่จ่ายให้กับขดลวดมอเตอร์โดยที่ชนิดของมอเตอร์ จะพิจารณาตามลักษณะรูปคลื่นกระแสและคุณสมบัติของแรงบิดหรือทอร์ค โดยจะนิยมเรียกว่า Brushless DC Motor ในกรณีที่รูปแบบของกระแสและทอร์คของมอเตอร์ที่ใช้มีลักษณะเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Trapezoidal Current/Torque) มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรง และอาศัยระบบอิเล็กทรอนิกส์คอมพิวเตอร์ในการหมุน โดยภายในจะมีขดลวดวางทำมุมห่างกัน 120 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

การคำนวณรอบของมอเตอร์

จากสมการการคำนวณเพื่อหาค่าความเร็วของมอเตอร์

$$\text{Speed}_M = \text{Motor KV} \times \text{Input volt} \times \text{Efficiency} \quad (2.1)$$

เมื่อ

Speed_M คือ ค่าความเร็วของมอเตอร์ (มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที)

Motor KV คือ ค่าที่มอเตอร์จะบอกมาให้ในเบื้องต้น ค่านี้จะตามแรงดันที่ป้อนเข้ามา (Input Volt) ยิ่งใช้โวลต์เข้าไปมากมอเตอร์ก็ยิ่งหมุนมากรอบขึ้น (KV คือ ความเร็วรอบในการหมุนมอเตอร์ต่อ 1 Volt)

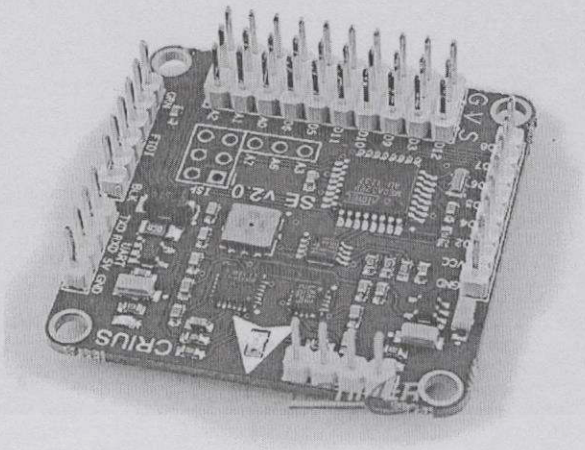
Input Volt คือ แรงดันที่ป้อนเข้ากับมอเตอร์

Efficiency คือ ค่าความสามารถที่มอเตอร์จะใช้งานจริงๆ โดยปกติจะมีการสูญเสียไปในรูปแบบพลังงานความร้อนด้วย มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านทั่วๆ ไปจะมีค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 80% หรือ 0.80

2.2.2 Multiwii Flight Controller

เป็นวงจรควบคุมการบินสำเร็จรูป (Flight Controller) ซึ่งถูกออกแบบมาสำหรับควบคุมการบินของคอปเตอร์ RC หลากหลายชนิด สามารถรองรับการเชื่อมต่อกับมอเตอร์ได้สูงสุดถึง 8 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 วงจรควบคุม Multiwii Flight Controller

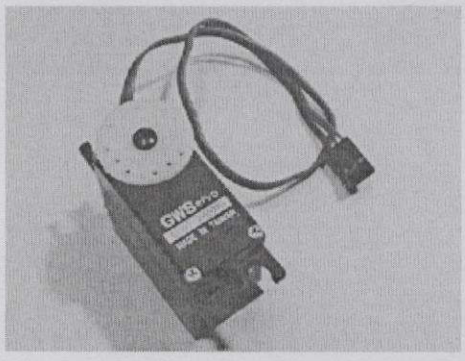
ภายในวงจรประกอบด้วยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญดังนี้

- ATMega 328P เป็นหน่วยประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด AVR ที่มีหน่วยประมวลผลขนาด 8 บิต, หน่วยความจำขนาด 32 กิโลไบท์ และทำงานที่ช่วงแรงดัน 1.8 – 5 โวลต์
- MPU6050 เป็นเซนเซอร์วัดความเร่งและความเร็ว ในแนวแกน X, Y และ Z ทั้ง 3 แกน
- HMC5883L เป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดทิศทางแบบดิจิตอลทั้ง 3 แกน โดยใช้หลักการตรวจจับค่าสนามแม่เหล็ก
- BMP085 เป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดค่าความดันแบบดิจิตอล เพื่อแปลงเป็นระดับความสูง

2.2.3 เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง

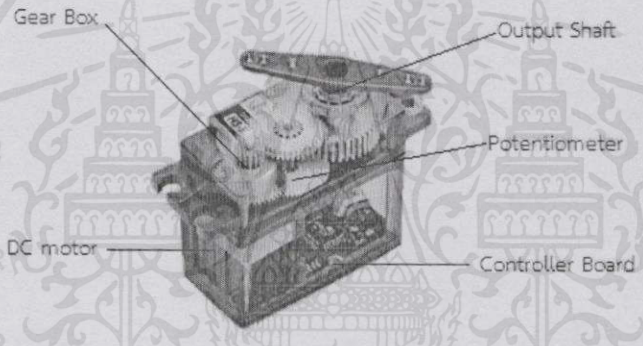
เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรงคือ มอเตอร์ไฟตรงขนาดเล็กที่ถูกประกบเข้ากับส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ ชุดเกียร์ทด ชุดวงจรควบคุมตำแหน่งการหมุนไว้ในโมดูลเดียวกัน โดยมีสายต่อใช้งานเพียง 3 เส้น คือ V+ GND และ Control Line ซึ่งเป็นสายควบคุมที่ทำให้มอเตอร์หมุนซ้าย-ขวา โดยใช้สายสัญญาณ PWM เป็นตัวควบคุม ส่วนแรงเคลื่อน V+ ที่ป้อนให้ขับเซอร์โวมอเตอร์ อยู่ที่ประมาณ 4 ถึง 6 โวลต์ เซอร์โวมอเตอร์มีข้อดีคือ มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา แต่ให้แรงบิดสูง และกินพลังงานน้อย ใช้ระดับสัญญาณควบคุมแบบ TTL Level ต่อโดยตรงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลยโดยไม่ต้องมีวงจรขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 เซอร์โวมอเตอร์รุ่น S03T STD

เซอร์โวมอเตอร์แบบนี้จะมีวงจรควบคุมอยู่ในตัว การควบคุมตำแหน่งการหมุนโดยทั่วไป จะมีช่วงประมาณ 180 องศา ถึง 210 องศา



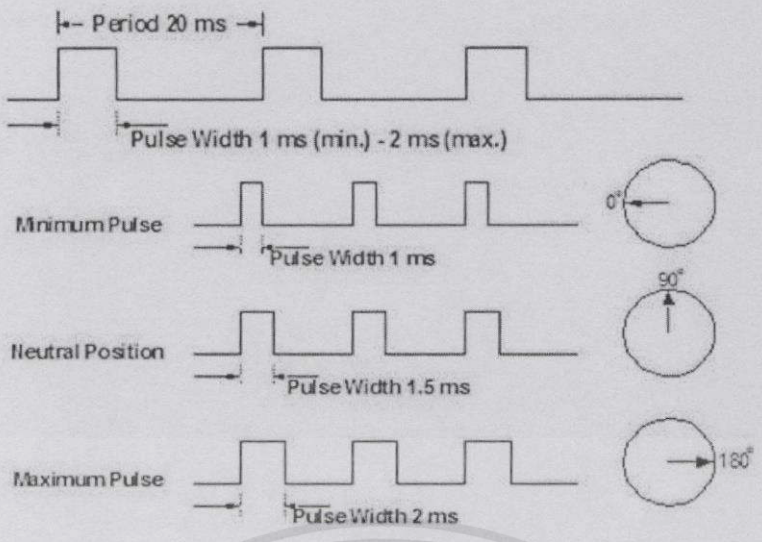
รูปที่ 2.22 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์

หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ ทำได้โดยการป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์เข้าที่ขา Control Line ตำแหน่งและทิศทางการหมุนของแกนเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับความกว้างของพัลส์ สัญญาณควบคุมจะประกอบด้วย

1. Frame Period Pulse เป็นสัญญาณพัลส์ต่อเนื่องโดยจะเริ่มต้นห่างกันทุกๆ 20ms ตลอดเวลาเพื่อรักษาสภาพตำแหน่งการหมุนเอาไว้

2. Position Pulse Width เป็นค่าความกว้างของยอดพัลส์ของ Frame Period Pulse ใช้เป็นค่าควบคุมตำแหน่งและทิศทางการหมุน โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.0ms - 2.0ms โดยจะมีจุดอ้างอิง 3 จุดที่สามารถควบคุมและรักษาตำแหน่งตั้งแต่ 0 – 180 องศา ตามรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

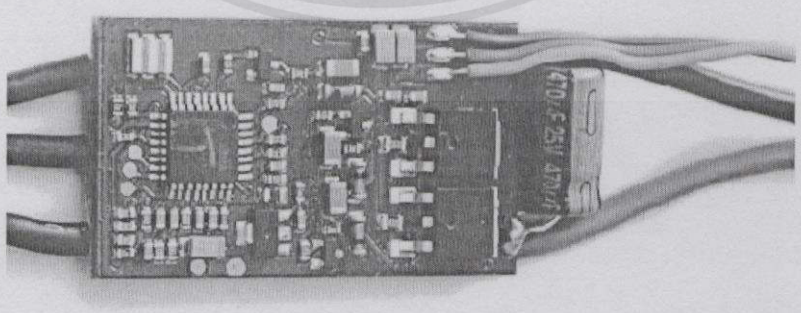


รูปที่ 2.23 Timing Diagram ของ Control Pulse

ตามรูปที่ 2.23 เป็นค่าประมาณในการควบคุมรักษาตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์โดยทั่วไป แต่อาจมีบางยี่ห้อที่อาจแตกต่างไปบ้าง ให้ศึกษาจากคู่มือของแต่ละยี่ห้อไป

2.2.4 ESC

ตัวควบคุมความเร็วแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Speed Controller, ESC) ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้ หมุนช้า-เร็ว เดินหน้า-ถอยหลัง หรือหยุด โดย ESC ที่เลือกใช้นี้เป็น ESC สปีดสำหรับมอเตอร์ไร้แปรงถ่านสำหรับ Quadcopter นั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์นี้ เพื่อใช้ในการควบคุมมอเตอร์โดยรับสัญญาณการควบคุมมาจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะสัมพันธ์กับตำแหน่งของคันโยกที่ขยับ เช่น ถ้าตำแหน่งคันโยกอยู่ตำแหน่งต่ำสุด ESC จะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ถ้าตำแหน่งคันโยกอยู่ที่กึ่งกลาง ESC จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ 50% เป็นต้น (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการตั้งโปรแกรมที่ตัววิทยุและ ESC)

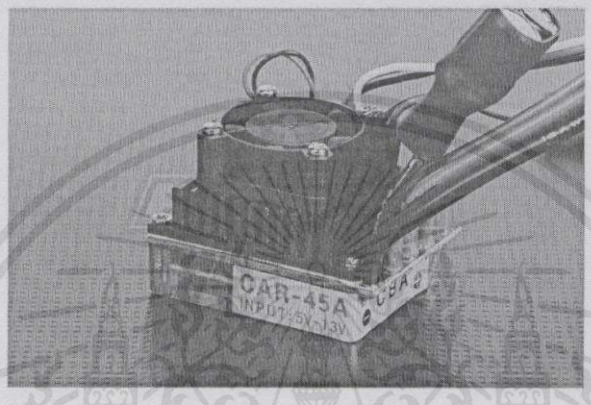


รูปที่ 2.24 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในของ ESC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ตัวควบคุมความเร็วสำหรับมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านแบบถอยหลังได้

ตัวควบคุมนี้ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้หมุนช้า-เร็ว เดินหน้า-ถอยหลังหรือหยุด แต่จะมีฟังก์ชันเสริมอื่นๆ ไว้สำหรับใช้กับรถบังคับโดยเฉพาะ เช่น Drag-brake Initial-brake เพื่อการใช้งานได้หลากหลายยิ่งขึ้น โดย ESC ที่เลือกใช้ยังคงเป็น ESC สำหรับมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเช่นเดิม สำหรับรถบังคับวิทยุนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตัวนี้ เพื่อใช้ในการควบคุมมอเตอร์โดยรับสัญญาณการควบคุมมาจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะสัมพันธ์กับตำแหน่งของคันโยกที่ขยับ

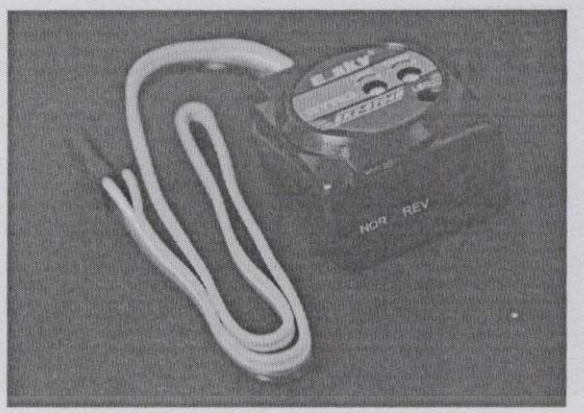


รูปที่ 2.25 ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านแบบถอยหลังได้

2.2.6 Gyroscope

Gyroscope สำหรับ Quadcopter คือ อุปกรณ์การวัดความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity Measurement Device) และให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณไปควบคุม Speed Control Gyro Scope มีเซนเซอร์ที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงกล ซึ่งใช้ในการวัดความเร็วเชิงมุมเมื่อเกิดการเอียงเกิดขึ้น จะทำให้เอาต์พุตที่ออกมามีความกว้างของพัลส์เปลี่ยนไป สมมติว่า ตัว Gyroscope ยังไม่มีการหมุน เมื่อทำการปรับอินพุตที่มีความกว้างเปลี่ยนไป จะทำให้เอาต์พุตที่ออกมาจาก Gyro Scope นั้นเปลี่ยนแปลงตามไปตามอินพุต แต่ถ้าตัว Gyroscope นั้นเกิดการเอียงเกิดขึ้น ก็จะทำให้สัญญาณที่เอาต์พุตนั้นมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์เกิดขึ้น ซึ่งค่าความกว้างของพัลส์ที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นจะ Oscillate ขึ้นอยู่กับค่าอินพุตที่ป้อนเข้ามายัง Gyroscope เช่น สมมติเมื่อป้อนสัญญาณเป็นอินพุตให้แก่ Gyroscope ที่มีความกว้าง 1.5 ms และตัว Gyroscope เกิดการเอียงซ้ายเกิดขึ้นก็จะทำให้ตัว Quadcopter เกิดการเอียงซ้าย ตัว Gyroscope จะตรวจจับความเร็วเชิงมุม ซึ่งเมื่อมีการเอียงซ้ายเกิดขึ้นจะส่งสัญญาณ ที่มีความกว้างพัลส์มากกว่า 1.5 ส่งสัญญาณไปที่มอเตอร์ซ้าย เพื่อทำให้มอเตอร์ซ้ายหมุนเร็วขึ้นและสร้างแรงยก ให้ตัว Quadcopter กลับมาอยู่ที่สภาวะสมดุล

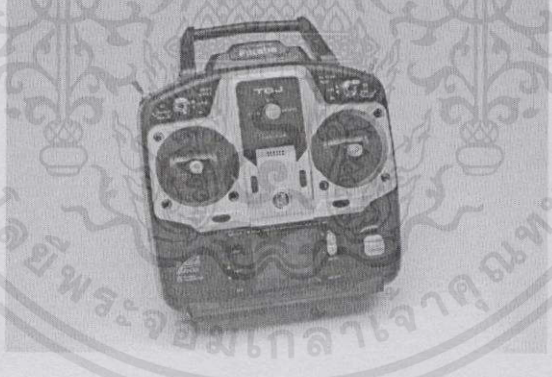
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 GyroScope ที่ใช้ใน Quadcopter

2.2.7 เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ (Transmitter)

Futaba 6J - 2.4 GHz เป็นรีโมทบังคับวิทยุที่ใช้ความถี่ 2.4 GHz ระบบนี้มีฟังก์ชันที่ยืดเหนี่ยวเครื่องรับเครื่องใดเครื่องหนึ่งไว้กับเครื่องส่งที่ใช้อยู่ หลังจากการเชื่อมโยง (Binding) แล้ว เครื่องรับจะตอบสนองต่อสัญญาณจากเครื่องส่งเครื่องที่เชื่อมต่อไว้เท่านั้น จึงไม่มีปัญหาของการรบกวนจากการใช้ย่านความถี่เดียวกัน

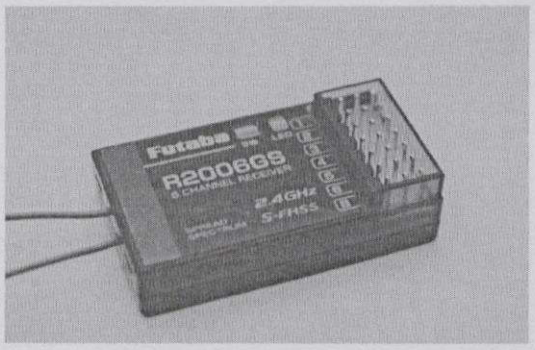


รูปที่ 2.27 เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ Futaba 6J - 2.4 GHz

2.2.8 เครื่องรับสัญญาณวิทยุ (Receiver)

เครื่องรับสัญญาณวิทยุคือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรับสัญญาณจากเครื่องส่ง แล้วทำการแปลงสัญญาณเพื่อไปควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ หรือควบคุมความเร็วของแต่ละช่องสัญญาณ ประกอบด้วยเสาอากาศและแผงวงจรไฟฟ้า เพื่อคอยรับสัญญาณจากเครื่องส่ง และควบคุมให้มอเตอร์ของ Quadcopter ทำงานโดยผ่าน ESC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



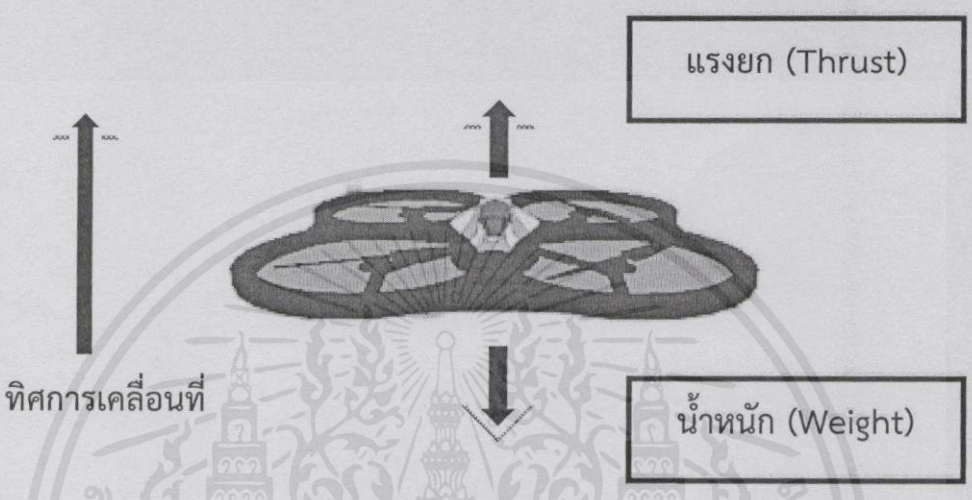
รูปที่ 2.28 เครื่องรับสัญญาณวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างชิ้นงาน

3.1 หลักการออกแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์เบื้องต้น

3.1.1 การออกแบบการบินเบื้องต้น

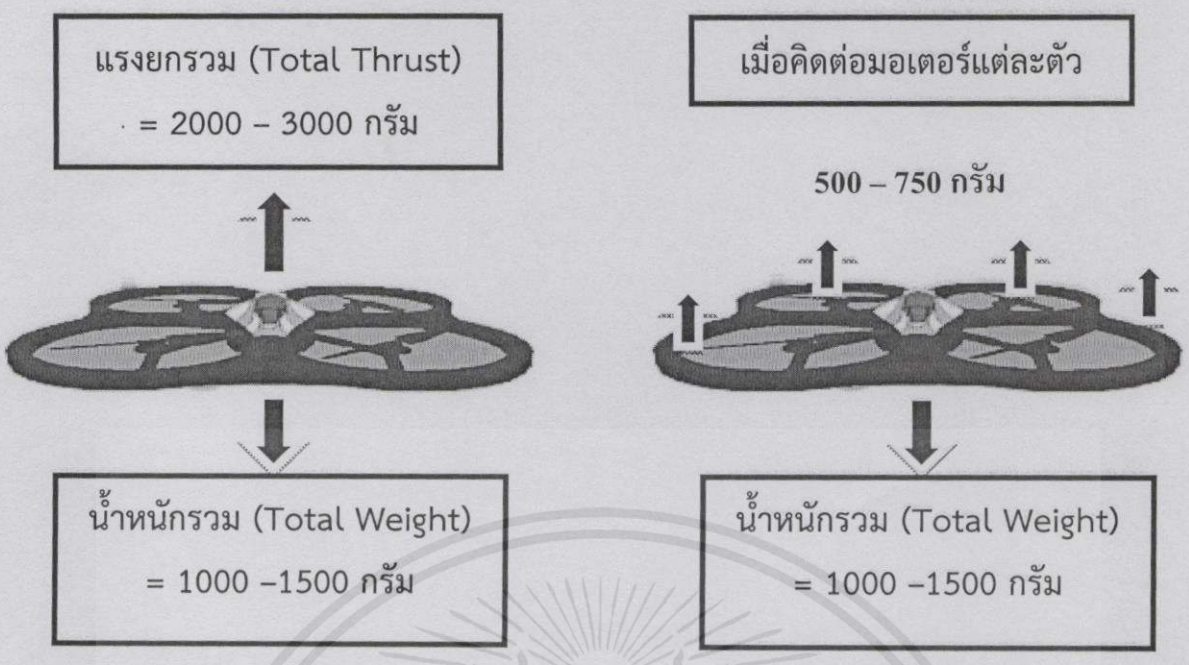


รูปที่ 3.1 หลักเบื้องต้นของการบิน

จากหลักการออกแบบเบื้องต้นทำให้ได้ว่าการที่ Quadcopter จะลอยตัวขึ้นได้แรงยก (Thrust) ทั้งหมดของตัว Quadcopter ต้องมีค่าเป็น 2 เท่าของน้ำหนักรวมของ Quadcopter (Weight)

กำหนดให้ Quadcopter มีน้ำหนักรวมอยู่ในช่วง 1 - 1.5 กิโลกรัม ดังนั้นแรงยกทั้งหมดที่ Quadcopter ต้องใช้เพื่อที่จะบินขึ้นจะต้องมีค่า ในช่วง 2 - 3 กิโลกรัม ทำให้ได้ว่าอุปกรณ์ที่ให้แรงยกแก่ Quadcopter นั่นคือ มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน จะต้องให้แรงยกแก่ Quadcopter ทั้งหมด 2 - 3 กิโลกรัม หรือเมื่อคิดแรงยกต่อตัวของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว จะได้ว่ามอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านแต่ละตัวต้องให้แรงยกมีค่าเป็น 500 - 750 กรัม หรือมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การคำนวณแรงยกของ Quadcopter

3.1.2 การเลือกอุปกรณ์สำหรับการบินเบื้องต้น

3.1.2.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านและใบพัด

จากค่าแรงยกที่ต้องการจากการออกแบบเบื้องต้นคือ 500 – 700 กรัมต่อมอเตอร์หนึ่งตัว ทำให้เลือกใช้มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านที่มีค่าแรงยกอยู่ระหว่าง 500 – 700 กรัมหรือมากกว่า โดยมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านที่ได้เลือกใช้คือ A2212 1400KV Brushless Outrunner Motor

รูปที่ 3.3 A2212 1400KV Brushless Outrunner Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- Number of Cells: 2-3s lipo; 6-10 cell NiMh
- Max Efficiency Current: 6-12A (>75%)
- No Load Current (10v): 0.7A
- Max Current: 16A/60A
- Max Efficiency: 78%
- Internal Resistance: 65mΩ
- Shaft Size: 3.17mm
- Poles: 14
- Max Watts: 180W
- Weight: 47g
- Motor Dimensions: 27.5x30 (mm)
- Minimum Recommended ESC: 20A

และเลือกใช้ใบพัดขนาด 8 นิ้ว เพื่อให้ทั้งใบพัดและมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน สามารถให้แรงยกตามที่ต้องการได้ โดยจากผลการทดสอบของมอเตอร์ ทำให้ได้ว่าเมื่อใช้มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน 1400 KV และใบพัดขนาด 8 นิ้วจะทำให้ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3.1 ผลของการใช้มอเตอร์ 1400 KV ร่วมกับใบพัด 8 นิ้ว

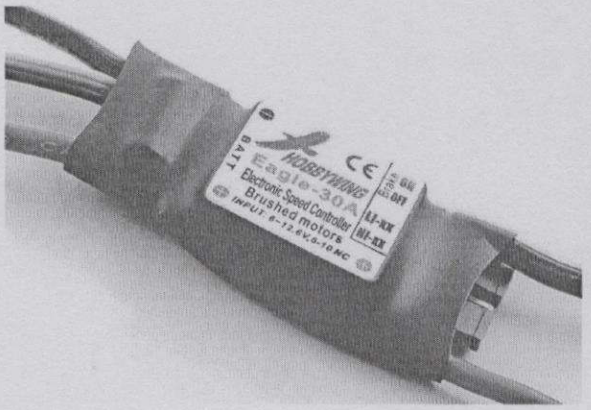
Propeller(inch)	Gear Ratio	Volts	Amps	Watts	RPM	Speed (mph)	Thrust (g)	Thrust (oz)	RPM as % of Kv*V
APC E 8x4	1	10.8	15.9	171	11040	41.8	832	29.35	71%

จะเห็นว่าการเลือกใบพัดและมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านนี้จะให้แรงยก 832 กรัมต่อมอเตอร์หนึ่งตัว ตรงตามค่าที่ออกแบบไว้เบื้องต้น

3.1.2.2 ตัวควบคุมความเร็ว

ได้เลือกใช้ ตัวควบคุมความเร็ว (Electronics Speed Controller, ESC) ที่มีขนาด 30 A โดยเลือกใช้ ESC ที่มีค่ามากกว่าค่ากระแสสูงสุดของมอเตอร์ ในที่นี้คือ16 A จึงใช้ ESC ที่มีค่าเท่ากับ 30 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 Hobbywing Eagle 30A ESC

ซึ่ง ESC ที่เลือกใช้มีคุณสมบัติดังนี้

- Output: Continuous 30A, Burst 40A up to 10 Seconds.
- Input Voltage: 2-3 Cells lithium Battery or 4-10 Cells NiCd/NiMh Battery.
- BEC: 1A / 5V (Linear Mode).
- PWM Frequency: 2 kHz.
- Size: 45mm (L) * 21mm (W) * 8mm (H).
- Weight: 21g.

3.1.2.3 แบตเตอรี่

ได้เลือกใช้ แบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ที่มี 3 เซลล์และให้แรงดันไฟฟ้า 11.1 โวลต์ เพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการเลือกมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน ใบพัดและ ESC จากข้อที่กล่าวมาข้างต้นโดยมีขนาดความจุเท่ากับ 3000 mAh

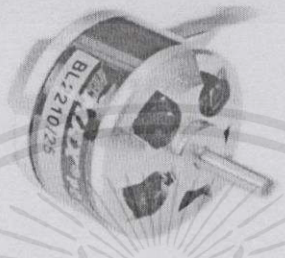
รูปที่ 3.5 แบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ขนาด 3 เซลล์ แรงดันไฟฟ้า 11.1 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิ่งเบื้องต้น

3.1.3.1 มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านของรถ

ใช้มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านแบบ EMAX BL2210 1300KV Brushless Outrunner Motor เพราะว่าต้องการรอบที่ค่อนข้างสูง แต่ไม่ถึงกับสูงมากเกินไป เพื่อให้มอเตอร์ไปขับล้อหลังให้มีความสมดุล และเร่งความเร็วรอบได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 3.6 EMAX BL2210 1300KV Brushless Outrunner Motor

โดยมอเตอร์มีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของมอเตอร์ EMAX BL2210 1300KV

		Model	Cell Count	RPM/V	Prop (APC)	RPM	MAX current (<60S)	Thrust
No.Of cells	2-3X Li-Poly							
Stator dimensions	22X10mm							
Shaft diameter	3mm	BL2210/30	3S	1300	9X4.7	9500	16.5A	800g 1.76lb
Weight	45g/1.58oz				8X6	8300	17A	680g 1.5lb
Recomended model weight	200-500g				7x5	12585	15A	710g 1.57lb
Recomended prop without gearbox	APC 8X3.8 APC 9X4.5 APC 10X5	BL2210/25	3S	1560	7X6	12525	18A	730g 1.61lb

3.1.3.2 ตัวควบคุมความเร็วสำหรับมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านแบบถอยหลังได้

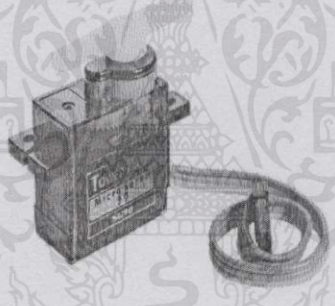
ใช้ตัวควบคุมความเร็วรถบังคับวิทยุแบบมอเตอร์ไร้แปรงถ่านแบบถอยหลังได้ (Brushless Car Electronics Speed Controller with Reverse) ที่มีขนาด 45 A โดยเลือกใช้ ESC ที่มีค่ามากกว่าค่ากระแสสูงสุดของมอเตอร์ (ขับในส่วนของล้อ) ในที่นี้คือ 17 A จึงใช้ ESC ที่มีค่าเท่ากับ 45 A สาเหตุที่ใช้ ESC ขนาด 45 A เพราะว่าในท้องตลาด ESC ขนาด 30 A นั้นขาดตลาดพอดี ต้องเลือกใช้ ESC ขนาด 45 A แทน ถึงแม้ว่าราคาจะแพงกว่าก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 HobbyKing Brushless Car ESC 45A with Reverse

3.1.3.3 เซอร์โวมอเตอร์

เนื่องจากล้อที่ใช้ขับเคลื่อนมีขนาดไม่ใหญ่มากและมีมวลไม่มากนัก จึงได้เลือกใช้เซอร์โวมอเตอร์รุ่น TowerPro SG91R - Micro Servo motor ที่มีขนาดเล็กและมีแรงบิดขนาด 1.8 กิโลกรัมต่อเซนติเมตร ซึ่งเพียงพอแก่การขับล้อหน้าเป็นมอเตอร์ที่ใช้ในการขับล้อหน้าในการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาไปในทิศทางต่างๆ



รูปที่ 3.8 เซอร์โวมอเตอร์

โดยเซอร์โวมอเตอร์มีคุณสมบัติดังนี้

- Modulation: Analog
- Torque: 4.8V:25.0 oz-in (1.80 kg/cm)
- Speed : 4.8V: 0.10 sec/60°
- Weight : 0.32 oz (9.0 g)
- Dimension : Length: 0.91 in (23.1 mm)
  Width: 0.48 in (12.2 mm)
  Height: 1.14 in (29.0 mm)

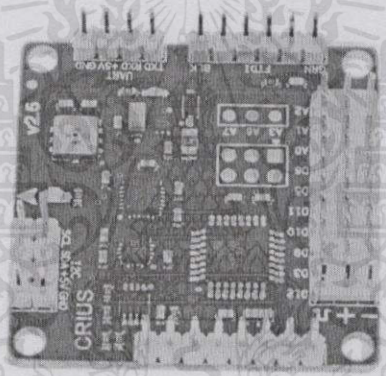
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การเลือกตัวควบคุมการบิน (Flight Controller)

ได้เลือกใช้ตัวควบคุมการบิน (Flight Controller) MultiWiiStandard Edition v2.5 เป็นบอร์ดควบคุมการบินให้แก่ Quadcopter Car โดยภายในบอร์ดเป็นวงจรสำเร็จรูปซึ่งมีทั้งตัวไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ชนิดต่างๆ ดังนี้

- ATmega328P เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมการทำงานของวงจร
- MPU6050C เป็นเซนเซอร์ Gyro และเซนเซอร์วัดความเร่ง อย่างละ 3 แกน
- HMC5883L เป็นเซนเซอร์ที่วัดเส้นแรงแม่เหล็กใช้ในการวัดทิศทาง
- BMP085 เป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดความดัน ใช้ในการวัดความดันแล้วมาเทียบแปลงเป็นระดับความสูง โดยใช้เซนเซอร์อีก 1 ชนิดคือ PCA9306DP1 (Logic Level Converter)

นอกจากนี้ Code ที่ใช้ร่วมกับบอร์ด MultiWii ยังเป็น Code แบบเปิด (Open Source Code) ที่สามารถเข้าไปแก้ไขค่าต่างๆ ได้ตามที่ต้องการได้

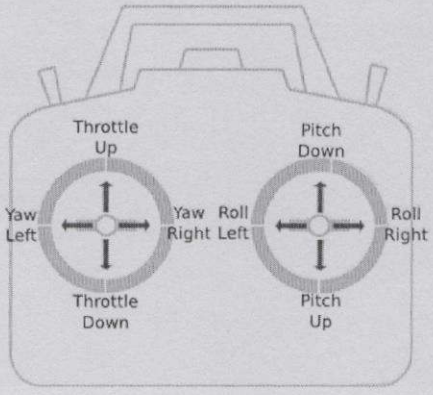


รูปที่ 3.9 MultiWii SE v2.5 Flight Controller Board

3.1.5 การเลือกวิทยุบังคับและตัวรับสัญญาณ

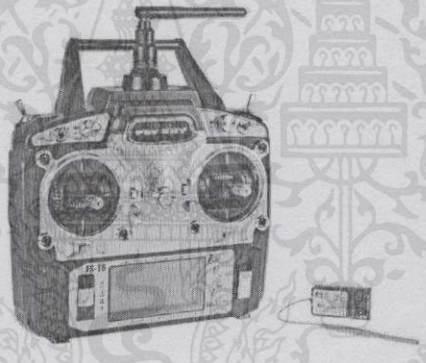
เนื่องจากการบังคับการบินของ Quad-copter มีการบังคับอยู่ 4 รูปแบบคือ การยกตัวขึ้น, การเอียงหน้า – เอียงหลัง, การเอียงซ้าย – เอียงขวา และการหมุนรอบแกนกลางในทิศซ้าย – ขวา นอกจากนี้ยังมีช่องสัญญาณไว้เพื่อรับค่าสำหรับการเคลื่อนที่บนพื้น ทำให้ช่องสัญญาณที่ใช้จะต้องมีมากกว่า 4 ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การควบคุมทิศทางของ Quadcopter ผ่านทางวิทยุบังคับ

ใช้วิทยุที่มีช่องสัญญาณจำนวน 6 ช่องสัญญาณ เพื่อให้รองรับการใช้งานดังที่ได้กล่าวมา โดยเลือกใช้ วิทยุ FlySkyFS T6 2.4 GHz



รูปที่ 3.11 วิทยุ FlySky FS T6 2.4 GHz

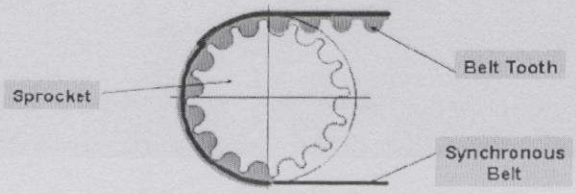
3.2 การออกแบบโครงสร้างและขั้นตอนการสร้าง

3.2.1 การศึกษาและออกแบบระบบการเคลื่อนที่บนพื้น

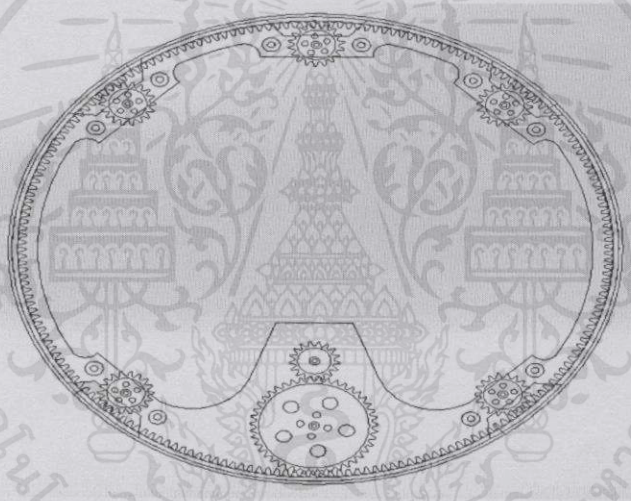
เนื่องจากแขนแต่ละข้างทั้ง 4 ของ Quadcopter ชนิดนี้จะต้องมีการติดตั้งทั้งส่วนของมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านเพื่อทำการบิน และส่วนของล้อซึ่งทำหน้าที่ในการเคลื่อนที่บนพื้น ดังนั้นส่วนของแขนแต่ละข้างจึงจำเป็นต้องยึดอยู่กับที่ เพื่อไม่ทำให้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านหมุนไปตำแหน่งอื่น เมื่อล้อมีการเคลื่อนที่ออกแบบโดยใช้หลักการเคลื่อนที่ที่คล้ายกับระบบสายพานมาใช้ในระบบขับเคลื่อนล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

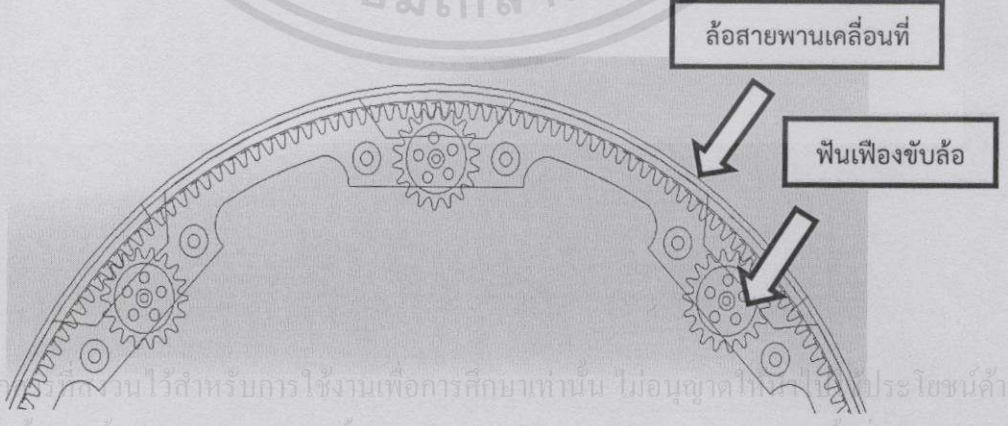
การเคลื่อนที่บนพื้นโดยใช้ล้อวิ่งของ Quadcopter ชนิดนี้จะอาศัยหลักการการขบกันของฟันเฟือง และส่วนล้อที่มีลักษณะคล้ายสายพานการวิ่งในลักษณะนี้แกนกลางของล้อ และฟันเฟืองจะถูกยึดอยู่กับที่และจะมีเพียงส่วนสายพานเท่านั้น ที่มีการเคลื่อนที่ทำให้ได้ระบบล้อของ Quadcopter เป็นดังรูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.12 การเคลื่อนที่โดยใช้ระบบสายพาน



รูปที่ 3.13 ล้อที่ออกแบบโดยใช้ระบบฟันเฟืองและสายพาน



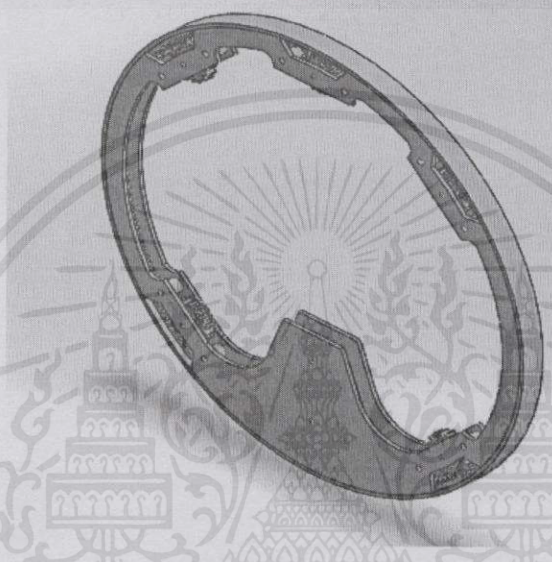
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 ขยายส่วนประกอบล้อ

3.2.2 การออกแบบส่วนประกอบโดยใช้โปรแกรม SolidWorks

หลังจากที่ได้ออกแบบระบบขับเคลื่อนบนพื้นและส่วนประกอบต่างๆ ของ Quadcopter ชนิดนี้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การนำแบบที่ได้ไปเขียนแบบในโปรแกรม SolidWorks เพื่อกำหนดขนาดและนำไปจัดทำเป็นชิ้นส่วนประกอบต่อไป

ก. ส่วนล้อหลัง

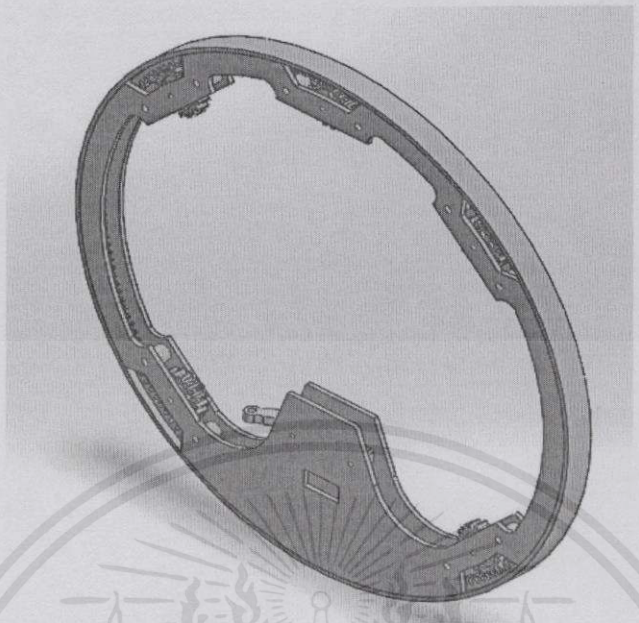


รูปที่ 3.15 การเขียนแบบส่วนล้อหลังในโปรแกรม SolidWorks 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 การเขียนแบบส่วนล้อหลังในโปรแกรม SolidWorks 2

ข. ส่วนล้อหน้า

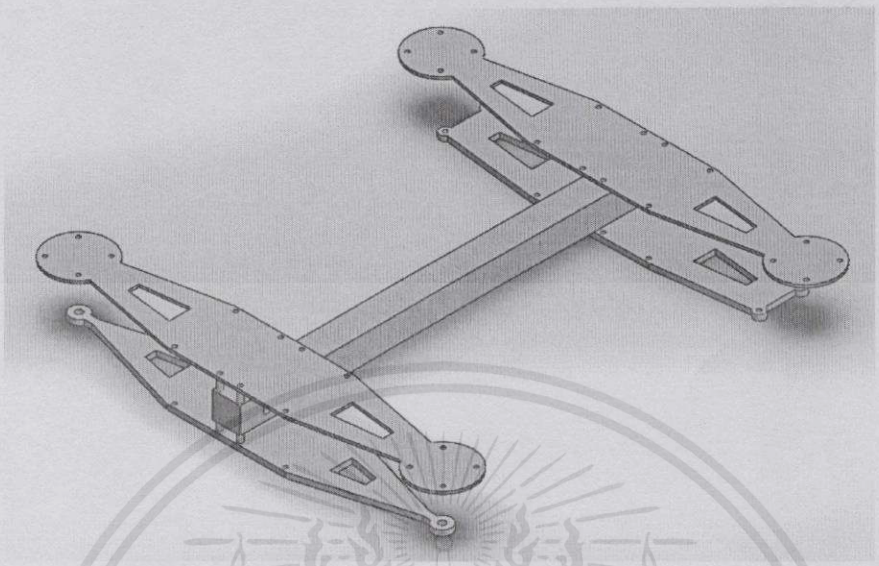


รูปที่ 3.17 การเขียนแบบส่วนล้อหน้าในโปรแกรม SolidWorks 1

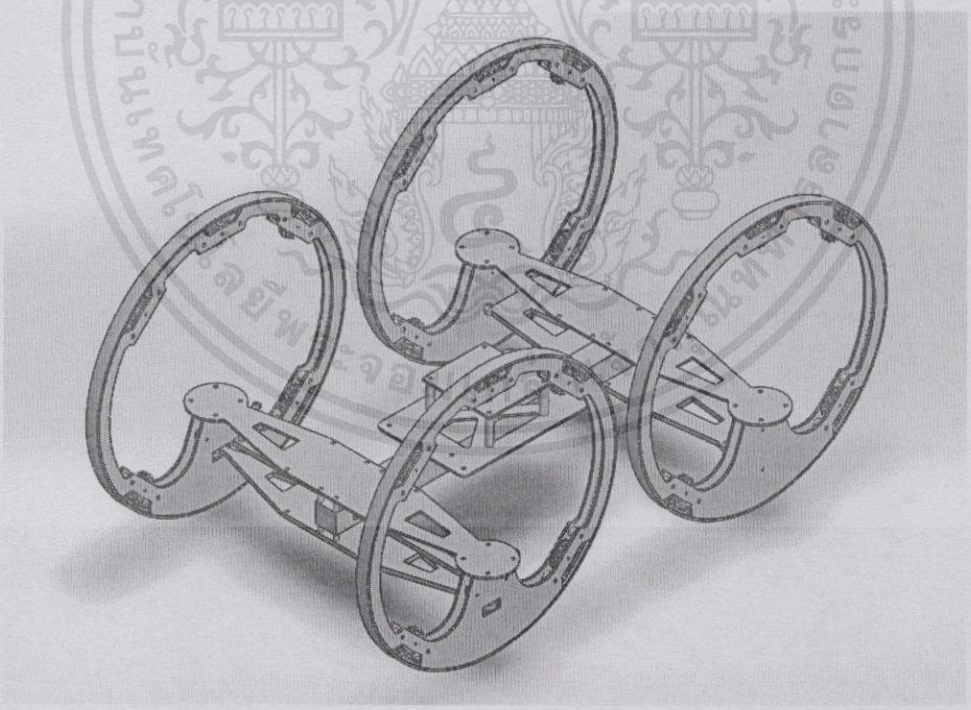
รูปที่ 3.18 การเขียนแบบส่วนล้อหน้าในโปรแกรม SolidWorks 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. โครงเครื่องมีขนาด 31 x 31 เซนติเมตร



รูปที่ 3.19 การเขียนแบบส่วนตัวโครงในโปรแกรม SolidWorks 1

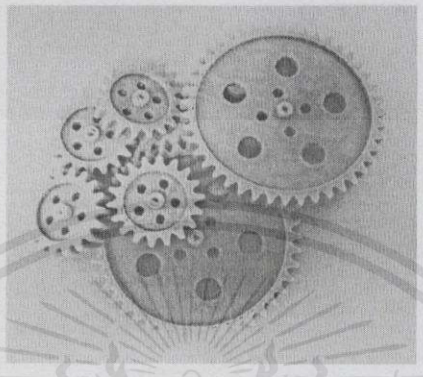


รูปที่ 3.20 การเขียนแบบส่วนตัวโครงในโปรแกรม SolidWorks 2

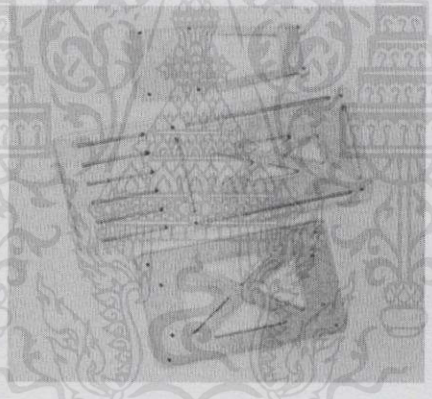
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การจัดทำส่วนประกอบโดยใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ

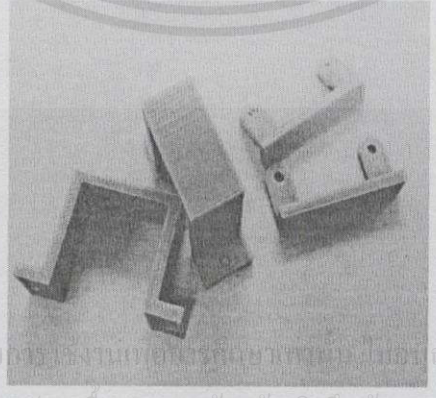
หลังจากที่ได้เขียนแบบลงในโปรแกรม SolidWorks แล้ว จึงนำแบบที่ได้มาขึ้นรูปโดยใช้เครื่องพิมพ์สามมิติในการพิมพ์ชิ้นส่วนต่างๆ โดยวัสดุที่ใช้พิมพ์จะใช้พลาสติก PLA ในการขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนตามที่ออกแบบไว้



รูปที่ 3.21 ชิ้นส่วนเฟืองที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ

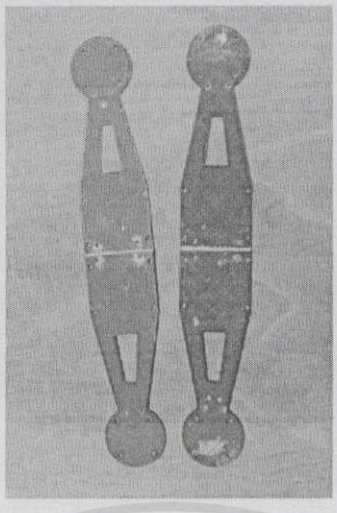


รูปที่ 3.22 ชิ้นส่วนโครงที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ

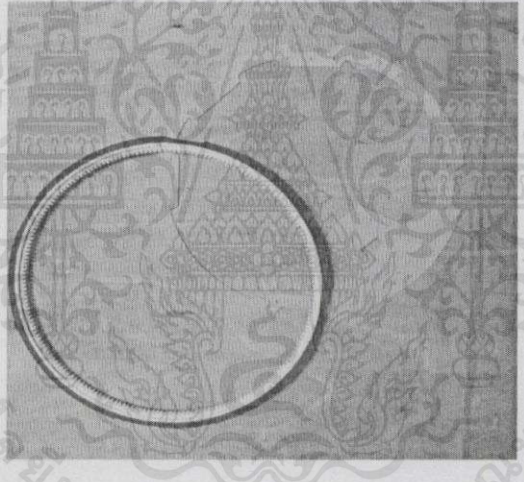


รูปที่ 3.23 ชิ้นส่วนข้อต่อต่างๆ ได้จากการพิมพ์สามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 ชิ้นส่วนแขนได้จากการพิมพ์สามมิติ



รูปที่ 3.25 ชิ้นส่วนล้อและกรอบล้อได้จากการพิมพ์สามมิติ

3.3 ส่วนโปรแกรมควบคุมการบินของ Quadcopter Car

บอร์ดควบคุมการบิน MultiWii สามารถใช้ Code ของ MultiWii ซึ่งเป็น Code สำเร็จรูปซึ่งถูกเขียนและพัฒนาโดยผู้ผลิตบอร์ด MultiWii ซึ่งเป็น Code ที่ถูกเขียนขึ้นโดยใช้โปรแกรม Arduino ในภาษา C++ โดยได้เลือกใช้ Code ในเวอร์ชัน 2.3 (MultiWii 2.3) มาเป็น Code ที่ใช้ในการควบคุมการบิน

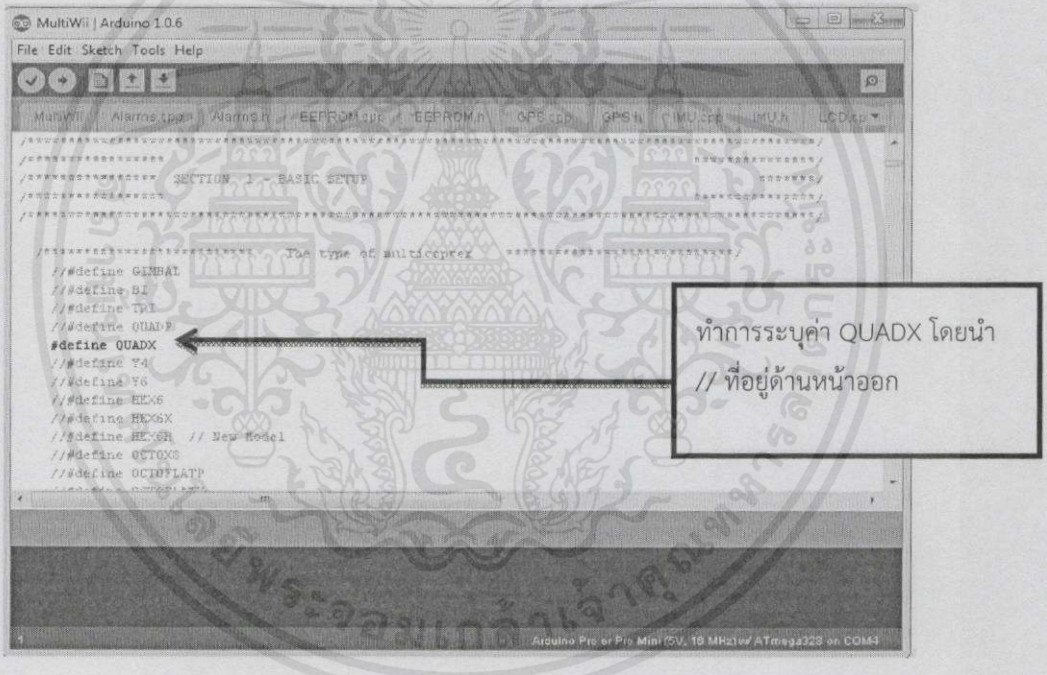
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การใช้งานในส่วนโปรแกรม Arduino

ก่อนที่จะ Upload Code ลงในบอร์ด MultiWii นั้น จำเป็นจะต้องแก้ไข Code ในโปรแกรม Arduino ก่อน ในไฟล์ฟังก์ชัน Config.h เนื่องจาก Source Code ของ MultiWii นี้ ถูกเขียนขึ้นมาเพื่อให้ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ได้หลากหลายแบบ ดังนั้นไฟล์ Config.h นี้จะเป็นไฟล์ที่จะบอกค่าต่างๆ แก่โปรแกรมว่า คอปเตอร์เป็นชนิดไหนบอร์ดที่ใช้เป็นบอร์ดชนิดอะไรใช้เซนเซอร์อะไรบ้าง ซึ่งค่าเหล่านี้จะส่งผลต่อการทำงานในฟังก์ชันต่างๆ ของบอร์ด รวมถึงกำหนดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย

การแก้ไขค่าต่างๆ ในฟังก์ชันไฟล์ Config.h

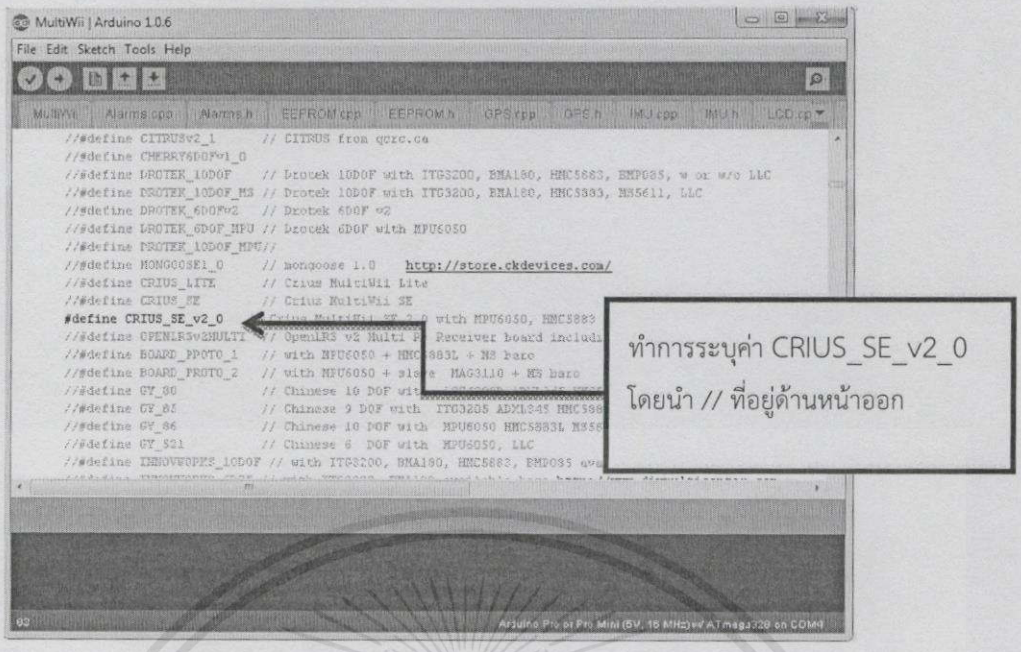
1. กำหนดชนิดของคอปเตอร์ โดยให้บินและทำงานแบบ คอปเตอร์ 4 ใบพัดรูปทรงตัว X ในหมวด Type of Multicopter



รูปที่ 3.26 การระบุค่าชนิดของคอปเตอร์ในฟังก์ชันไฟล์ Config.h

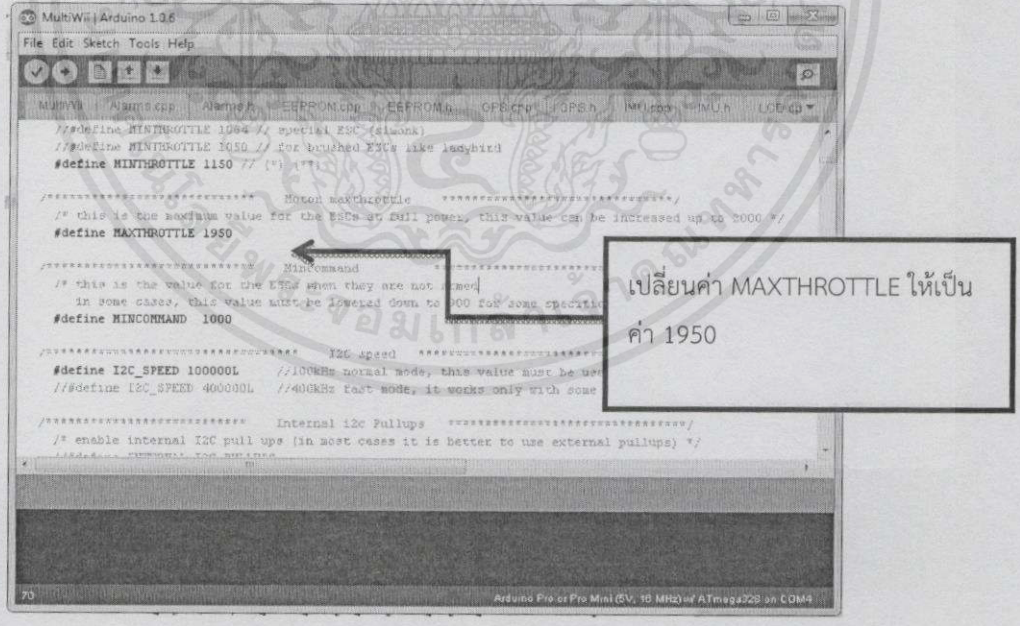
2. ระบุชนิดของบอร์ดหรือไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ โดยเลือกใช้บอร์ด CRIUS_SE_v2_0 ในหมวด Boards and Sensor Definitions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 การระบุชนิดของบอร์ดและไมโครคอนโทรลเลอร์ในฟังก์ชันไฟล์ Config.h

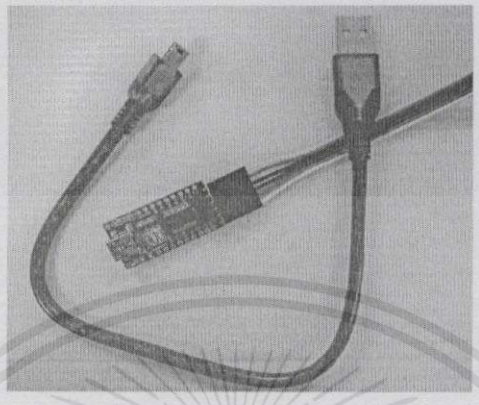
3. แก้ไขค่า MAXTHROTTLE ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่สั่งให้แก่ ESC แต่ละตัวทำงาน ให้เป็นค่า 1950 เพื่อให้สอดคล้องกับค่า MINTHROTTLE ซึ่งมีค่า 1150



รูปที่ 3.28 การแก้ไขค่า MAXTHROTTLE ในฟังก์ชันไฟล์ Config.h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการระบุค่าทั้งสามเรียบร้อยแล้ว จึงทำการ Upload Code ลงไปในบอร์ด MultiWii โดยผ่าน FTDI to RS232R ซึ่งเป็นตัวสื่อสารอนุกรมระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P ของบอร์ด MultiWii กับคอมพิวเตอร์



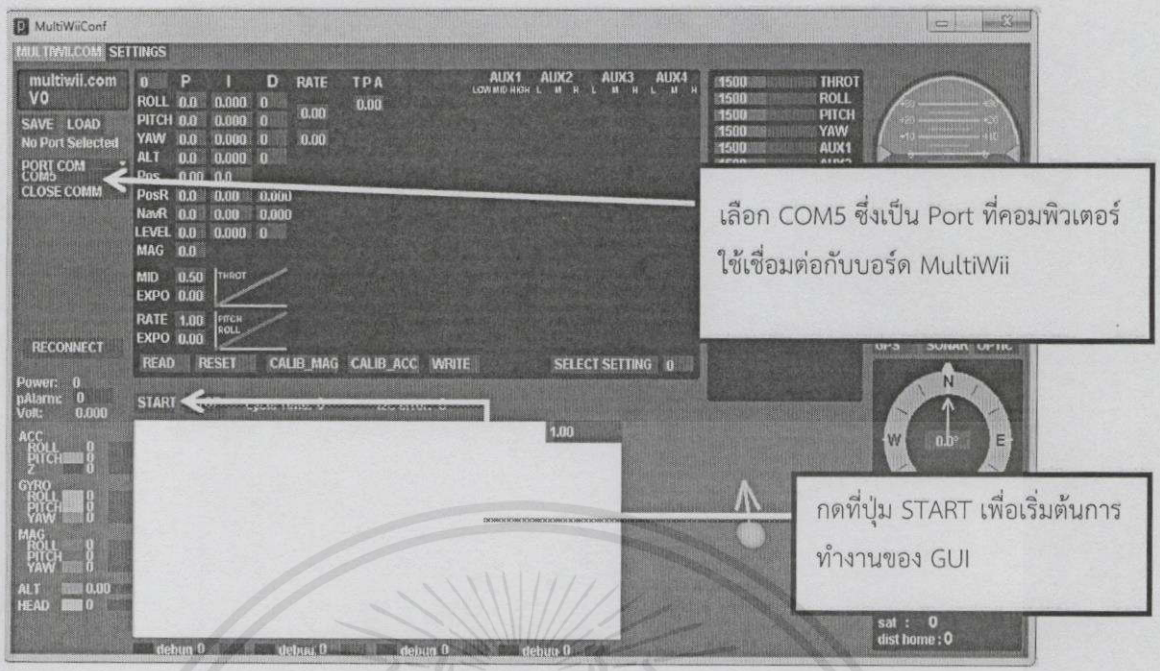
รูปที่ 3.29 ตัวสื่อสารอนุกรม FTDI to RS232R

3.3.2 การใช้งานในส่วนของโปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI)

ส่วนของโปรแกรม GUI จะเป็นส่วนแสดงผลค่าต่างๆ ที่ได้จากบอร์ด MultiWii เช่น ค่าที่ได้จากการอ่านค่าเซนเซอร์ความเร่งในแนวแกนต่างๆ ค่ามุมเอียง ค่าความสูงจากแนวระดับ รวมไปถึงค่า PID ในแต่และมุม (มุม Yaw มุม Pitch และมุม Roll) นอกจากนี้โปรแกรมยังช่วยให้ผู้ใช้สามารถปรับแต่งค่าพื้นฐานต่างๆ ผ่าน GUI โดยไม่ต้องไปเขียนโปรแกรมแก้ที่ไฟล์ Arduino ซึ่งขั้นตอนการใช้งานหลังจากเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับบอร์ด MultiWii แล้ว มีดังนี้

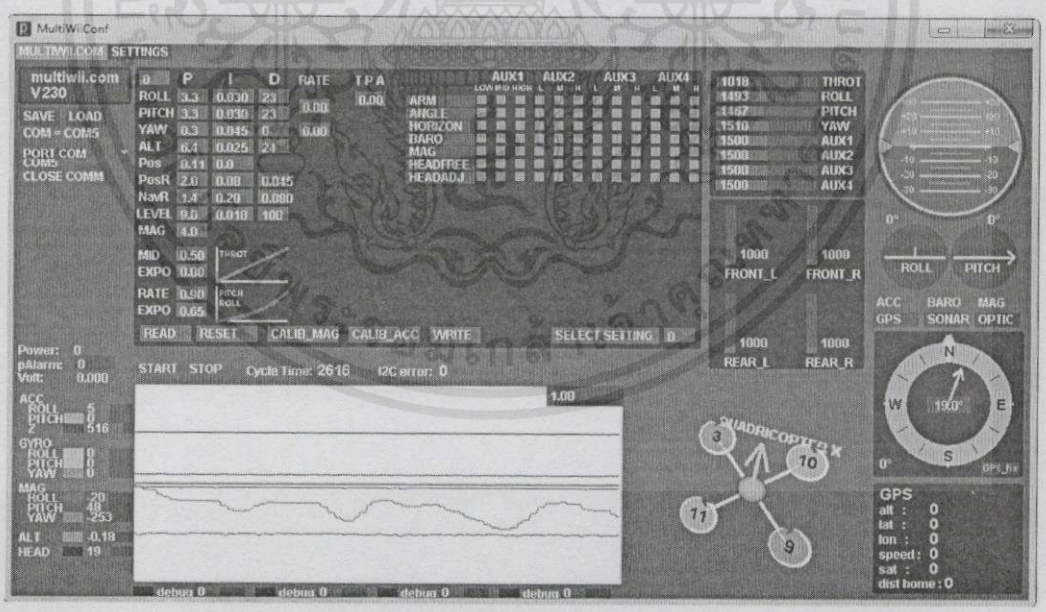
1. เลือก COM_PORT ซึ่งเป็น Port เชื่อมต่อระหว่างบอร์ด MultiWii กับคอมพิวเตอร์ จากนั้นกดที่ปุ่ม START เพื่อเริ่มต้นการทำงานและเชื่อมต่อระหว่างบอร์ด MultiWii และ GUI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 การเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม MultiWiiConf ในส่วน Graphical User Interface

จะทำให้ได้โปรแกรมเป็นลักษณะดังรูปที่ 3.31

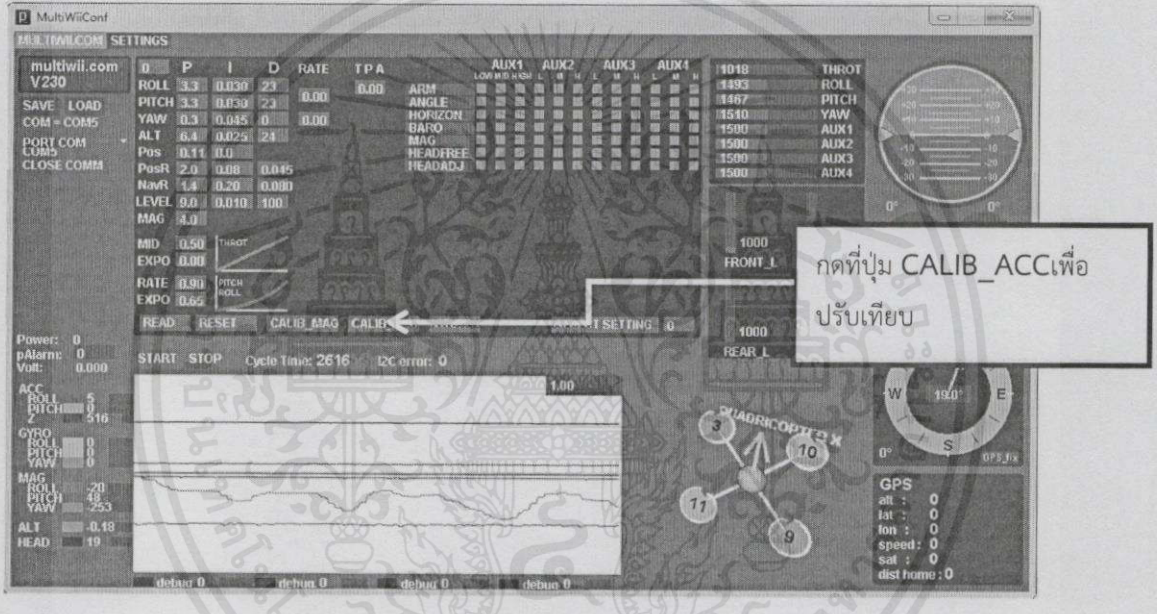


รูปที่ 3.31 การใช้งานโปรแกรม MultiWiiConf ในส่วน Graphical User Interface 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อจะทำการปรับเทียบเซนเซอร์วัดความเร่งและ Gyro (Accelerometer and Gyro Calibration) ควรวางบอร์ดให้อยู่ในแนวราบมากที่สุด และกดที่ปุ่ม CALIB_ACC เพื่อทำการปรับเทียบเซนเซอร์ทั้งสอง โดยค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์เมื่อเริ่มต้นควรมีค่าดังนี้

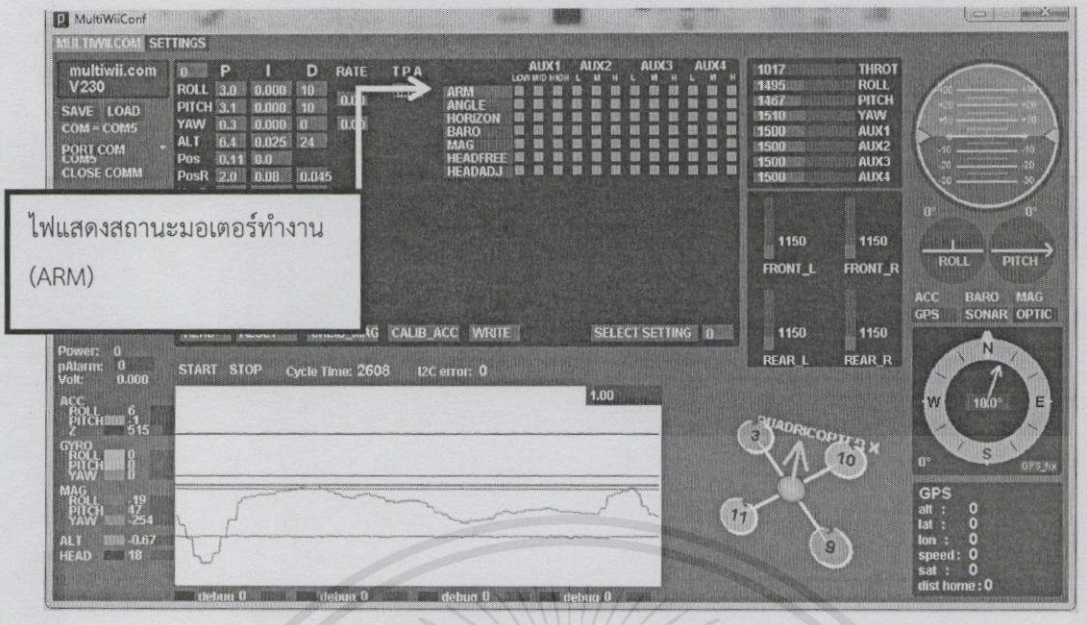
- Accelerometer (ACC) ในมุม Roll: 0
  Pitch: 0
  Z: 512
- Gyro ในมุม Roll: 0
  Pitch: 0
  Yaw: 0



รูปที่ 3.32 การใช้งานโปรแกรม MultiWiiConf ในส่วน Graphical User Interface 2

3. เมื่อทำการสั่งให้มอเตอร์เริ่มทำงานจากการโยกคันบังคับจากรีโมทวิทยุ นั่นคือ มีการส่งสัญญาณคำสั่งจากบอร์ด MultiWii ไปยัง ESC แต่ละตัวเพื่อสั่งงานมอเตอร์จะมีไฟสถานะ ARM ปรากฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

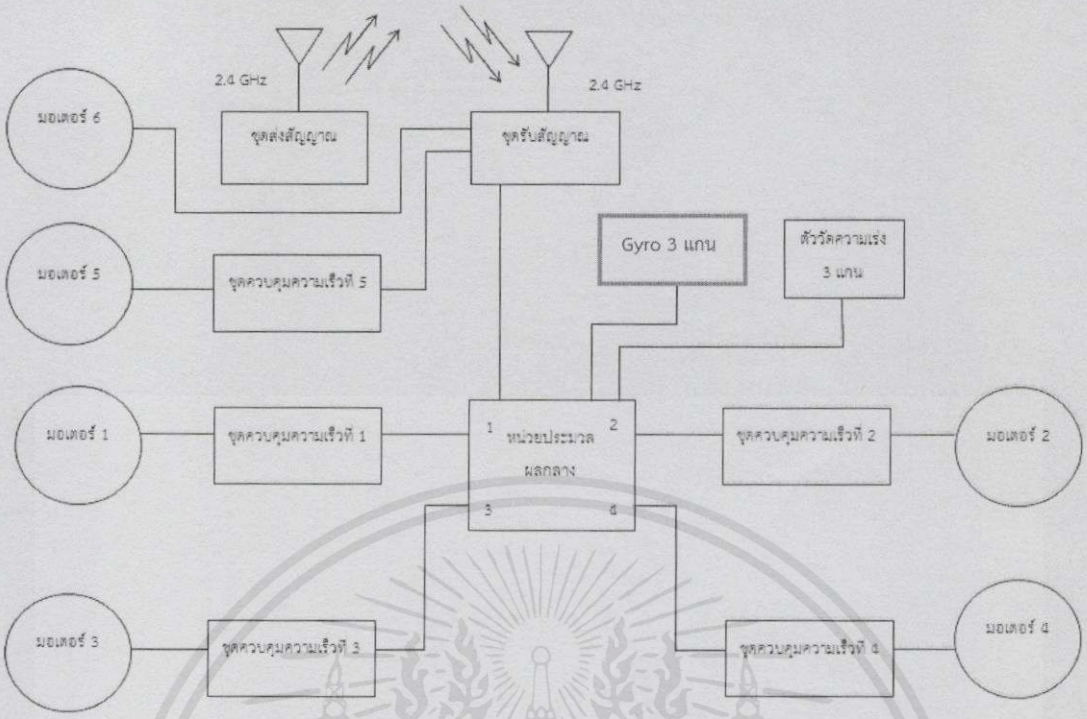


รูปที่ 3.33 การใช้งานโปรแกรม MultiWiiConf ในส่วน Graphical User Interface 3

3.4 โครงสร้างของระบบ

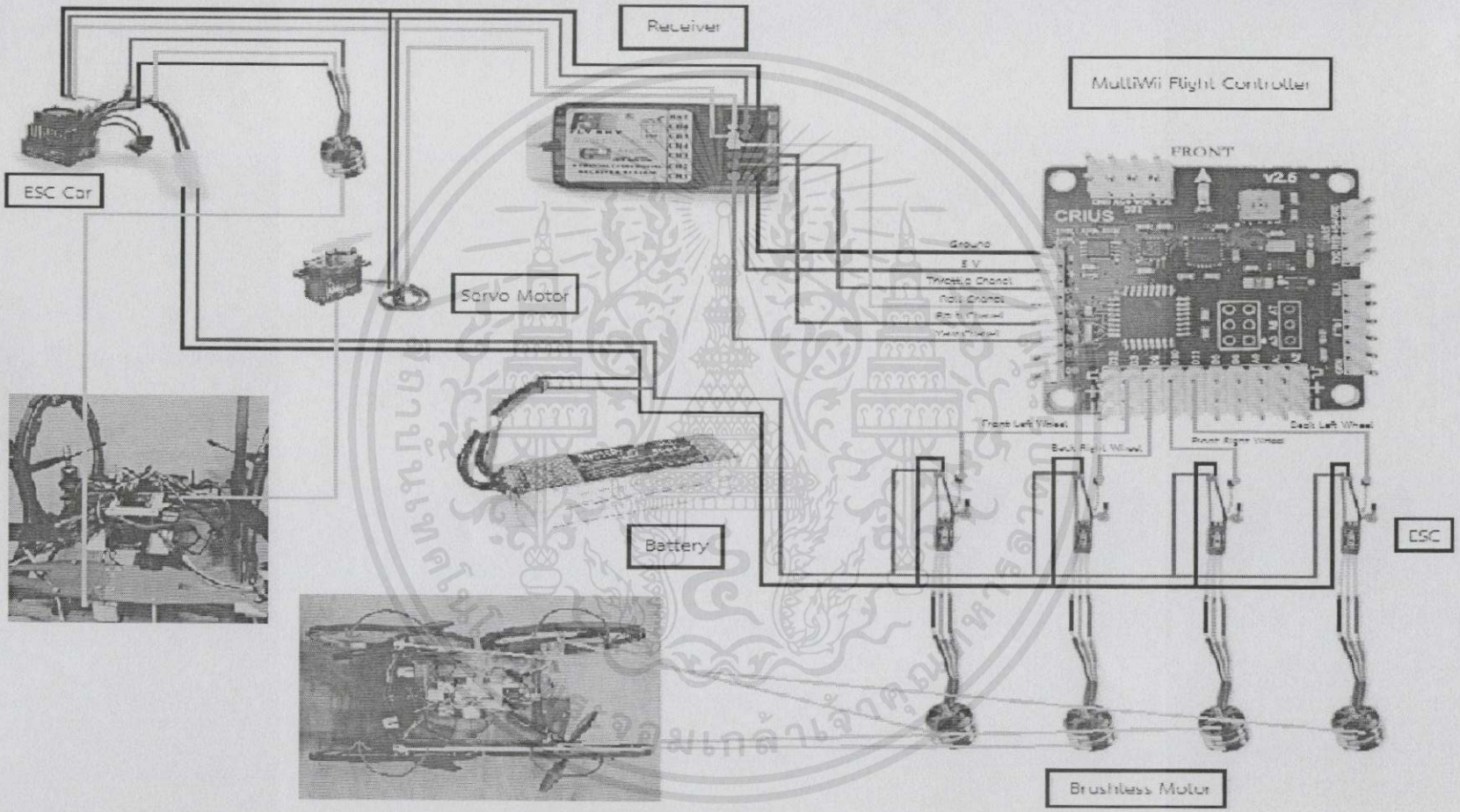
รถเครื่องบินสี่ใบพัดจะเริ่มทำงาน เมื่อเริ่มมีการส่งสัญญาณจากรีโมทคอนโทรลมายังตัวรับสัญญาณด้วยความถี่ 2.4 GHz จากนั้นจะส่งค่าสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลและส่งสัญญาณเพื่อสั่งงานในการควบคุมมอเตอร์ในรูปแบบต่างๆ โดยจะส่งสัญญาณที่ไปยังชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ และจะมีในส่วนของชุดควบคุมระดับการเอียง จะมีทั้งหมด 3 แกน เพื่อควบคุมการเอียงในรูปแบบต่างๆ คือ การเอียงหน้า เอียงหลัง การเอียงซ้าย เอียงขวา และการหมุนตัว ชุดควบคุมจะส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่จะประมวลผลเพื่อที่จะสั่งงานการควบคุมมอเตอร์ เพื่อรักษาสมดุลในการบินไม่ให้เอียง ในส่วนของการวิ่งและควบคุมการเลี้ยวของรถ จะมีการส่งสัญญาณจากรีโมทคอนโทรลมายังตัวรับสัญญาณ และส่งผ่านไปยังชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ เพื่อควบคุม มอเตอร์ที่ใช้ในการขับล้อหลัง และเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมทิศทางของล้อหน้า โดยไม่ผ่านไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะมีในส่วนของการเดินหน้าและถอยหลัง และเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



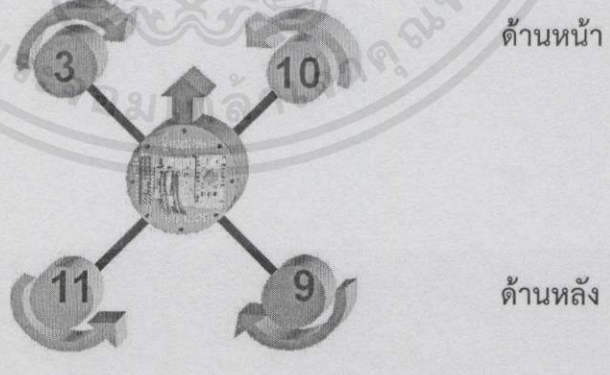
รูปที่ 3.35 วงจรควบคุมทั้งหมดของ Quadcopter Car

จะเห็นได้ว่าวงจรนี้ใช้แบตเตอรี่ขนาด 3 เซลล์อนุกรม (3S) ซึ่งมีแรงดัน 11.1 โวลต์ เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงทั้งหมดให้แก่วงจร ซึ่งแบ่งออกได้เป็น

3.4.1.1 วงจรควบคุมการบิน

วงจรนี้จะมี ATmega 328P ซึ่งอยู่ภายในบอร์ด MultiWii SE v2.5 เป็นตัวประมวลผลกลาง และสั่งการให้อุปกรณ์ต่างๆ ทำงาน โดยจะเริ่มต้นจากตัวรับสัญญาณรับค่าสัญญาณจากวิทยุในช่องสัญญาณ (Channel) 1 ถึง 4 และอ่านค่าสัญญาณเพื่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในหน่วยพัลส์ต่อนาที (Pulse Per Minute, PPM) จากนั้นส่งค่าไปประมวลผลตามที่โปรแกรมได้เขียนคำสั่งมาให้ทำงาน ในขณะเดียวกันเซนเซอร์ชนิดต่างๆ จะทำงานโดยการรับค่า โดย MPU6050 จะรับค่าความเร่งและมุมเอียง, เซนเซอร์ HMC5883L จะรับค่าเส้นแรงแม่เหล็กเพื่อนำมาเปรียบเทียบเป็นค่าทิศทาง และเซนเซอร์ BMP085 จะรับค่าความดันแล้วมาแปลงเป็นค่าระดับความสูง โดยใช้ PCA9306DP1 (Logic Level Converter) และส่งค่ากลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำตามชุดคำสั่งควบคุมตามที่ได้โปรแกรมไว้ในโปรแกรม Arduino และส่งค่าออกไปยังขา Digital Pin ทั้ง 4 ขา คือ D3, D9, D10, D11 ในรูป Pulse Width Modulation (PWM) ซึ่งมีค่าระหว่าง 1000 ถึง 2000 เพื่อไปสั่งงานตัวควบคุมความเร็ว (ESC) ทั้ง 4 ตัว เพื่อไปสั่งให้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านทำงาน และสั่งให้ Quadcopter เคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ

ทิศทางการหมุนของใบพัดจะต้องมีลักษณะตามรูปที่ 3.36 ทั้งนี้เนื่องมาจากให้มีการหักล้างกันของแรงบิด (Torque) ในมุม Yaw ซึ่งจะทำให้ Quadcopter ไม่หมุนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเมื่อบินขึ้นบนอากาศ



รูปที่ 3.36 ทิศทางการหมุนของใบพัดเมื่อบินแบบโครงเป็นตัว X

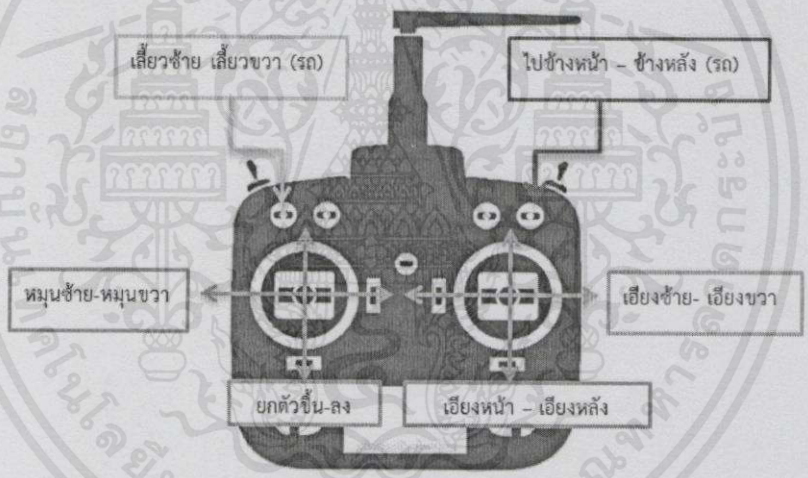
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.2 วงจรควบคุมการวิ่ง

การควบคุมการวิ่งจะใช้ช่องสัญญาณที่เหลืออยู่ของตัวรับสัญญาณ นั่นคือ ช่องสัญญาณ 5 และ 6 มาใช้ในการควบคุมมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนล้อหลัง และเซอร์โวมอเตอร์ซึ่งใช้ในการบังคับทิศทางของล้อหน้า โดยไม่ผ่านการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นการควบคุมโดยตรงผ่านทางรีโมทและตัวรับสัญญาณวิทยุ

3.4.2 การควบคุม Quadcopter Car โดยใช้วิทยุและตัวรับสัญญาณ

การกำหนดแผงวิทยุบังคับสำหรับการควบคุมการบินในอากาศ จะใช้ช่องสัญญาณหลัก ในช่องที่ 1 ถึง ช่องที่ 4 ในการควบคุม ซึ่งเป็นการควบคุมผ่านคันบังคับ ในส่วนของการควบคุมการวิ่งบนพื้นจะใช่องสัญญาณที่เหลือคือ ช่องที่ 5 และช่องที่ 6 ซึ่งเป็นช่องควบคุมด้านบนเหนือคันบังคับเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ทั้งการวิ่ง และการเลี้ยว



รูปที่ 3.37 การกำหนดแผงวิทยุบังคับสำหรับการควบคุมการบินในอากาศและการวิ่งบนพื้นของ Quadcopter Car ที่สร้างขึ้น

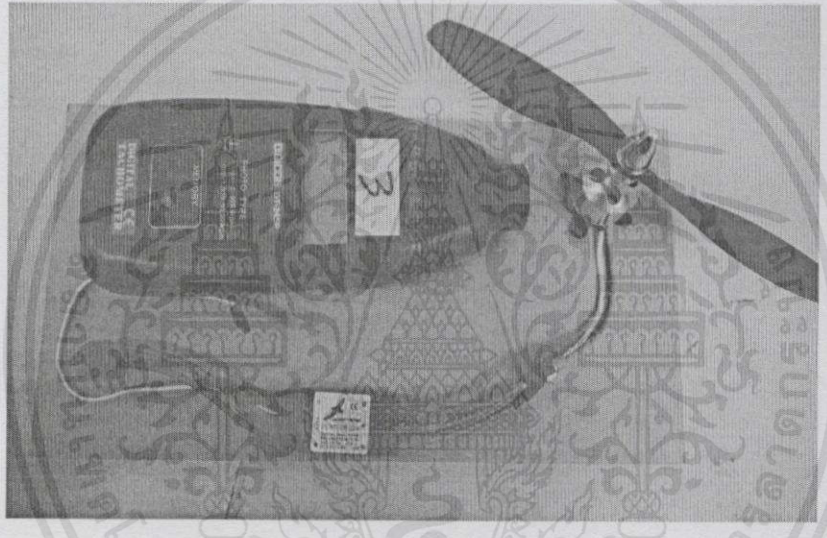
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

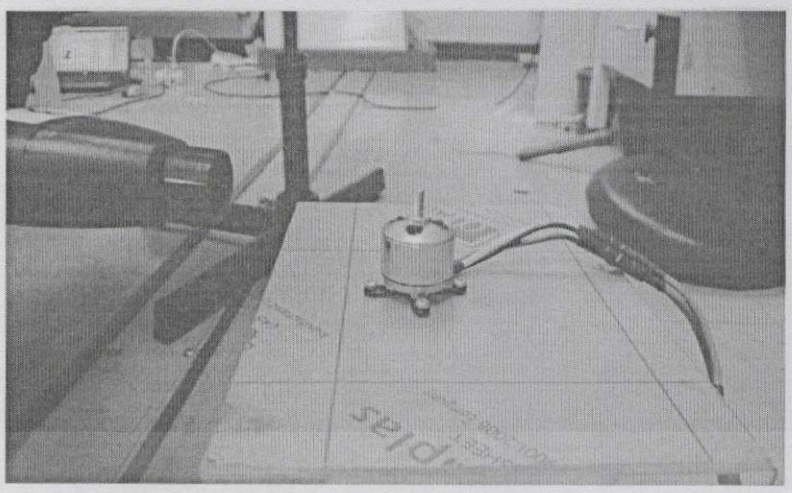
เป็นการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ในหน่วยรอบต่อนาที (Round Per Minute, RPM) โดยใช้ Tachometer แบบ Photo Type โดยจะวัดความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อไม่มีใบพัด เพื่อเทียบกับค่าทางทฤษฎี และขณะมีใบพัด เพื่อเทียบกับค่าที่ได้รับการทดสอบโดยผู้ทดสอบมอเตอร์



รูปที่ 4.1 Tachometer แบบ Photo Type

รูปที่ 4.2 การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อมีใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อไม่มีใบพัด

ผลการทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านโดยใช้ Tachometer แบบ Photo Type

ตารางที่ 4.1 มอเตอร์ตัวที่ 1 วัดความเร็วรอบขณะที่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.33 โวลต์

ความเร็วของมอเตอร์ (RPM) / ตำแหน่งการโยกคันบังคับ (%)	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
25	2446	2327	2744	2505.67
50	6119	6165	5826	6036.67
75	9638	9276	9050	9321.33
100	10617	10517	9495	10209.67

ตารางที่ 4.2 มอเตอร์ตัวที่ 1 วัดความเร็วรอบขณะที่มอเตอร์ไม่ต่อกับใบพัดที่แรงดัน 11.33 โวลต์

ความเร็วของมอเตอร์ (RPM) / ตำแหน่งการโยกคันบังคับ (%)	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
25	3130	3668	3609	3469
50	8239	10665	7236	8713.33
75	13198	11081	13896	12725
100	13570	13200	12064	12921.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 มอเตอร์ตัวที่ 2 วัดความเร็วรอบขณะที่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.22 โวลต์

ความเร็วของมอเตอร์ (RPM) / ตำแหน่งการโยกคันบังคับ (%)	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
25	2328	2025	2206	2186.33
50	6469	6605	6522	6532
75	9134	9196	9198	9176
100	9446	9073	8998	9172.33

ตารางที่ 4.4 มอเตอร์ตัวที่ 2 วัดความเร็วรอบขณะที่ไม่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.22 โวลต์

ความเร็วของมอเตอร์ (RPM) / ตำแหน่งการโยกคันบังคับ (%)	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
25	4265	4606	4903	4591.33
50	11922	6746	8831	9166.33
75	10538	10304	12550	11130.67
100	15981	15932	15988	15967

ตารางที่ 4.5 มอเตอร์ตัวที่ 3 วัดความเร็วรอบขณะที่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.21 โวลต์

ความเร็วของมอเตอร์ (RPM) / ตำแหน่งการโยกคันบังคับ (%)	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
25	2039	1987	2180	2068.67
50	6978	6933	7794	7235
75	8253	8638	8513	8468
100	8290	9089	9112	8803.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 มอเตอร์ตัวที่ 3 วัดความเร็วรอบขณะที่ไม่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.12 โวลต์

ความเร็วของมอเตอร์ (RPM) / ตำแหน่งการโยกคันบังคับ(%)	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
25	4358	4552	3676	4195.33
50	11803	11302	10932	11345.67
75	15089	12555	14936	14193.33
100	15019	15066	15056	15047

ตารางที่ 4.7 มอเตอร์ตัวที่ 4 วัดความเร็วรอบขณะที่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.09 โวลต์

ความเร็วของมอเตอร์ (RPM) / ตำแหน่งการโยกคันบังคับ(%)	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
25	2505	2400	2458	2454.33
50	6723	6627	6798	6716
75	11903	9122	8780	9935
100	9897	9669	9548	9704.67

ตารางที่ 4.8 มอเตอร์ตัวที่ 4 วัดความเร็วรอบขณะที่ไม่ต่อมอเตอร์กับใบพัดที่แรงดัน 11.45 โวลต์

ความเร็วของมอเตอร์ (RPM) / ตำแหน่งการโยกคันบังคับ(%)	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
25	4490	4832	3844	4388.67
50	9181	9559	9532	9224
75	9468	14245	13135	12282.67
100	11840	11378	15842	13020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่บนพื้น

เป็นการวัดความเร็วในการเคลื่อนที่บนพื้นโดยวัดเวลาในการเคลื่อนที่ในระยะทาง 7.5 เมตร โดยทำการวัดระยะเวลาเป็นจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.9 ที่ตำแหน่งการโยกคันบังคับที่ 25 %

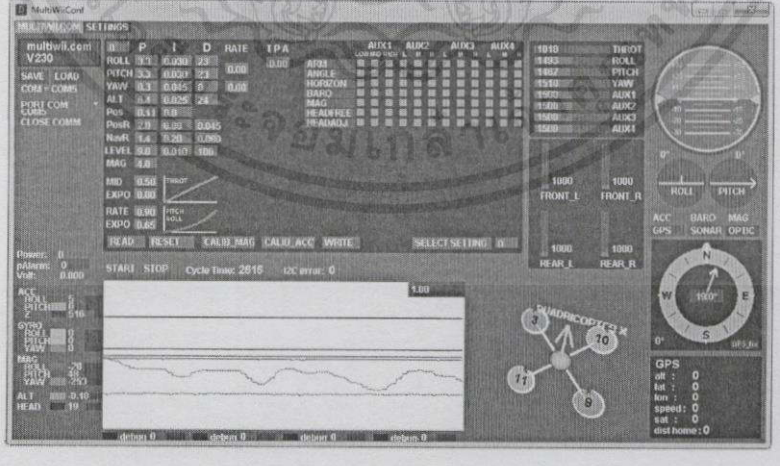
เวลา (วินาที)	ความเร็ว(เมตร/วินาที)	ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/วินาที)
3.70	2.0270	2.0383
3.71	2.0216	
3.69	2.0662	

ตารางที่ 4.10 ที่ตำแหน่งการโยกคันบังคับที่ 50 %

เวลา (วินาที)	ความเร็ว(เมตร/วินาที)	ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/วินาที)
1.93	3.8806	4.1779
1.58	4.7468	
1.92	3.9063	

4.3 การทดสอบการบิน และการปรับค่าพีไอดี

ที่ค่าพีไอดีเริ่มต้นของ Flight Controller



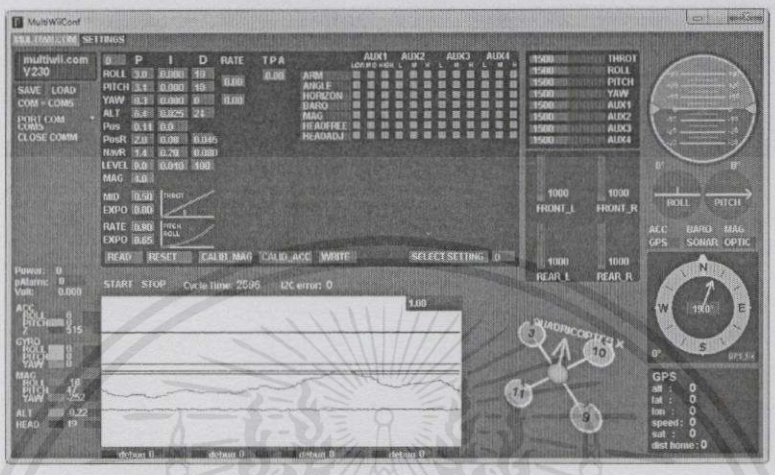
รูปที่ 4.4 ค่าพีไอดีเริ่มต้นของ Flight Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ

เมื่อทดสอบการบิน แล้วพบว่าไม่สามารถทำให้ Quadcopter นั้นบินขึ้นจากในพื้นได้ เนื่องจากเมื่อดูจากโปรแกรม MultiWiiConf แล้ว พบว่าค่าคำสั่งสัญญาณ Pulse Width

Modulation (PWM) ที่ส่งไปให้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านแต่ละตัวผ่านตัวควบคุมความเร็วนั้นมีค่าไม่คงที่ รวมทั้งมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละตัว ทำให้ต้องปรับค่าพีไอดีใหม่

ที่ค่าพีไอดีที่ทำการปรับค่า



รูปที่ 4.5 ค่าพีไอดีที่ได้ปรับ

ได้ทดลองปรับค่าพีไอดีโดยการลองปรับค่าพีไอดี โดยให้ค่าคำสั่งที่ส่งไปให้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านแต่ละตัวผ่านตัวควบคุมความเร็วแต่ละตัวมีค่าใกล้เคียงกัน โดยได้ค่าตามรูปที่ 4.5 ซึ่งเมื่อทดลองบินปรากฏว่าสามารถบินขึ้นได้ แต่ยังมีปัญหาการเคลื่อนที่ในแนวแกนต่างๆ อยู่ โดยพบว่าที่ค่าพีไอดีนี้เมื่อทำการบินขึ้นปรากฏว่า Quadcopter ยังมีการหมุน ทำให้ต้องปรับค่าพีไอดีที่มุม Yaw ใหม่

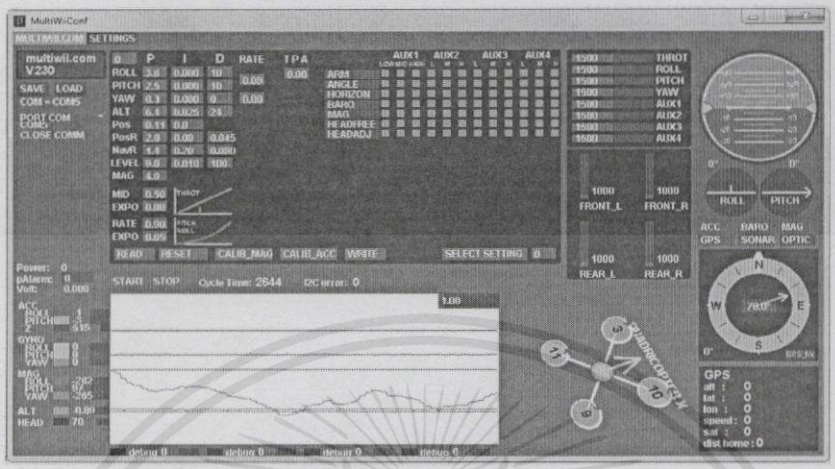
ทำการปรับค่า พีไอดีโดยใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error Method) โดยทำการปรับค่าพีไอดี และทดลองบินไปเรื่อยๆ เพื่อหาค่าพีไอดีที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ได้ค่าพีไอดีซึ่งคิดว่ามีค่าเหมาะสมที่สุด คือ

ตารางที่ 4.11 ค่าพีไอดีที่ได้รับการปรับ

ค่าตัวแปร / แนวแกน	ค่าพี	ค่าไอ	ค่าดี
Roll	3.6	0	10
Pitch	2.5	0	10
Yaw	0.3	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเมื่อทดลองบิน ปรากฏว่าเครื่องบินสามารถลอยได้นิ่งกว่าเดิม แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นล้วนขึ้นอยู่กับทักษะการบังคับของผู้บังคับเครื่องด้วย



รูปที่ 4.6 ค่าพีไอดีที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดลอง หลังจากที่ได้ทำการทดลองออกแบบ และดำเนินงานมาจนถึงกระบวนการทดลองต่างๆ ตามที่ได้ปฏิบัติไป ต่างพบเจอปัญหาที่เกิดขึ้นมาเป็นระยะๆ ระหว่างที่ทำการทดลอง ถึงแม้ว่าจะเจอปัญหาและอุปสรรคมากมายแค่ไหน ทุกคนในกลุ่มก็ยังคงตั้งอกตั้งใจ ให้ความร่วมมือกันเป็นอย่างดี และพร้อมที่จะเผชิญปัญหาไปด้วยกัน ถึงแม้ว่าการแก้ปัญหาในแต่ละขั้นตอนนั้นจะเกิดแรงกดดัน และใช้เวลานานก็ตาม การช่วยการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทำให้งานดำเนินไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งข้อมูลนั้นก็ได้จากหลากหลายวิธี เช่น การขอคำแนะนำกับอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งอาจารย์ท่านก็ให้ความกรุณาในข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็น การค้นคว้าข้อมูลทางอินเตอร์เน็ต ซึ่งปัจจุบันความรู้ทางอินเตอร์เน็ตนั้นเปิดกว้างมาก สามารถเข้าไปหาข้อมูลได้อย่างทั่วถึง การค้นคว้าทางห้องสมุด และอื่นๆ อีกหลายวิธี ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ ได้ถูกนำมารวบรวมเป็นเนื้อหาที่สำคัญ และนำมาเป็นฐานข้อมูลที่เชื่อถือได้ สำหรับการสร้างและการออกแบบโครงงานชิ้นนี้

ในส่วนของการสร้างและการออกแบบตัวรถเครื่องบินปีกหมุน 4 ใบพัดนั้น ได้ทำตามขั้นตอนที่ได้วางแผนไว้ในเบื้องต้น และมีการตรวจเช็ค เพื่อให้แน่ใจว่าในแต่ละขั้นตอนนั้นถูกต้องและสมบูรณ์ที่สุด ตามที่ได้ออกแบบไว้ แต่ถึงกระนั้นก็ยังคงพบปัญหาที่เกิดตามมาทุกขั้นตอน ตั้งแต่ปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งก่อนการดำเนินงาน ระหว่างการดำเนินงาน และหลังการดำเนินงาน ซึ่งในส่วนของบทที่ 5 จะเป็นการกล่าวถึงปัญหาต่างๆ การแก้ปัญหาต่างๆ รวมไปถึงข้อเสนอแนะที่เกิดขึ้นจากการทำโครงงานชิ้นนี้

5.1 สรุป

ในส่วนของการทดสอบมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน เป็นการทดสอบว่ามอเตอร์มีผลการทดสอบตรงกับค่าทางทฤษฎีหรือไม่ โดยเป็นการทดสอบในขณะที่มอเตอร์ไม่ต่อกับใบพัด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า มอเตอร์มีรอบการหมุนสูงสุดอยู่เฉลี่ยที่ประมาณ 15000 รอบต่อนาที ซึ่งตรงกับค่าทางทฤษฎี จากค่า KV (ค่ารอบต่อนาที ต่อไฟเลี้ยง 1 โวลต์) ของมอเตอร์ที่ 1400 KV และจ่ายไฟที่ 11.1 โวลต์ รอบการหมุนสูงสุดต้องมีค่า 15540 รอบต่อนาที ซึ่งผลการทดสอบนี้มีค่าตรงกับค่าทางทฤษฎี นอกจากนี้ยังได้ทดสอบมอเตอร์ในขณะที่ต่อกับใบพัดขนาด 8 x 4.5 นิ้ว โดยจากการทดสอบพบว่า รอบการหมุนของมอเตอร์เมื่อต่อกับใบพัดมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ประมาณ 10000 รอบต่อนาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้ทดสอบจากผู้ทดสอบมอเตอร์ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งรอบสูงสุดที่วัดได้มีค่า 11040 รอบต่อนาที ทำให้สรุปได้ว่ามอเตอร์ที่เลือกใช้มีคุณสมบัติตรงกับผลทางทฤษฎี และผลที่ได้รับการทดสอบแล้วจากผู้ทดสอบมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการขับเคลื่อนบนพื้น จากการออกแบบโครงสร้างและระบบการขับเคลื่อนบนพื้นให้กับรถเครื่องบินปีกหมุนสี่ใบพัดนั้น รถเครื่องบินปีกหมุนสี่ใบพัดสามารถเคลื่อนที่บนพื้นได้เป็นอย่างดี โดยสามารถเคลื่อนที่ทั้งไปข้างหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจากการวัดความเร็วในการเคลื่อนที่แล้ว รถเครื่องบินปีกหมุนสี่ใบพัด มีความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่อยู่ที่ประมาณ 2 เมตรต่อวินาที เมื่อคันบังคับอยู่ที่ 25% และมีความเร็วเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 4 เมตรต่อวินาที เมื่อคันบังคับอยู่ที่ 50%

ในส่วนของการบินนั้น ในขั้นต้นจากการทดลองพบว่า ค่าพีไอดีเริ่มต้นของบอร์ด MultiWii Flight Controller นั้นไม่สามารถทำให้รถเครื่องบินปีกหมุนสี่ใบพัดบินขึ้นจากพื้นได้ เนื่องจากที่ค่าพีไอดีนี้ ค่าคำสั่งที่ส่งไปให้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านแต่ละตัว ผ่านตัวควบคุมความเร็ว มีค่าแกว่งและไม่คงที่ ซึ่งส่งผลให้มอเตอร์ที่ระดับคันบังคับเท่ากันทำงานที่ความเร็วรอบไม่เท่ากัน จึงทำให้รถเครื่องบินปีกหมุนสี่ใบพัดไม่สามารถลอยตัวขึ้นจากพื้นได้ จึงต้องทำการปรับค่าพีไอดีใหม่ โดยให้ค่าที่ส่งไปให้ตัวควบคุมความเร็ว มีค่าเท่าๆ กัน หรือใกล้เคียงกันทุกตัว แล้วจึงทำการทดลองบิน ผลปรากฏว่าสามารถทำให้รถเครื่องบินปีกหมุนสี่ใบพัดลอยตัวขึ้นจากพื้นได้ แต่ยังบินได้ไม่นิ่งเนื่องจากมีผลกระทบจากการหมุนในมุม Yaw จึงทำให้ต้องมีการปรับค่าพีไอดี ในส่วนนี้เพิ่มเติม และทดสอบบินจนกระทั่งได้ค่าพีไอดีในมุมต่างๆ (มุม Yaw, มุม Pitch, มุม Roll) ที่เหมาะสมกับรถเครื่องบินปีกหมุนสี่ใบพัดลำนี้ แต่ทั้งนี้การบังคับรถเครื่องบินปีกหมุนสี่ใบพัดให้ลอยนิ่งได้นั้น นอกจากอาศัยค่าพีไอดีที่เหมาะสมแล้ว ยังต้องอาศัยทักษะการบังคับและควบคุมเครื่องของผู้บังคับเครื่องอีกด้วย

5.2 ปัญหาและอุปสรรค์ในการดำเนินโครงงานนี้

1. ขาดประสบการณ์และความชำนาญ ทำให้ใช้เวลาค่อนข้างมากในการศึกษาค้นคว้า ในการออกแบบโครงสร้างและขั้นตอนในการตัดสินใจเพื่อเลือกซื้ออุปกรณ์

2. ในส่วนของการวิ่ง ค่อนข้างมีปัญหาในส่วนเฟืองขับล้อ เนื่องจากเฟืองขบกันไม่ตลอดในช่วงของระยะการวิ่ง ทำให้การวิ่งเกิดการติดขัด

3. ในส่วนของการบินจะหาสมดุลในการลอยนิ่งได้ลำบาก เนื่องจากสมดุลของโครงงานได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมและสถานที่ที่ไม่พร้อมในการทดสอบ รวมไปถึงความไม่สมดุลของโครงสร้างทำให้การปรับค่าพีไอดีในแนวมุมต่างๆ มีความยากเพิ่มขึ้น

4. การจัดวางโครงสร้างส่วนประกอบทั้งหมด ในเรื่องของสมดุล ตำแหน่งอุปกรณ์ การเดินสายไฟ การเชื่อมต่ออุปกรณ์แต่ละส่วนเข้าด้วยกัน รวมถึงน้ำหนัก มีความสำคัญและส่งผลต่อเครื่องบินสี่ใบพัดเป็นอย่างมาก

5. โครงงานชิ้นนี้ ในส่วนของการออกแบบ ออกแบบโครงสร้างไม่เหมือนกับเครื่องบินสี่ใบพัดทั่วไป เพราะยังมีส่วนของล้อที่ยินติดกับปีกใบพัด ซึ่งในส่วนนี้ขาดประสบการณ์และความชำนาญเป็นอย่างมาก ทำให้มาตรฐานของโครงสร้างลดลง ส่งผลให้แรงยกตัวลดน้อยลง ทำให้เครื่องบินบินได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การโปรแกรมคำสั่งในส่วนของการบินและการวิ่งเนื่องจาก Code ที่ใช้เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการบินของบอร์ดสำเร็จรูป MultiWii ที่เลือกใช้นั้น มีความซับซ้อน และเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ไม่มีความรู้และประสบการณ์มาก่อนทำให้เมื่อต้องการจะแก้ไขคำสั่งต่างๆ ภายในโปรแกรมนั้นอาจทำได้ยากหรืออาจทำให้โปรแกรมการบินทำงานผิดพลาด

7. เครื่องพิมพ์สามมิติที่ใช้พิมพ์ตัวรถเครื่องบินปีกหมุนสี่ใบพัดนั้น พิมพ์ได้มากสุดคือ 20 x 20 ซม. แต่ตัวเครื่องมีขนาดใหญ่กว่า ทำให้จำเป็นต้องตัดแบ่งชิ้นส่วนเป็นส่วนย่อยๆ และนำมาประกอบกัน ซึ่งการทำด้วยวิธีนี้จะมีโอกาสเกิดการแตกหักของโครงได้ง่าย ในกรณีที่เครื่องบินเกิดขัดข้องและตกลงกระแทกพื้น

8. เมื่อทำการทดลองบิน และเครื่องบินเกิดการตกลงมา ทำให้โครงสร้างได้รับความเสียหาย เนื่องจากตัวโครงไม่ได้ออกแบบมาให้รับแรงกระแทกระหว่างตก จำเป็นต้องใช้เวลาในการซ่อมพอสมควร รวมไปถึงค่าพีไอดีมีการเปลี่ยนแปลงทุกครั้งหลังซ่อมเสร็จ

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาค้นคว้าจากผู้ที่มีประสบการณ์ด้านอุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดในโครงงานนี้โดยตรง เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องในการสร้างรถเครื่องบินปีกหมุนสี่ใบพัด และการเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการใช้งาน

2. วัสดุประเภทของฟิลาเมนท์ที่ใช้พิมพ์ในส่วนของโครงสร้าง ควรมีให้ใช้หลายประเภท เพื่อความเหมาะสม และความทดทานของตัวโครงสร้าง

3. การเขียนโปรแกรมควบคุมการบินและการวิ่ง ผู้ที่ทำโครงงานควรมีความรู้ด้านการเขียนโปรแกรม โดยเฉพาะ ภาษา C++ ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการบินในบอร์ด MultiWii Flight Controller

4. ในขั้นตอนการทดลอง ควรมีการจัดเตรียมสถานที่ทดลองที่เหมาะสม ป้องกันตัวลำและอุปกรณ์ของเครื่องบินเสียหาย ขณะเกิดการตก

5. การวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ควรมีการศึกษาค้นคว้า ในเรื่องของจุดมาดุล และควรจัดวางอย่างเป็นระเบียบ แน่นหนา มีระยะห่างระหว่างกันที่เหมาะสม สร้างจุดเชื่อมต่อรวมกัน เพื่อให้ง่ายต่อการแก้ไข

6. โครงสร้างที่ออกแบบ ควรออกแบบให้สามารถรับแรงกระแทก หรือโครงสร้างมีความยืดหยุ่นเมื่อรับแรงกระแทก ทั้งนี้เพื่อป้องกันโครงสร้างเสียหายเมื่อเครื่องบินเกิดการตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ทินกร เขียวรี. 2558. "**การอบรมสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรียนรู้และฝึกทักษะด้านสมองกลฝังตัวของอากาศยาน (Quadrotor Controller).**" พระนครศรีอยุธยา :มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. เอกสารอัดสำเนา.

[2] อัครพันธุ์ สังข์วงษ์. 2555. "**เครื่องบินอัตโนมัติแบบสี่ใบพัดสำหรับการถ่ายภาพทางอากาศ.**" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[3] Flybrushless. "**Suppo a2210-10 1400KV.**" [Online]. Available: http://www.flybrushless.com/motor/view/228

[4] OscarLiang.net. "**Build a Quadcopter from scratch – Hardware Overview.**" [Online]. Available: http://blog.oscarliang.net/build-a-quadcopter-beginners-tutorial-1/

[5] OscarLiang.net."**How to choose Motor and Propeller for Quadcopter and Multicopter.**" [Online]. Available: http://blog.oscarliang.net/how-to-choose-motor-and-propeller-for-quadcopter/

[6] Multicopter. "**Lipo battery calculator.**" [Online]. Available: http://multicopter.forestblue.nl/lipo_need_calculator.html

[7] Multipilot32. "**Attaching the props to the motors.**" [Online]. Available: https://code.google.com/p/multipilot32/wiki/AC2_Props

[8] Multiwii. "**Basic setups.**" [Online]. Available: http://www.multiwii.com/connecting-elements

[9] Multiwii. "**config.h.**" [Online]. Available: http://www.multiwii.com/wiki/index.php?title=Config.h

[10] Multiwii. "**PID.**" [Online]. Available: http://www.multiwii.com/wiki/index.php?title=PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

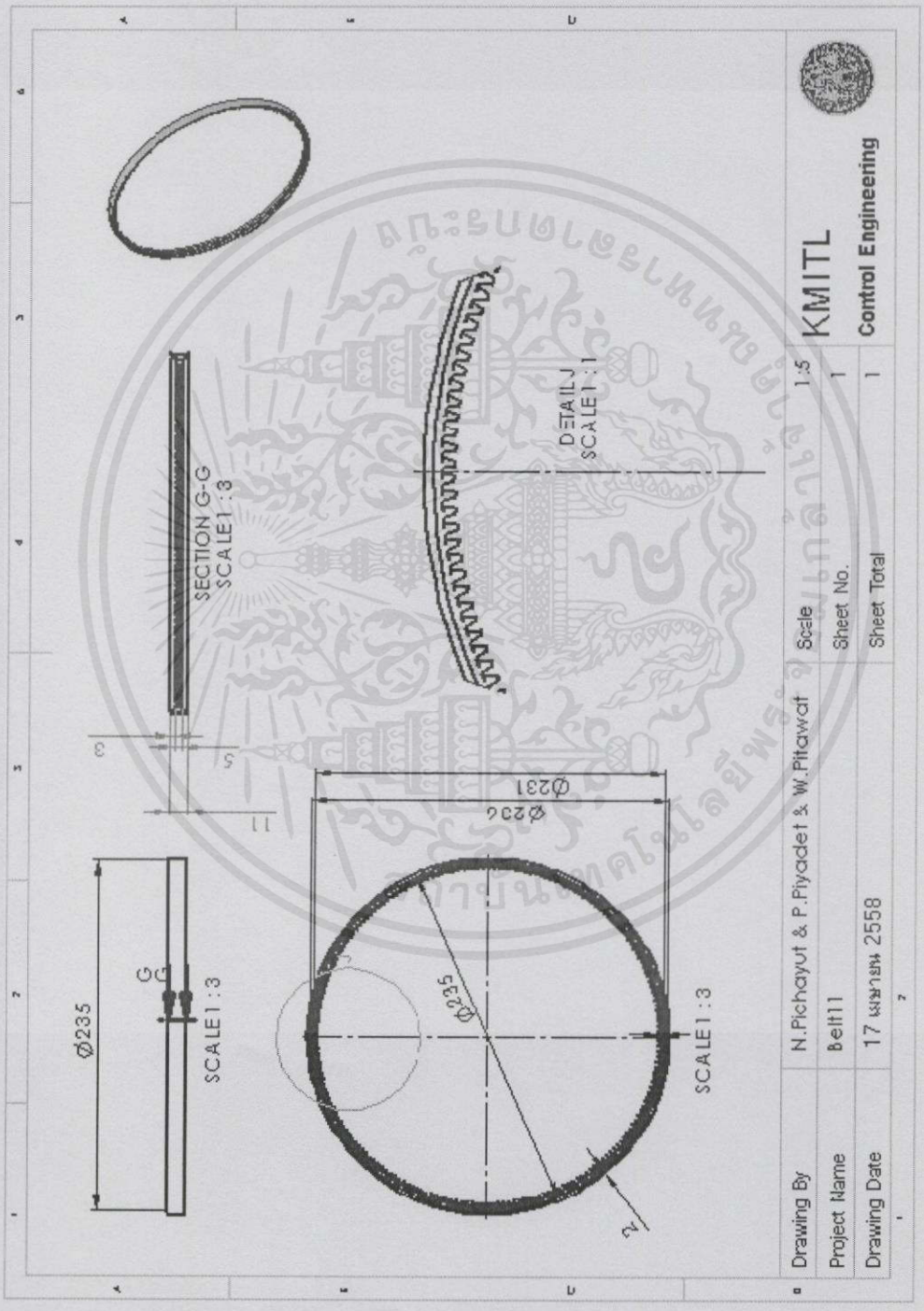
ภาคผนวก

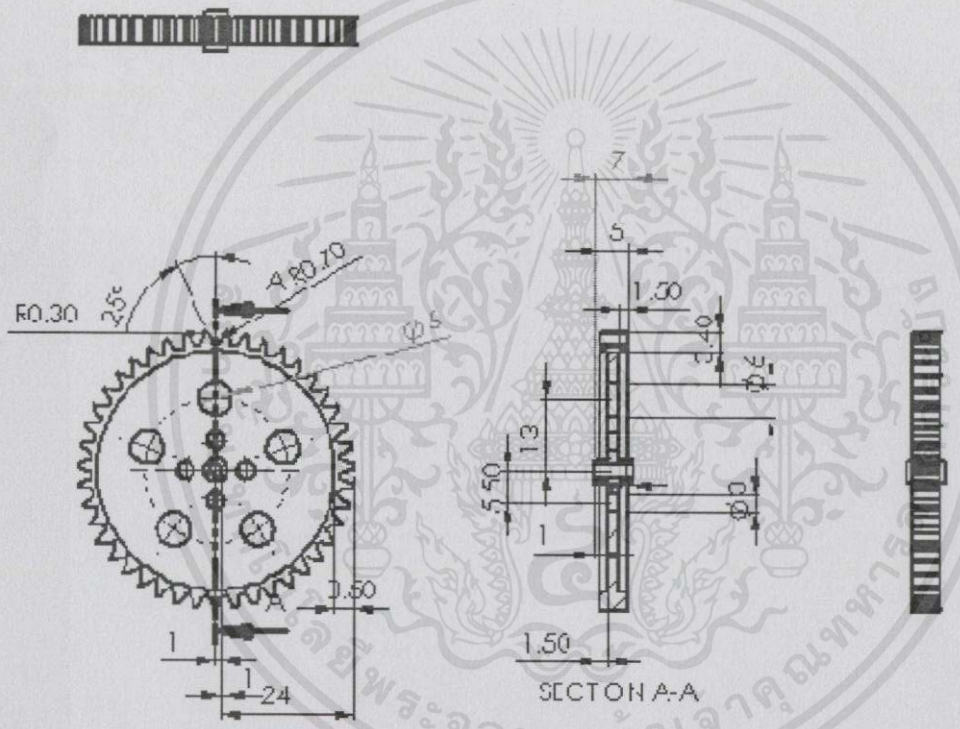
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

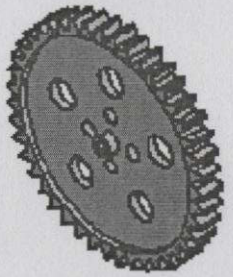
ภาคผนวก ก

แบบ Drawing โครงสร้างส่วนประกอบของเครื่องบิน

ปีกหมุน 4 ใบพัด



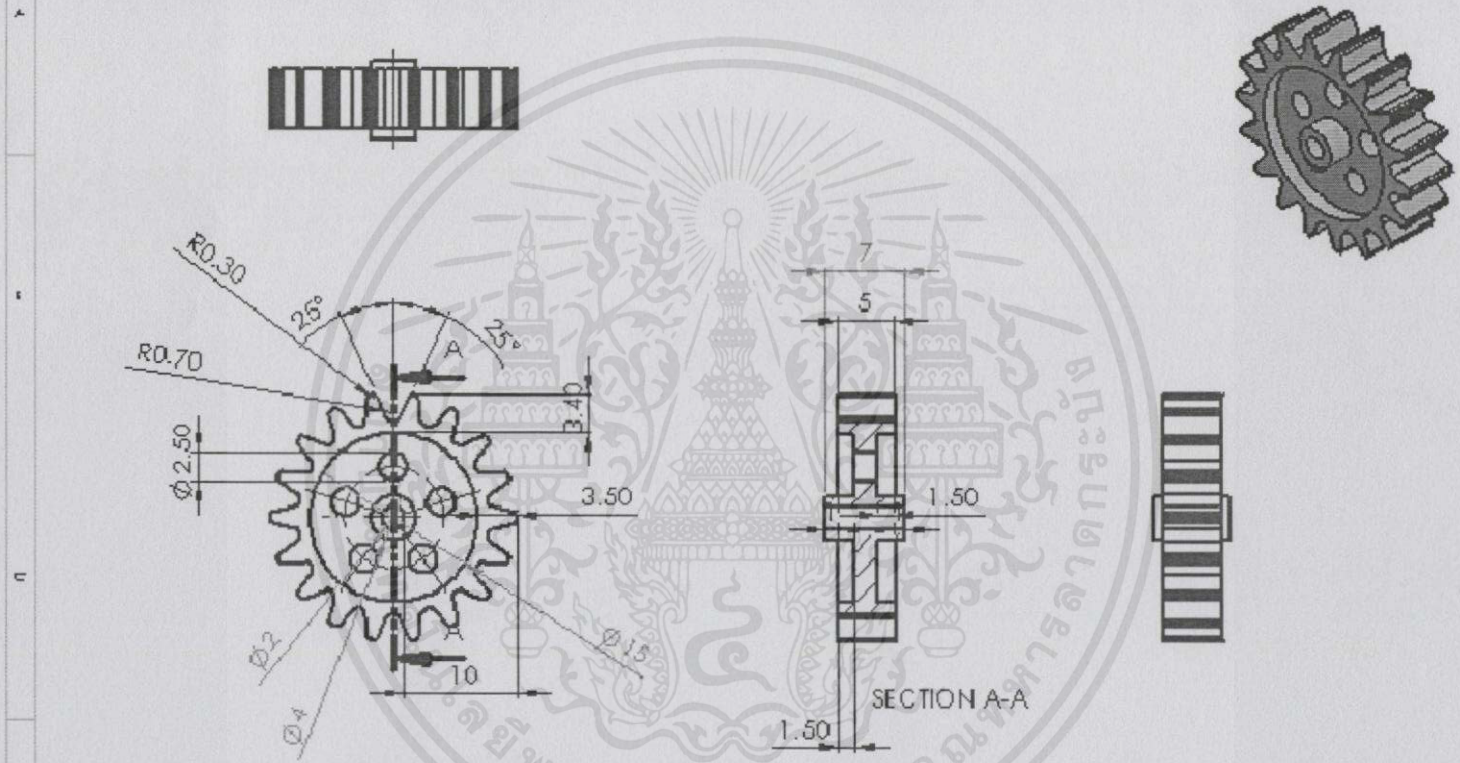




Drawing By	N.Pichayut & P Piyacet & W.Fitawet	Scale	1:1
Project Name	downgear1	Sheet No.	1
Drawing Date	17 มกราคม 2550	Sheet Total	1

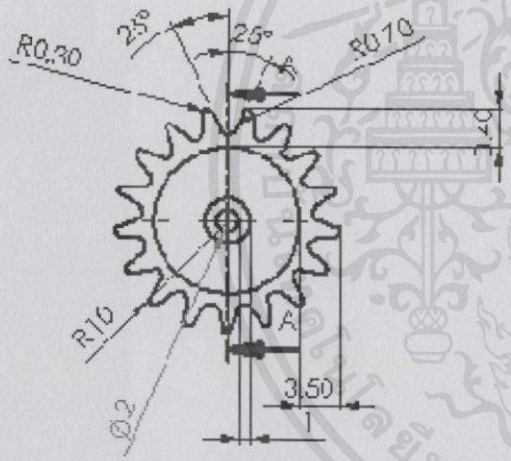
KMITL

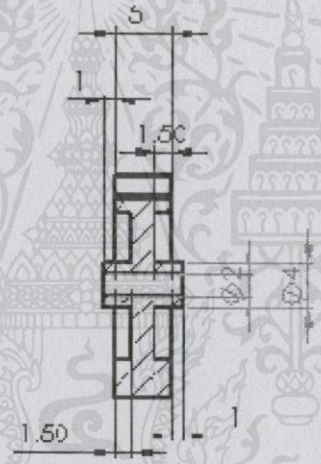
Control Engineering



Drawing By	N.Pichayut & P.Piyadet & W.Pitawat	Scale	2:1
Project Name	smallGear11	Sheet No.	1
Drawing Date	17 เมษายน 2558	Sheet Total	1

KMITL
Control Engineering



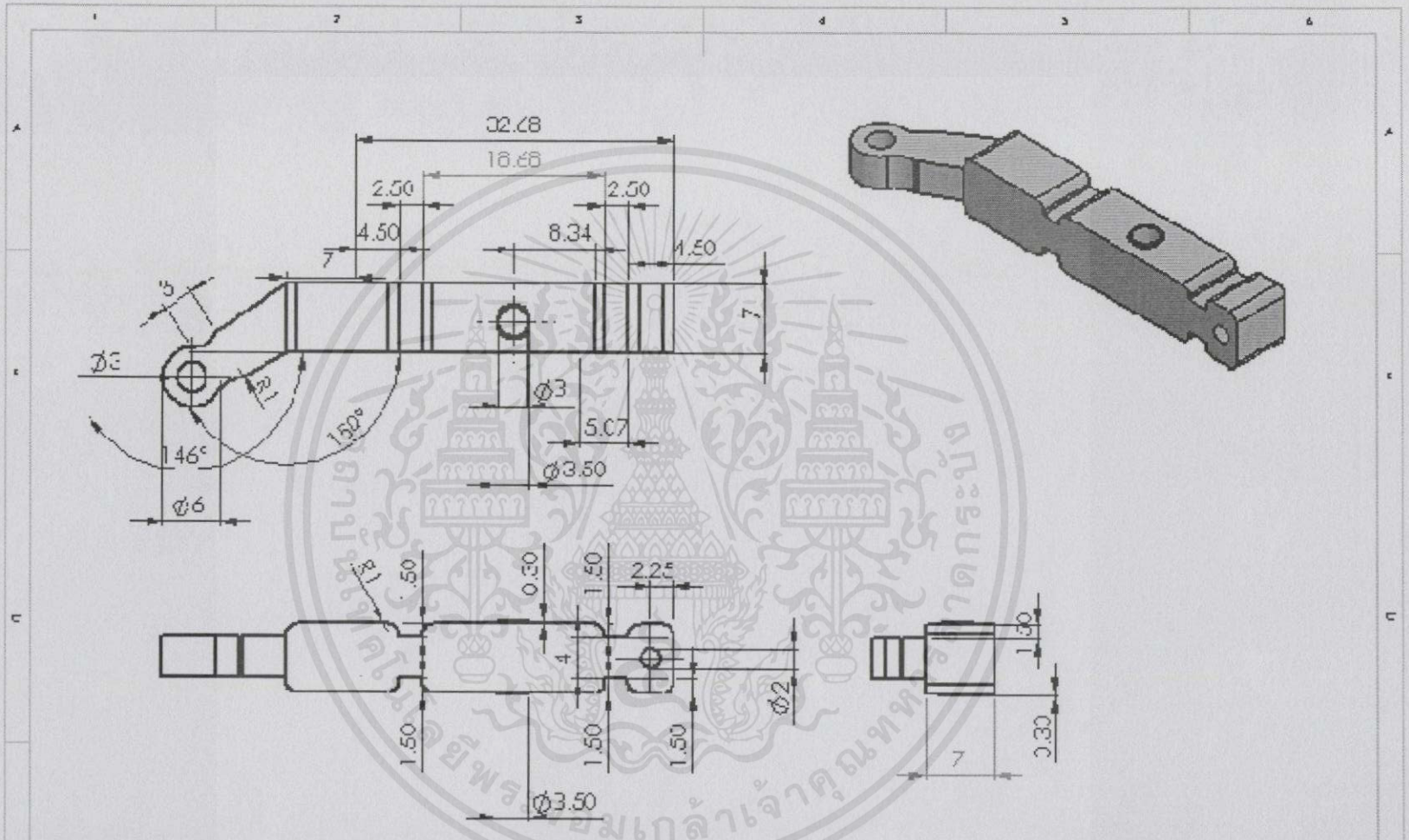


SECTION A-A

Drawing By	N.Pichcyut & P.Piyadet & W.Prawat	Scale	2:1
Project Name	upperGear11	Sheet No.	1
Drawing Date	15 เมษายน 2558	Sheet Total	1

KMITL

Control Engineering

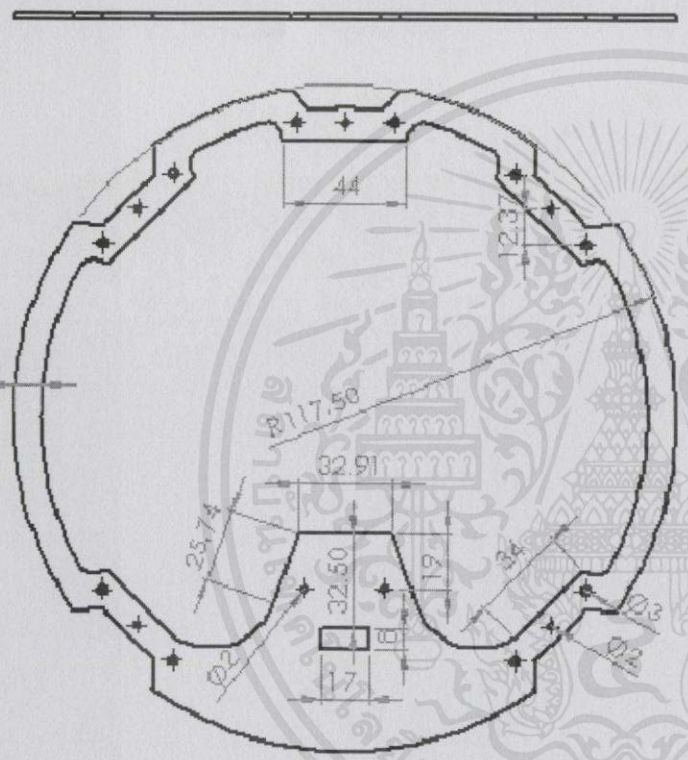


Drawing By	N.Pichayut & P.Piyadet & W.Pitawat	Scale	1:1
Project Name	servo_New	Sheet No.	1
Drawing Date	17 เมษายน 2558	Sheet Total	1

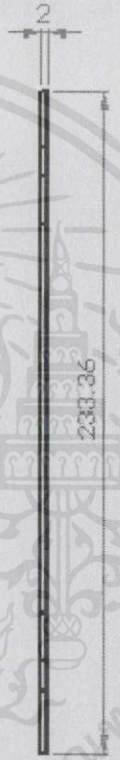
KMITL

Control Engineering

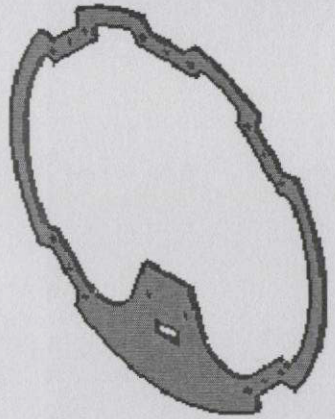
SCALE 1 : 2



SCALE 1 : 2



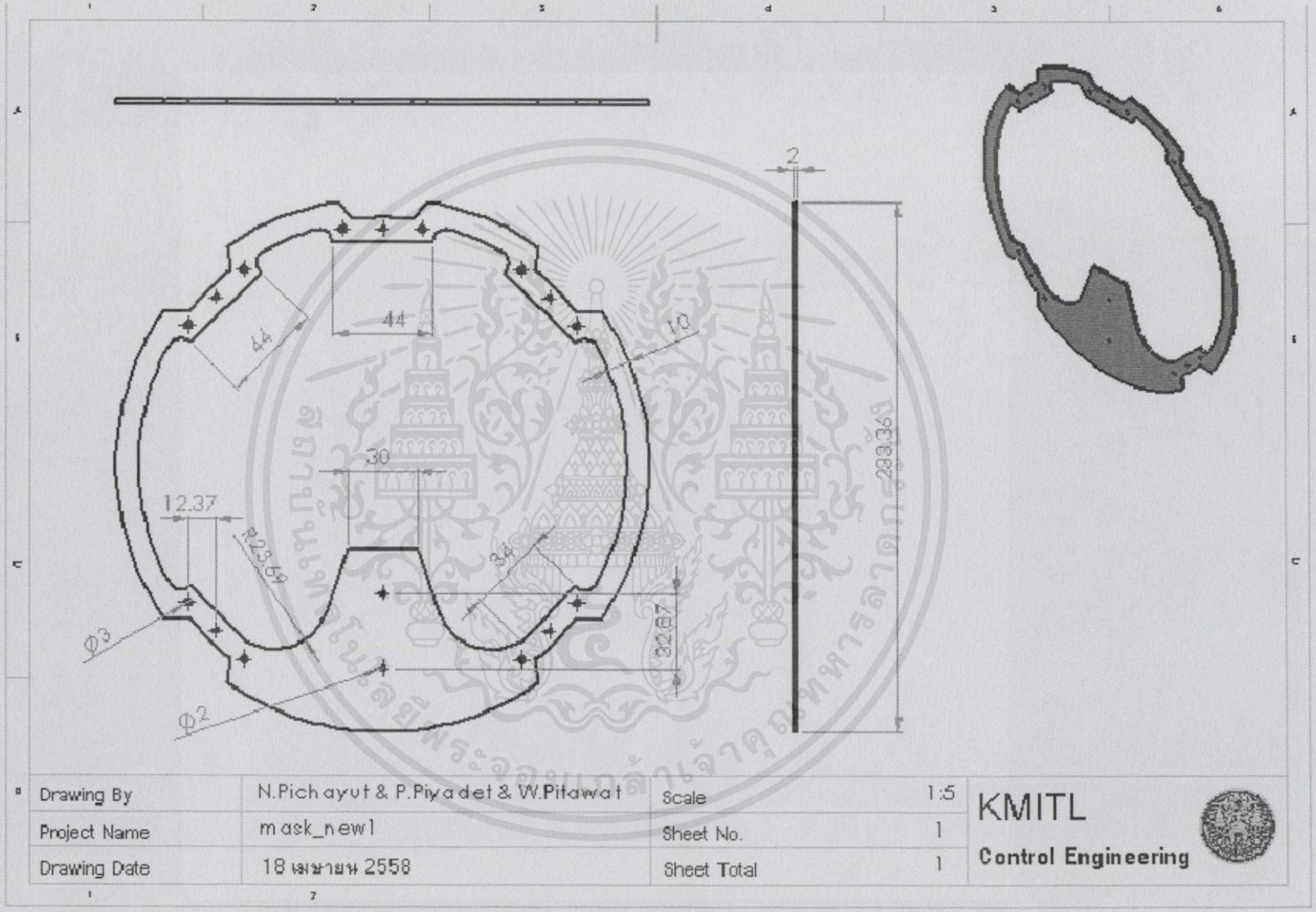
SCALE 1 : 2



Drawing By	N.Pichayut & P.Piyadet & W.Pitawat	Scale	1:5
Project Name	mask_front	Sheet No.	1
Drawing Date	20 เมษายน 2558	Sheet Total	1

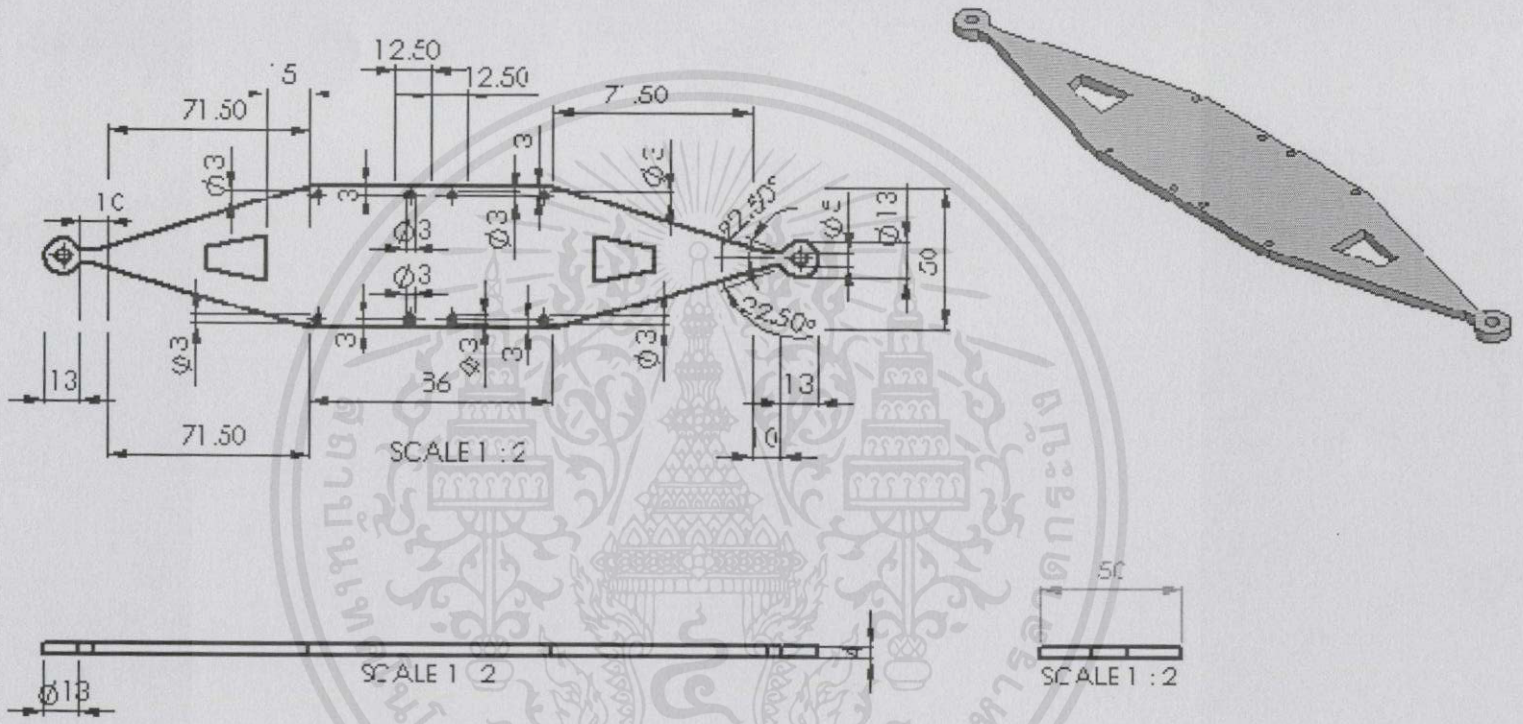
KMITL

Control Engineering



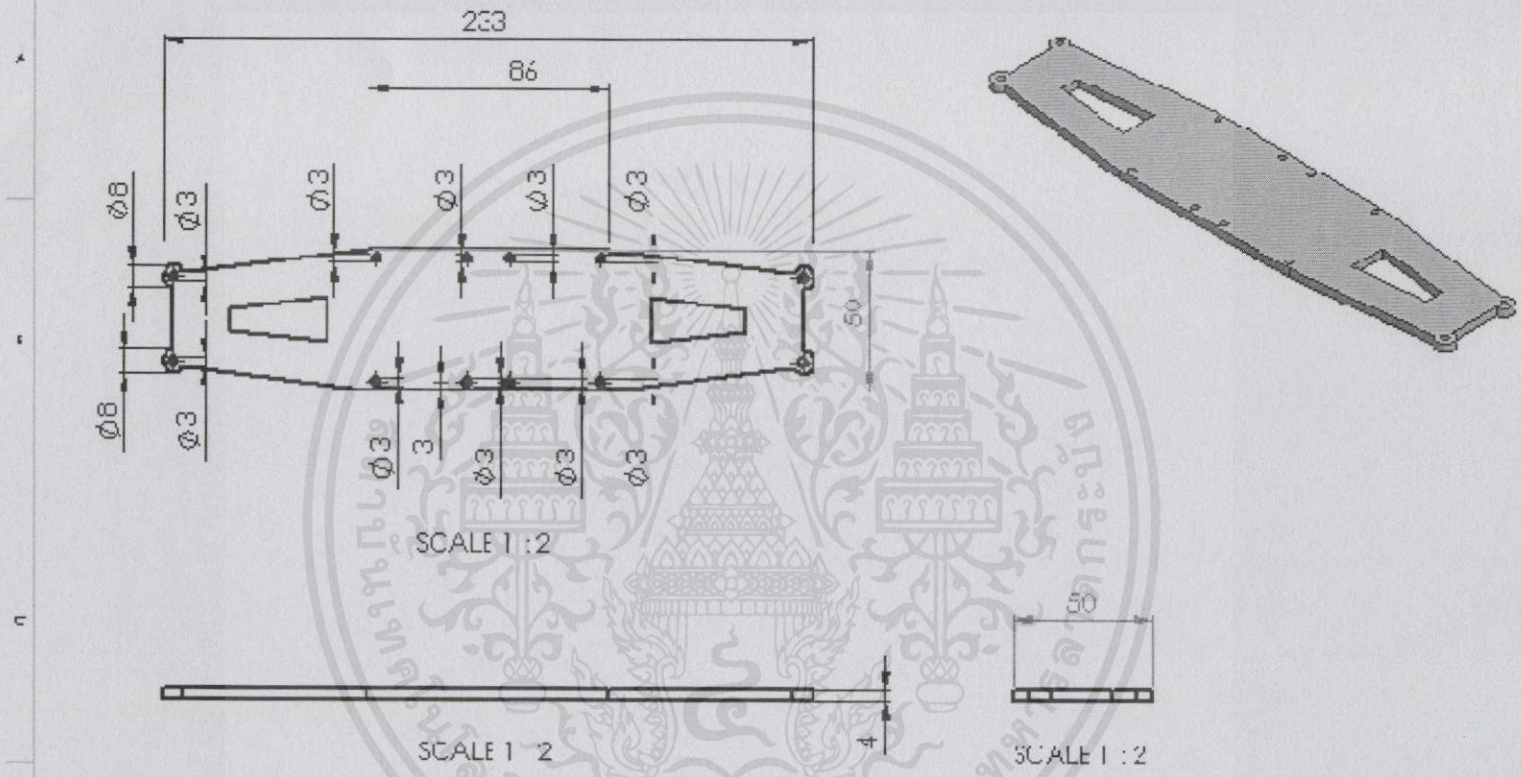
Drawing By	N.Pichayut & P.Piyadet & W.Pitawat	Scale	1:5
Project Name	mask_new1	Sheet No.	1
Drawing Date	18 เมษายน 2558	Sheet Total	1

KMITL
Control Engineering



Drawing By	N.Pichayut & P.Piyadet & W.Pilawat	Scale	1:5
Project Name	part15	Sheet No.	
Drawing Date	17 เมษายน 2558	Sheet Total	

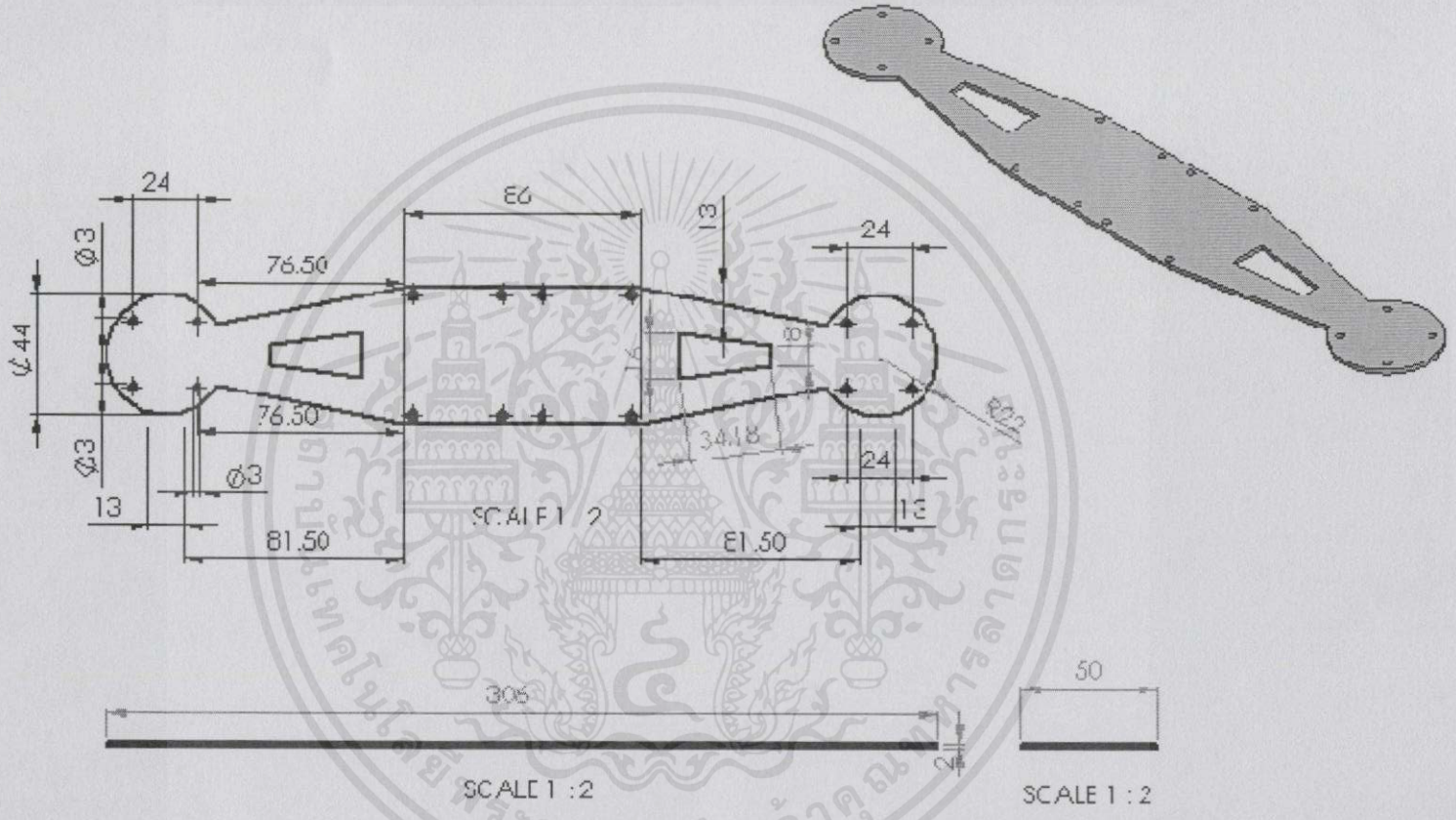
KMITL
Control Engineering



Drawing By	N.Pichayut & F.Piyadet & W.Pitawat	Scale	:5
Project Name	part1 6	Sheet No.	1
Drawing Date	7 พฤษภาคม 2558	Sheet Total	1

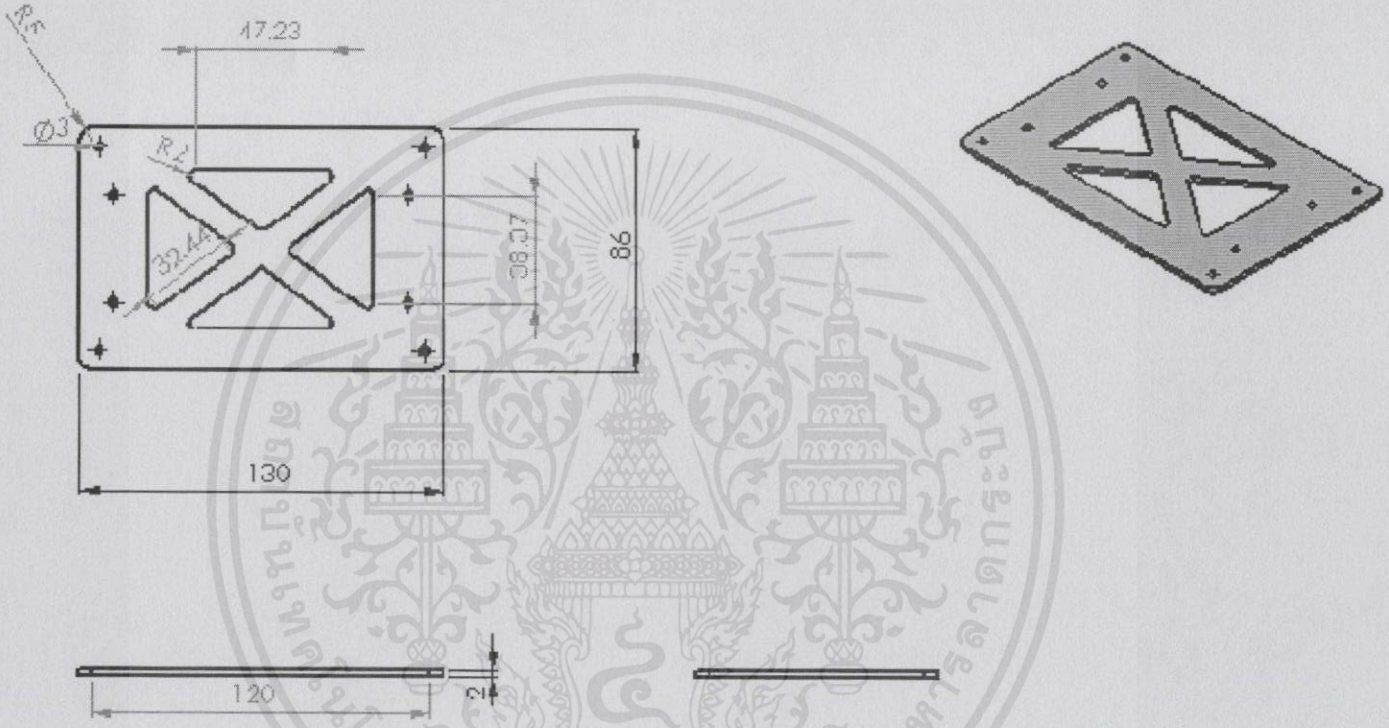
KMITL

Control Engineering



Drawing By	N Piewayut & P Piyadet & W Fitawat	Scale	1:5
Project Name	part25	Sheet No.	1
Drawing Date	17 เมษายน 2558	Sheet Total	1

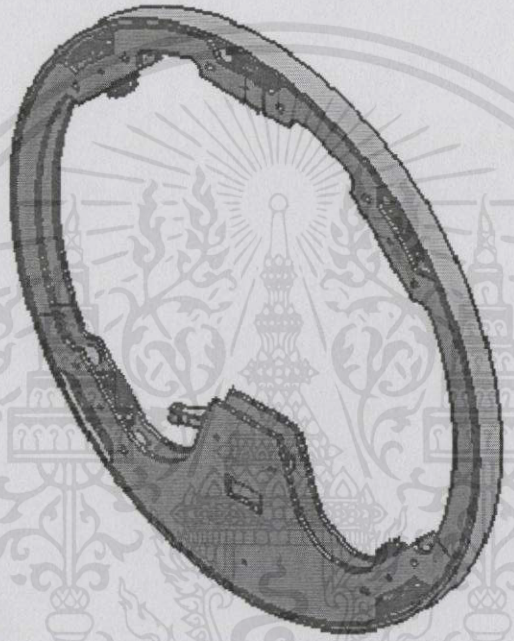
KMITL
Control Engineering



Drawing By	N.Pichcyut & P.Pyadet & W.Fitawa	Scale	1:2
Project Name	part23	Sheet No.	1
Drawing Date	20 เมษายน 2550	Sheet Total	1

KMITL

Control Engineering



SCALE 1 : 2

Drawing By	N.Pichayut & P.Piyadet & W.Pitawat	Scale	1:5
Project Name	Front_wheel	Sheet No.	1
Drawing Date	17 เมษายน 2558	Sheet Total	1

KMITL

Control Engineering

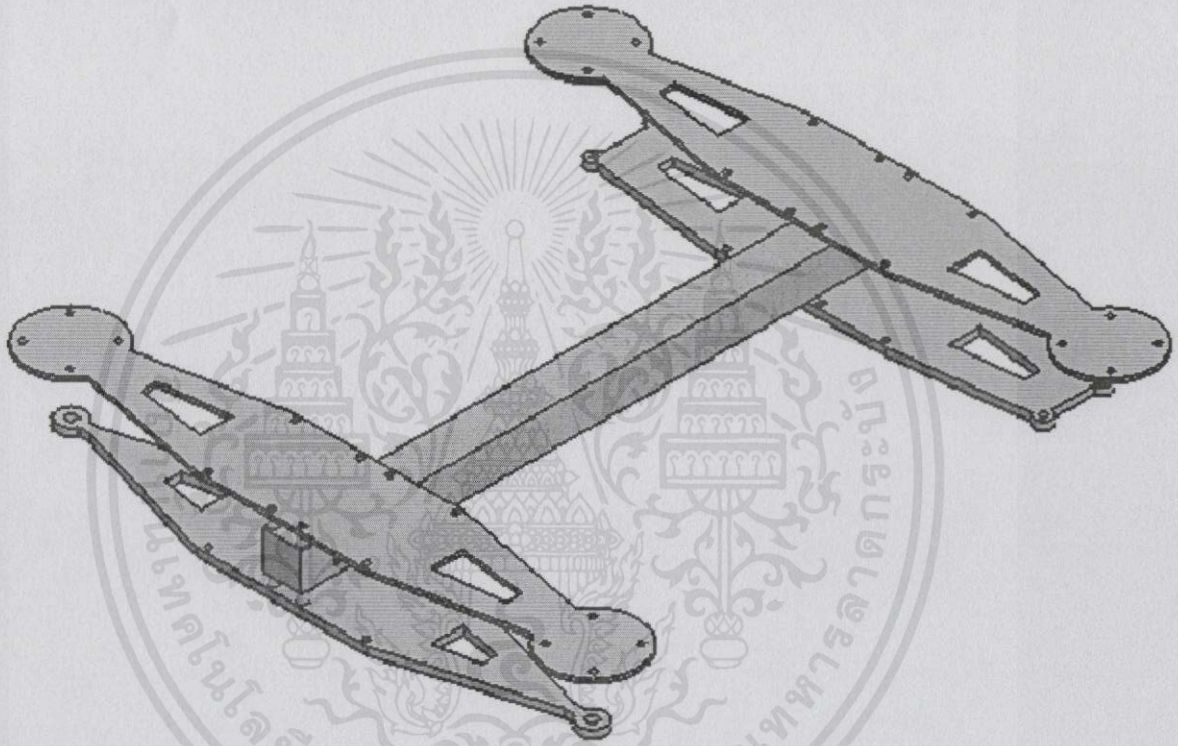
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

SCALE 1 : 2

Drawing By	N.Pichayut & F.Piyadet & W.Pitawat	Scale	1:5
Project Name	Rear_wheel	Sheet No.	1
Drawing Date	15 เมษายน 2553	Sheet Total	1

KMITL

Control Engineering

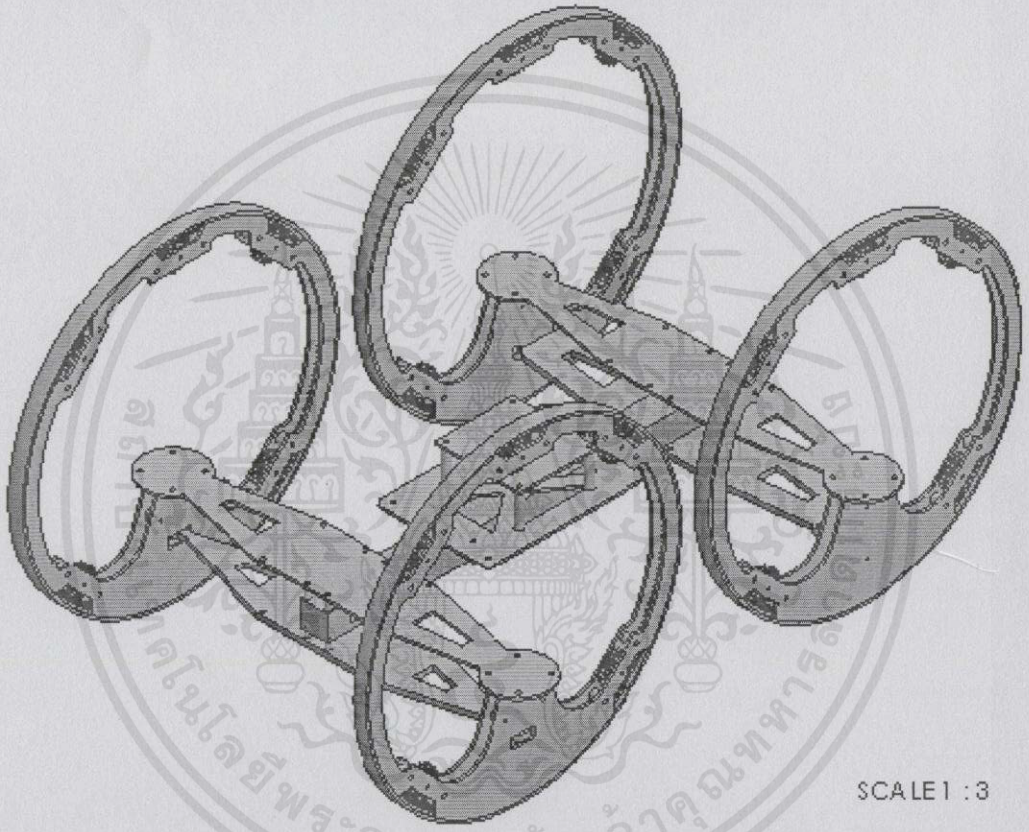


SCALE 1 : 2

Drawing By	N.Pichayut & P.Piyadet & W.Pitawat	Scale	1:5
Project Name	Middle	Sheet No.	1
Drawing Date	20 เมษายน 2558	Sheet Total	1

KMITL

Control Engineering



SCALE 1 : 3

Drawing By	N.Pichayut & P.Pyadet & W.Pitawat	Scale	1:10
Project Name	Complete_Car	Sheet No.	1
Drawing Date	20 เมษายน 2558	Sheet Total	1

KMITL

Control Engineering

ภาคผนวก ข

โปสเตอร์