รายงานการวิจัย

เรื่อง

อากาศยานอัตโนมัติสำหรับใช้ในการเกษตร

Automatic Arial Vehicle for Agricultural Applications

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชานิประศาสน์ และ คณะ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

กรกฎาคม 2561

รายงานการวิจัย

เรื่อง

อากาศยานอัตโนมัติสำหรับใช้ในการเกษตร

Automatic Arial Vehicle for Agricultural Applications

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชานิประศาสน์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สานักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสน

อาจารย์ ดร.ชโลธร ธรรมแท้

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

กรกฎาคม 2561

คำนำ

ปัจจุบันอากาสยานไร้คนขับ หรือ โดรน ได้ถูกนำมาใช้ในงานหลากหลาย เช่น การถ่ายภาพ การทำแผนที่ทางอากาศ การแพทย์ฉุกเฉิน และ การเกษตร มีการประยุกต์ใช้โดรนสำหรับการเกษตรแบบแม่นยำ ตัวอย่างเช่นให้โดรนในการถ่ายภาพแปลงเกษตรขนาดใหญ่เพื่อวิเคราะห์ความดุดมสมบูรณ์และโรงพืช จากนั่นจะนำภาพไปวิเคราะห์ต่อเพื่อหาพื้นที่ให้ปุ๋ย สูตรสารเคมีหรือฮอร์โมนสำหรับพืชในพื้นที่ย่อย เพื่อให้ผลิตผลิตเป็นไปตามต้องการ อีกการประยุกต์หนึ่งก็คือการนำโดรนบรรทุกสารเคมี เช่นปุ๋ย ยากำจัดศัตรูพืช หรือ ฮอร์โมนต่าง ฉีดพ่นทางอากาศ เพื่อทดแทนแรงงานคนซึ่งทำงานได้ช้าและมีราคาแพง รวมถึงอาจเกิดความเสียหายต่อแปลงพืช และสารพิษเข้าสู่คน ดังนั้นโดรนพ่นสารเคมีจึงเป็นที่นิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ มีโดรนพ่นสารขายในท้องตลาดแต่มีราคาสูงมากจึงเป็นเรื่องยากที่เกษตรกรทั่วไปจะจัดหามาใช้ได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและผลิตโดรนพ่นสารเพื่อใช้เอง และให้บริการแก่เกษตรกรในพื้นที่ใกล้เคียง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อเป็นต้นแบบในการผลิต การดำเนินการ และ การบริการ ด้านโดรนเพื่อการเกษตรต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

สำหรับการเกษตรกรรม การใช้โดรนพ่นสารสามารถทดแรงแรงงานมนุษย์ได้หลายเท่า อัตราการทำงานสูง ไม่ทำลายพืชผลขณะทำงาน งานวิจัยนี้มุ่งเน้นออกแบบ ผลิต และทดสอบ โดรนสำหรับพ่นสาร 2 ขนาดด้วยกันคือ ขนาดบรรทุก 5 ลิตร และ ขนาดบรรทุก 10 ลิตร เพื่อสร้างนวัตกรรมและเทคโนโลยีใช้ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี รวมถึงเผยแพร่ผลงานออกสู่เกษตรกร เมื่อเปรียบเทียบโดรนทั้งสองแบบ พบว่าโดรนขนาด 10 ลิตร ซึ่งมีความสามารถในการบรรทุกมากกว่า 2 เท่า แต่มีราคาสูงกว่า 3-4 เท่า และมีความสามารุในการทำงานต่อไร่สูงกว่าเพียง 1.2 เท่า ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว โดรนขนาดบรรทุก 5 ลิตร จึงเป็นโดรนที่มีความเหมาะสมมากกว่า นอกจากนี้โดรนขนาด 5 ลิตร ยังพกพา ขนส่ง ได้สะดวกกว่าอีกด้วย ผลการทดสอบหน่วยควบคุมโดรนพบว่า Pixhawk ซึ่งมีราคาถูก เหมาะกับโดรนที่ต้องการบังคับเอง สำหรับหน่วยควบคุม TopXgun T1A เหมาะกับโดรนที่ต้องการการบินอัตโนมัติ ผลจากการวิจัยได้นำผลงานเผยแพร่ให้กับกลุ่มเกษตรกรผู้สนใจในเทคโนโลยีใหม่สำหรับการเกษตร และให้บริการฉีดพ่นปุ๋ยให้กับเกษตรกร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

For agriculture application, drone sprayer can replace human sprayer with higher output yield. The drone sprayer gives high rate of spraying and do not destroys the plants. This research focusing on design, build and testing the drone sprayer. There are two type of drone, the 5 liters and 10 liters carrying weight. There are newly innovation and technology using in agriculture application at suranaree university of technology. The technology will be transfer to famer nearby the university. Compared two type of drone, the 10-liter drone able to carry weight 2 times of the 5-liter. However, the 10 liter drone more expansive than the 5-liter about 3-4 times, the spraying yield per hour more than the 5-liter drone about 1.2 times. The 5-liters drone is smaller than the 10-liter, so it more comfortable in transportation and for packaging. Therefore, the 5-liter drone is more suitable. Results of flight controller testing, we found that the Pixhawk which is the cheaper controller proper for manual flight control. The TopXgun T1A flight controller is more suitable for automatic flight control. The knowledge and technology from this research were transferred to famer who interested in new technology for agricultural. The drone already serviced to famer who need fertilizer sparing.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย พัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ เรื่องอากาศยานอัตโนมัติสำหรับใช้ในการเกษตร สามารถสาเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทั้งนี้ต้องขอบคุณ กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุนการทาสิ่งประดิษฐ์นี้

กนต์ธร ชานิประศาสน์

กรกฎาคม 2561

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

คำนำ ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญรูป ..... ช
สารตาราง ..... ฌ

1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 2
1.3 คำสำคัญของเรื่องที่ทำการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ 2
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย 2
1.6 ขอบเขตของโครงการ 3
1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย 3
1.8 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ 3
1.9 อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับโครงการ 3
1.10 งบประมาณการของโครงการ 4
2 ปริทรรศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ระบบอากาศยานอัตโนมัติ 5
2.2 หลักการทำงานของ อากาศยานปีกหมุน 4 ใบพัด 6
2.3 หน่วยควบคุมอากาศยานไร้นักบินอัตโนมัติ แบบ Open Source 9
2.4 หน่วยควบคุมอากาศยานไร้นักบินอัตโนมัติ แบบ Commercial 12
2.5 การประยุกต์ใช้โดรนในด้านต่างๆ 14
2.6 ใบพัดคู่ร่วมแกน 17

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 การออกแบบโดรน 20
3.1 โดรน 4 แขน 8 ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร 22
3.2 โดรน 6 แขน 6 ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร 23
3.3 โดรน 8 แขน 8 ใบพัด ขนาดบรรทุก 10 ลิตร 24
4 โดรนต้นแบบและผลการทดสอบ 26
4.1 โดรน 4 แขน 8 ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร 26
4.2 โดรน 6 แขน 6 ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร 27
4.3 โดรน 8 แขน 8 ใบพัด ขนาดบรรทุก 10 ลิตร 29
4.4 การทดสอบระบบควบคุม 32
4.5 การทดสอบโปรแกรมควบคุมภาคพื้น (Ground station) 33
4.6 ข้อสังเกตุจากการทดสอบโดรนพ่นยา 35
5 สรุปและข้อเสนอแนะ 39
รายการอ้างอิง 40

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โดรนสำหรับการฉีดพ่นสาร 5
2.2 ระบบควบคุมอากาศยานอัตโนมัติ 6
2.3 แสดงสัญลักษณ์ทิศทางการหมุนของใบพัด 7
2.4 การ Hovering 7
2.5 การ Roll 8
2.6 การ Pitch 8
2.7 การ Yaw 9
2.8 บอร์ดควบคุม Pixhawk 10
2.9 บอร์ดควบคุม APM2.6 10
2.10 หน้าต่างควบคุมโปรแกรม Qgroundcontrol 12
2.11 การเชื่อมต่อชุดควบคุม TopXgun T1A 13
2.12 โปรแกรมวางแผนการบินทำงานบนโทรศัพท์ Smart Phone 13
2.13 โดรนพ่นสารรุ่น Agras MG-1 ของบริษัท DJI 14
2.14 โดรนเพื่อการเกษตรของบริษัท ใส่ใจ อะกริคัลเจอร์ จำกัด 15
2.15 โดรนแบกน้ำหนักของบริษัท ProDrone 16
2.16 โดรนแบกน้ำหนักของบริษัท DHL 16
2.17 โดรนแบกน้ำหนักสำหรับส่งพัสดุของหน่วยงานไปรษณีย์ฝรั่งเศส 17
2.18 อากาศยานหลายใบพัดระบบขับดันแบบใบพัดร่วมแกน 19
2.19 จำลองการไหลผ่านใบพัดระบบขับดันแบบใบพัดร่วมแกน 19
3.1 มอเตอร์และผลการทดสอบสมรรถนะ 21
3.2 เฟรม Tarot X4 22
3.3 ผลการคำนวณ โดรน 4แขน 8ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร 23
3.4 เฟรม Tarot X6 24
3.5 ผลการคำนวณ โดรน 6 แขน 6ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร 24
3.6 เฟรมส่วนกลางสำหรับโดรน 8แขน 1550 mm 25
3.7 ผลการคำนวณโดรน 8แขน ขนาดบรรทุก 10 ลิตร 26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.1 การบินทดสอบโดรน 4 แขน 8 ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร 27
4.2 การบินทดสอบโดรน 6 แขน 6 ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร 28
4.3 การสาธิตโดนรพ่นสารขนาดบรรทุก 5 ลิตร ให้กับกลุ่มเกษตรกร 29
4.4 โดรนซึ่งออกแบบให้พับเก็บได้ สามารถขนส่งโดยใส่ท้ายรถ City Car 30
4.5 การบินทดสอบโดรน 8 แขน 8 ใบพัด ขนาดบรรทุก 10 ลิตร 31
4.6 โดรนขนาดบรรทุก 10 ลิตร สามารถพับเก็บได้ 32
4.7 การสาธิตโดรนพ่นสาร ขนาดบรรทุก 10 ลิตร และ 5 ลิตร ให้กับกลุ่มเกษตรกร 32
4.8 การเผยแพร่ผลงาน ณ ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม 33
4.9 Radar Altimeter 34
4.10 การวางแผนการบินผ่านคำสั่ง Survey Grid ของโปรแกรม Mission Planner 35
4.11 การวางแผนการบินผ่านโปรแกรม GCS รูปบนใช้งานผ่าน Laptop 36
4.12 การวางแผนการบินผ่านโปรแกรม GCS รูปบนใช้งานผ่านโทรศัพท์ smart phone 36
4.13 การวางแผนการบินผ่าน Agri Mgmt 37
4.14 Emlid RTK-GPS 38

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างบอร์ด 11
3.1 น้ำหนักอุปกรณ์ 20

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การเกษตรแบบแม่นยำ (Precision agriculture) เป็นที่นิยมมากในประเทศที่พัฒนา เป็นการนำเอากระบวนการที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเข้ามาช่วยเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนให้กับการเกตร เทคโนโลยีหนึ่งที่กำลังเป็นที่สนใจต่อเกษตรกรคือ โดรนเพื่อการเกษตร (agricultural drones) เนื่องจากราคาของโดรนที่ลดลง บินได้ง่ายขึ้นเนื่องจากมีระบบบินอัตโนมัติเข้าช่วยโดรน หรือ อากาศยานไร้คนขับ จึงถูกนำมาช่วยในการสำรวจข้อมูลสภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูก ทั้ง อุณหภูมิ ลม ความชื้น สารเคมี แมลง สภาพผลผลิต ข้อมูลต่างๆจะได้นำมาประเมินเพื่อปรับปรุงคุณภาพการเพาะปลูก ซึ่งการใช้โดรนบินไปเก็บข้อมูลในอากาศ จะช่วยประยัดงบประมาณในการติดตั้งเครื่องตรวจจับ ลดค่าใช้จ่ายในการใช้แรงงานมนุษย์ สามารถเข้าถึงพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยาก การประยุกต์ใช้โดรนเพื่อการเกษตรที่สำคัญคือ การส่งโดรนเพื่อใช้ในการให้ปุ๋ย และ สารเคมี เนื่องจากการใช้โดรนจะใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีที่น้อยกว่าการเดินลากสายพ่นยา และประหยัดเวลาในการพ่นมีการประเมินออกมาแล้วว่า โดรน สามารถใช้เวลาเพียง 1 นาที ในการพ่นสารเคมี 1 ไร่ โดยใช้สารเคมี 1ลิตร ตัวโดรนที่แบกสารเคมี 10ลิตร จึงสามารถให้สารเคมีทางอากาศได้ 10ไร่ ใน10นาที ต่อการบิน 1ครั้ง ซึ่งความสามารถนี้เหนือกว่าการพ่นสารเคมีโดยใช้มนุษย์เป็นอย่างมาก

ปัจจุบันมีการใช้โดรนอย่างแพร่หลายในการถ่ายภาพทางอากาศ โดยส่วนใหญ่จะมีขนาดประมาณ 500 มิลลิเมตร น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ทำการบินได้ประมาณ 20-30 นาทีขึ้นอยู่กับน้ำหนักของการบรรทุก ซึ่งโดรนเหล่านี้มีขายทั่วไป ในการประยุกต์ใช้โดรนเพื่อใช้ในการพ่นสารเคมีนั้นค่อนข้างแตกต่าง อุปสรรคสำคัญในการใช้โดรนสำหรับการให้สารเคมีทางอากาศแก่พืช คือ การแบกน้ำหนักของสารเคมีที่มีน้ำหนักสูง จึงทำให้โดรนต้องมีขนาดใหญ่และมีต้นทุนการสร้างที่สูง คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการออกแบบ โดรนขนาดบรรทุกสารเคมี 5-10 ลิตร ที่มีต้นทุนต่ำและเหมาะสมกับการเกษตรในประเทศไทย โดยออกแบบโครงสร้าง ใบพัด ระบบบรรทุก ระบบพ่นสารเคมี ระบบแผนการบินอัตโนมัติที่เหมาะสม

งานวิจัยนี้มีแนวความคิดในการสร้างอากาศยานไร้นักบิน หรือ โดรน ต้นแบบ สำหรับใช้ในการพ่นสารเคมีทางการเกษตร โดยจะเริ่มทดลองใช้ในฟาร์มมหาวิทยาลัย ทำการวิจัยถึงขนาดของโดรนที่เหมาะสม ลักษณะการพ่นสารเคมีที่เหมาะสมทั้งจำนวนหัวฉีด ความสูงในการฉีดพ่น อัตราการฉีดพ่น พื้นที่ครอบคลุมของการฉีดพ่น ให้เหมาะสมต่อการเดินทางโดยอัตโนมัติของโดรน ซึ่งจะทำให้การพ่นสารเคมีโดยใช้โดรนมีประสิทธิภาพสูงสุด

สำหรับระบบควบคุมที่นักวิจัยคาดว่าจะใช้นั้น เป็นการใช้ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ โดยบังคับการบินไปตามพื้นที่ที่ต้องการด้วยพิกัด GPS ควบคุมความเร็วการบินให้คงที่เพื่อให้การพ่นสารเคมีเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ควบคุมความสูงการบินให้อยู่เหนือพืชคงที่ด้วยเซนเซอร์ Sonar และ/หรือ Lidar เพื่อให้การกระจายของสารเคมีทั่วถึงและเหมาะสมติดตั้งระบบเปิด-ปิดการพ่นสารเคมีอัตโนมัติเพื่อประหยัดสารเคมีในกรณีที่การบินของโดรนไม่อยู่ในพื้นที่ฉีดพ่น

ผู้วิจัยคาดหวังว่าหากงานวิจัยนี้เสร็จสิ้นจะสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและลดต้นทุนในการฉีดพ่นปุ๋ยหรือสารเคมีอื่นๆ เพื่อให้การเกษตรไทยมีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) จัดสร้างอากาศยานแบบหลายพัดควบคุมอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการฉีดพ่นสารเคมีทางการเกษตร เพื่อเป็นนวัตกรรมใหม่ที่ใช้ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2) สร้างนวัตกรรมสำหรับการเกษตรสมัยใหม่

1.3 คำสำคัญของเรื่องที่ทำการวิจัย (Keywords)

อากาศยานหลายใบพัดไร้คนขับ(Multi Rotor UAV)
อากาศยานอัตโนมัติ (Autonomous Aerial Vehicle)
โดรนเพื่อการเกษตร (Agricultural drones)
การเกษตรแบบแม่นยำ (Precision agriculture)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1) ได้เครื่องพ่นปุ๋ยทางอากาศอัตโนมัติสำหรับใช้ในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการเกษตรของไทยต่อไปในอนาคต
2) สามารถพัฒนาสู่การค้าในการบริการด้านการพ่นสารเคมีทางอากาศ

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1) ศึกษาค้นคว้าองค์ความรู้ ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง และทำการออกแบบอากาศยานต้นแบบ
2) วิเคราะห์และออกแบบอากาศยาน ให้สามารถเคลื่อนที่ภายใต้สภาวะที่กำหนดได้
3) ออกแบบระบบฉีดพ่นสารเคมี
4) จัดหาวัสดุและอุปกรณ์ในการจัดสร้าง
5) สร้างอากาศยานต้นแบบ

6) ทดสอบอากาศยานต้นแบบและทำการปรับปรุงแก้ไข
7) ทดสอบการฉีดพ่นสารเคมี
8) เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

1.6 ขอบเขตของโครงการ

โครงการโดรนเพื่อการเกษตร ใช้สำหรับพ่นสารเคมีทางอากาศ มีขอบเขตวิจัยดังนี้

1) อากาศยานต้นแบบสามารถบรรทุกสารเคมีได้ไม่น้อยกว่า 5 ลิตร แต่ไม่เกิน 10 ลิตร
2) ในการบินต่อครั้งสามารถพ่นสารเคมีได้ครอบคลุมสูงสุด 5 ไร่
3) สามารถทำการบินได้ทั้งแบบการบินเป็นโดยอัตโนมัติและบังคับเอง
4) มีระบบรักษาความสูงและตำแหน่งการบินเพื่อให้การฉีดพ่นเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ
5) สามารถบินไกลได้ 500 เมตร

1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

ระยะเวลาการดำเนินการทั้งสิ้น 12 เดือน

1.8 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

กิจกรรม/ขั้นตอนการดำเนินการ	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง												
2. จัดหาวัสดุและอุปกรณ์ในการจัดสร้าง												
3. สร้างอากาศยานต้นแบบ												
4. ทดสอบอากาศยานต้นแบบ												
5. ทดสอบการฉีดพ่นสารเคมี												
6. เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์												

1.9 อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับโครงการ

1. ชุด Ground Station สำหรับควบคุมการทำงานภาคพื้น
2. มอเตอร์อากาศยาน พร้อมชุดควมคุมความเร็วมอเตอร์และใบพัด
3. ไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 bit พร้อม Sensor

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4. กล้องติดอากาศยาน พร้อมอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สาย
5. เซนเซอร์ Sonar และ Lidar
6. ชุดรีโมท รับ-ส่ง ในการควบคุมอากาศยานโดยใช้มนุษย์
7. ชุดอุปกรณ์ส่งสัญญาณ Data Link
8. วัสดุ อุปกรณ์ ทำโครงสร้างอากาศยานและอุปกรณ์ประกอบ
9. อุปกรณ์อื่นๆ เช่นสายไฟ แบตเตอรี่ ฯลฯ

1.10 งบประมาณการของโครงการ

งบประมาณการที่เสนอมีรายการดังนี้

รายการ	งบประมาณ (บาท)
ชุดโครงสร้างอากาศยาน	110,000
มอเตอร์ 170 kV 8 ตัว (9000 บาท/ตัว)	72,000
ใบพัด 29 นิ้ว 8 คู่ (12000บาท/คู่)	96,000
ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ 8ตัว (4000 บาท/ตัว)	32,000
ชุดฉีดพ่นสารเคมี	20,000
แบตเตอรรี่ LiPo 10,000 mAh 24V 2ก้อน (10000 บาท/ก้อน) 20,000 mAh 24V 2 ก้อน (20000 บาท/ก้อน)	60,000
ชุด Flight Control พร้อม Sensor, GPS, Data link	30,000
ชุดรับส่งสัญญานภาพ	5,000
ชุด Ground Control Station	20,000
Sensor สำหรับความแม่นยำ	20,000
วัสดุในการจัดทำเอกสารและอื่นๆ	20,000
รวม	**485,000**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทรรศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบอากาศยานอัตโนมัติ

โดรนสำหรับการเกษตรเพื่อใช้ในการฉีดพ่นสารเคมีทางอากาศ เป็นอากาศยานไร้คนขับ หรือ UAV ที่ทำการติดตั้งระบบฉีดพ่นสารเคมี โดยอาจเป็นอากาศยานชนิดหลายใบพัด หรือ เฮลิคอปเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 โดรนสำหรับการฉีดพ่นสาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในระบบ UAV ใช้อุปกรณ์ในการควบคุมและแสดงผลดังแสดงในรูปที่ 2 ชุด Flight Control ติดตั้งอยู่บน UAV ทำการควบคุมการบินของ UAV โดยติดตั้ง GPS เพื่อสามารถระบุตำแหน่งตนเองที่กำลังบิน และใช้ในการเคลื่อนที่อัตโนมัติ ไปยังพิกัดที่ต้องการ ระบบสื่อสารมี2ทาง คือผ่านชุดวิทยุควบคุมไร้สายเพื่อทำการควบคุมแบบ manual และระบบ data link ซึ่งเป็นชุดควบคุมแบบอัตโนมัติผ่านคอมพิวเตอร์ ตัว UAV ชนิดหลายใบพัดประกอบไปด้วย มอเตอร์ ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เสริมอื่นๆ

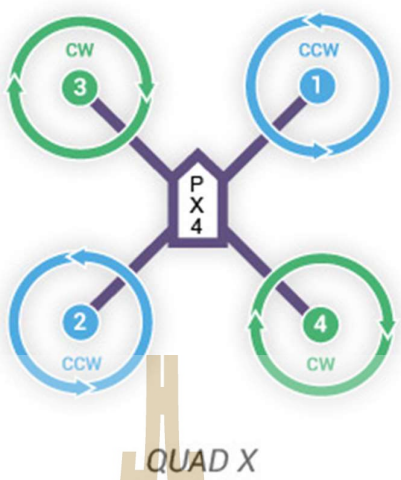
รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมอากาศยานอัตโนมัติ

2.2 หลักการทำงานของ อากาศยานปีกหมุน 4 ใบพัด

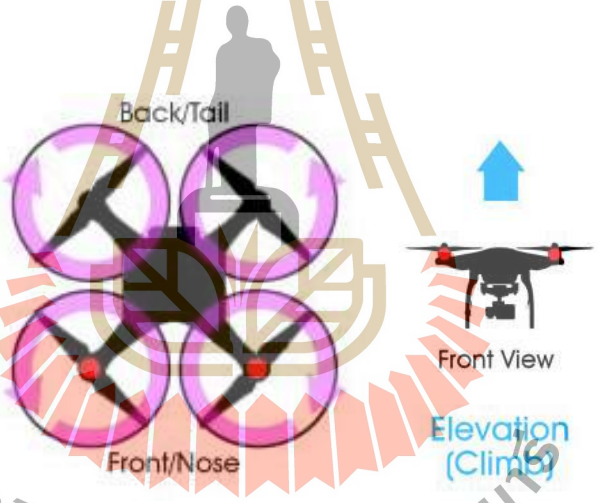
อากาศยานปีกหมุน 4 ใบพัด (Quad-rotor) ในมุม Top view ดังแสดงในรูปที่ 2.3 สัญลักษณ์มอเตอร์ 1-2-3-4 ใบพัดคู่หน้า 1 และ 3 ใบพัดคู่หลัง 2 และ 4 จะมีการหมุนทั้งทิศตามเข็มนาฬิกา (CW) คือมอเตอร์หมายเลข 3 และ 4 มีการหมุนทวนเข็มนาฬิกา (CCW) คือมอเตอร์หมายเลข 1 และ 2 การเคลื่อนที่ของ Quad-rotor สามารถทำได้โดยอิสระในอากาศ เช่นเดียวกับเฮลิคอปเตอร์สามารถอธิบายปลีกย่อยได้ดังต่อไปนี้

Hovering หรือ การลอยตัวนิ่ง ทำได้โดยควบคุมให้ความเร็ว ใบพัดทั้งสี่ตัวมีความเร็วที่เท่ากัน เพื่อสร้างแรงยกที่เท่ากันในแนวดิ่ง โดยแรงบิด (Torque) ของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะหักล้างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 หากทำการเพิ่มความเร็วมอเตอร์ใบพัดจะหมุนเร็วขึ้น ตัว Quad-rotor จะเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่ง หากต้องการให้เคลื่อนที่ลงสามารถทำได้โดยลดความเร็วของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวลงพร้อมกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



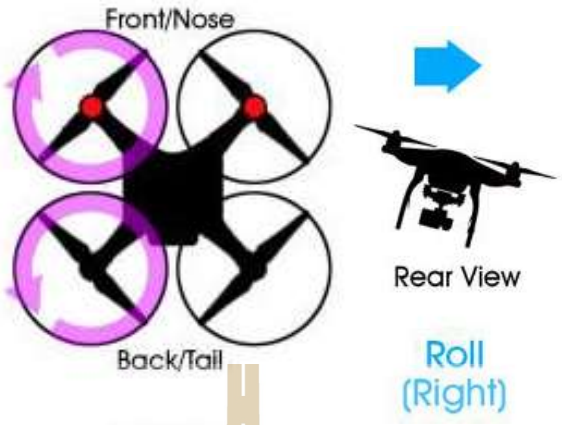
รูปที่ 2.3 แสดงสัญลักษณ์ทิศทางการหมุนของใบพัด



รูปที่ 2.4 การ Hovering

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Roll แสดงในรูปที่ 2.5 เพื่อให้ Quad-rotor เคลื่อนที่ในทิศ ซ้าย-ขวา หากต้องการเคลื่อนที่ไปทางขวา ความเร็วใบพัดคู่ซ้าย (3-2) จะหมุนเร็วขึ้นด้วยความเร็วเท่ากัน จึงทำให้ Quad-rotor เกิดการเอียงตัวไปทางขวาได้ แต่จะไม่เกิดการ yaw เพราะแรงบิดเกิดการหักล้างกันหมด ส่วนเอียงตัวซ้ายก็ใช้วิธีคล้ายกันโดยให้ใบพัดคู่ขวาหมุนเร็วกว่าใบพัดคู่ซ้าย

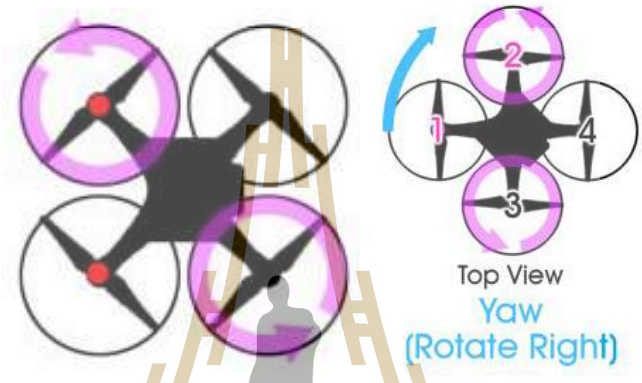


รูปที่ 2.5 การ Roll

Pitch แสดงอยู่ในรูปที่ 2.6 เพื่อให้ Quad-rotor เคลื่อนที่ในทิศ หน้า-หลัง หากต้องการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ใบพัดคู่หลัง (2-4) จะหมุนเร็วขึ้นด้วยความเร็วเท่ากัน ทำให้ Quad-rotor เกิดมุมก้ม (pitch down) จึงทำให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปข้างหน้า สำหรับการถอยหลังจะทำตรงกันข้ามเพื่อให้เดิดมุมเงย (pitch up)

รูปที่ 2.6 การ Pitch

Yaw แสดงในรูปที่ 2.7 คือการหมุนตัวรอบแกนตั้ง ทำได้ด้วยการให้ความเร็วใบพัดคู่ที่หมุนตามเข็มนาฬิกา (แนวแทยงมุม หรือ 3-4) หมุนเร็วกว่าใบพัดคู่ที่หมุนทวนเข็มนาฬิกา (1-2) ตามหลักของสมดุลย์แรงบิดแล้ว จะทำให้ Quad-rotor เกิดการ yaw ไปทางขวา (โดรนหมุน CW เพื่อสมดุลกับใบพัดที่หมุน CCW)



รูปที่ 2.7 การ Yaw

2.3 หน่วยควบคุมอากาศยานไร้นักบินอัตโนมัติ แบบ Open Source

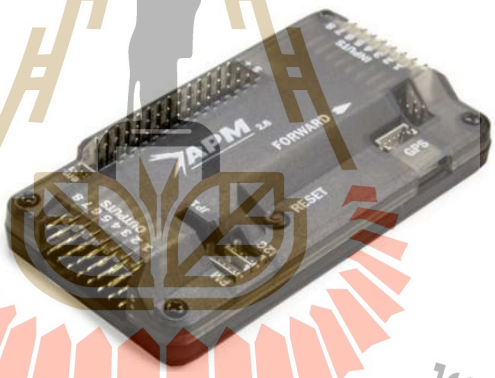
เนื่องด้วยงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด การศึกษาเทคโนโลยีต้นทุนต่ำเพื่อสร้างและควบคุมอากาศยานไร้นักบินจึงเป็นสิ่งสำคัญ อีกทั้งเพื่อความสะดวกในการจัดหาและเรียนรู้ ชุดควบคุมการบินประกอบไปด้วยบอร์ดควบคุมและโปรแกรมควบคุม โดยบอร์ดควบคุมที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายคือ Pixhawk และ APM2.6 อธิบายรายละเอียดดังนี้

Pixhawk ถูกพัฒนาขึ้นโดย Lorenz Meier จากมหาวิทยาลัย ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich) ในปี 2009 แสดงในรูป 2.8 โดยเป็นบอร์ดที่ประกอบ Flight management unit และ Inout/Output โดยมีสิ่งอำนวยความสะดวกทางการบินครบครัน อาทิ เซนเซอร์ตรวจวัดท่าทางการบิน เซนเซอร์ตรวจวัดความสูง ระบบติดต่อสื่อสารระหว่างอากาศยานและภาคพื้น อีกทั้งสามารถติดตั้ง GPS สำหรับระบุตำแหน่ง ติดตั้ง Optical flow สำหรับเพิ่มความแม่นยำในการรักษาตำแหน่งเมื่อทำการบินในอาคาร

APM หรือ ArduPilot Mega รุ่นล่าสุดคือ APM2.6 แสดงในรูป 2.9 เป็นบอร์ดที่ทำงานในลักษณะเช่นเดียวกับ Pixhawk แต่ใช้ Microcontroller เป็น ATMega2560 ซึ่งสามารถใช้ควบคุมอากาศยานไร้นักบิน ความแตกต่างที่เด่นชัดคือ มีช่องสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกที่ไม่

หลากหลายเท่ากับ Pixhawk ไม่มีหน่วยความจำภายนอกจึงมีขีดจำกัดในการบันทึกข้อมูลขณะบิน อีกทั้งหน่วยประมวลผลมีความเร็วที่ต่ำกว่า ทำให้ปัจจุบันมีความนิยมลดลง

รูปที่ 2.8 บอร์ดควบคุม Pixhawk (Pixhawk, 2016)



รูปที่ 2.9 บอร์ดควบคุม APM2.6 (Ardupilot, 2016)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โปรแกรมควบคุมหรือ Firmware ถูกพัฒนาขึ้นและเผยแพร่ให้บุคคลทั่วไปได้ใช้งานเรียกว่า Open source ซึ่งมีการสงวนลิขสิทธิ์ให้บุคคลใดๆสามารถทำซ้ำ เผยแพร่หรือดัดแปลงซอฟต์แวร์นั้นได้อย่างถูกต้องตามกฎหมายและโดยเสรีซึ่งถูกเรียกว่า General Public License (GPL, 2007) โปรแกรมควบคุมที่สามารถใช้กับอากาศยานแบบปีกตรึงและปีกหมุนหลักๆปรากฏอยู่ 2 ค่าย คือ PX4 และ APM โดย PX4 ถูกพัฒนาขึ้นโดยกลุ่มคนผู้มีความรู้และสนใจใน อากาศยานไร้นักบิน โดย APM ประกอบไปด้วยเฟริมแวร์หลากหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ได้คือ ArduPilot เวอร์ชั่น 3.5.0 ขึ้นไป จากการสืบค้นพบว่ามีผู้ใช้งาน ArduPilot มากกว่า PX4 ส่งผลให้มีเอกสารสำหรับศึกษาและทำความเข้าใจที่มากกว่า แม้ PX4 จะมีเอกสารด้านการใช้งานออกมาน้อย

กว่า แต่จุดเด่นของ PX4 คือ มีผู้พัฒนาแอพพลิเคชั่น/โมดูลขึ้นมาใช้งานร่วมกับ Sensor อื่นๆและประยุกต์ใช้งานที่มากกว่า

ปัจจุบันเฟริมแวร์ ArduPilot เวอร์ชั่น 3.5.0 ขึ้นไป ไม่สามารถทำงานบนบอร์ด APM2.6 ได้อีกต่อไป เนื่องจากไม่มีหน่วยความจำและความเร็วในการประมวลผลที่เพียงพอ ทำให้ต้องเปลี่ยนมาใช้บอร์ด Pixhawk ซึ่งมีหน่วยความจำและความเร็วที่มากกว่าแทน โดยสามารถแสดงตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติได้ดังนี้

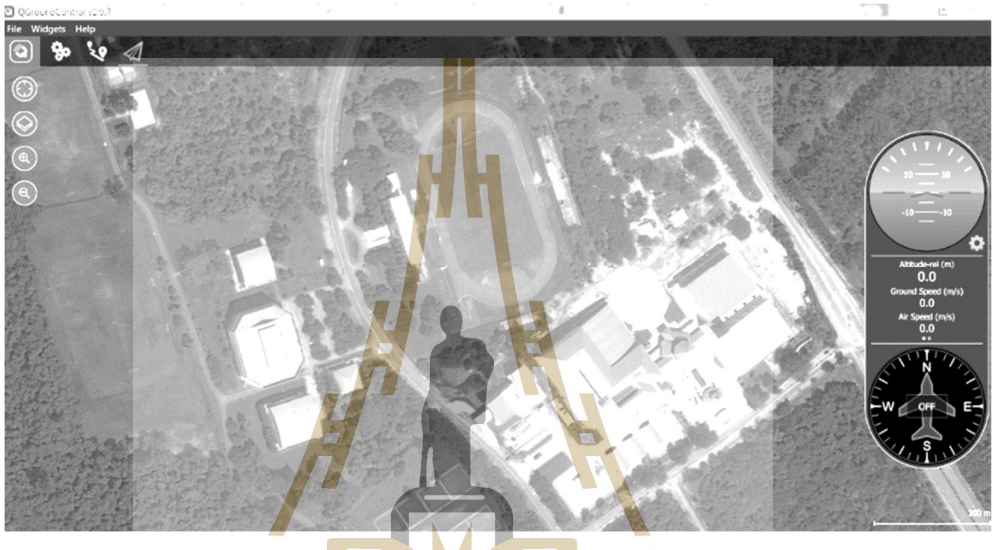
สำหรับ Pixhawk จะมี Sensor อีก 1 ชุดคือ ST Micro L3GD20H 16-bit gyroscope และ ST Micro LSM303D 14-bit accelerometer / magnetometer

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างบอร์ด (PX4 Autopilot, 2016 และ ATmega2560, 2016)

Properties/Products	Pixhawk	APM 2.6
Microprocessor	32 bit STM32F427 Cortex M4F 168 MHz	8 bit ATmega2560 16 MHz
failsafe co-processor	32 bit STM32F103	-
Flash memory	2 MB	256 KB
RAM/SRAM	256 KB	8KB
Accelerometer/Gyroscope	MPU-6000	MPU-6050
3D Magnetometer	LSM303D	HMC5883L
Barometric pressure	MS5611	MS5611

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

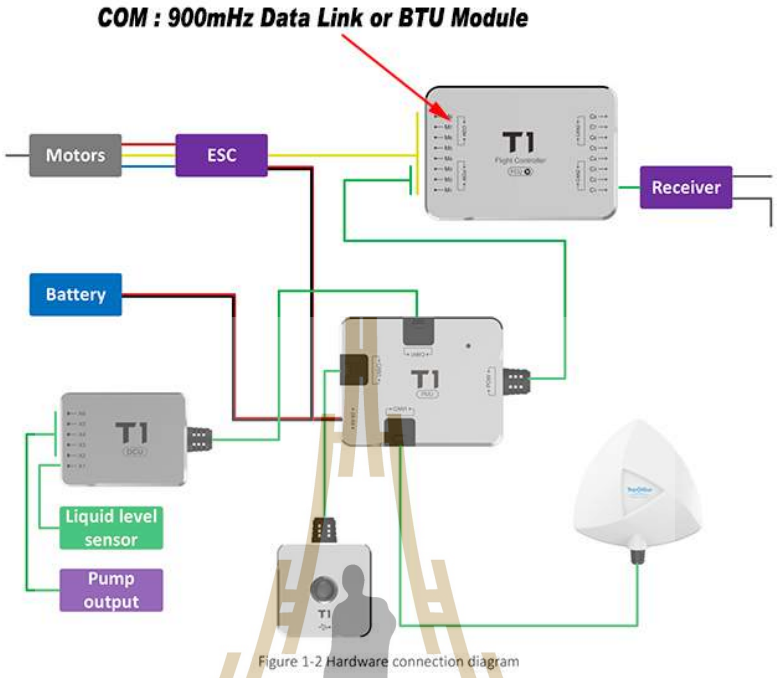
นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมที่ใช้ติดต่อกับบอร์ดควบคุมที่ติดตั้งกับคอมพิวเตอร์ซึ่งต้องเหมาะสมกับ Firmware โดย Qgroundcontrol (2016) เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกับการติดต่อกับ PX4 ซึ่งหากเลือกโปรแกรมติดต่อไม่เหมาะสมจะทำให้ระบบทำงานไม่สมบูรณ์ หากต้องการใช้งานกับเฟริมแวร์ ArduPilot ต้องใช้ Mission Planner สิ่งที่จำเป็นคือต้องอัพเดทโปรแกรมให้ทันสมัยอยู่เสมอเมื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านค่าพารามิเตอร์



รูปที่ 2.10 แสดงหน้าต่างควบคุมโปรแกรม Qgroundcontrol (Qgroundcontrol, 2016)

2.4 หน่วยควบคุมอากาศยานไร้นักบินอัตโนมัติ แบบ Commercial

TopXGun T1A Flight Controller เป็นชุดควบคุมอากาศยานหลายใบพัดผลิตโดยบริษัท Shanghai TopXGun Robotics Co.,Ltd. สำหรับรุ่น T1A ดังแสดงในรูปที่ 2.11 เป็นชุดควบคุมที่ออกแบบมาสำหรับโดรนพ่นสารโดยเฉพาะ โดยสามารถเชื่อมต่อกับตัววัดระดับสารเคมี ชุด Radar กันชนพื้นและติดตามพื้นเอียง สามารถเชื่อมต่อกับ Tablet และ โทรศัพท์ smart phone เพื่อใช้ควบคุมโดรนที่หน้างานได้ ดังแสดงในรูป 2.12 ตัวโปรแกรมควบคุมมีฟังก์ชั่นจดจำจุดที่สารเคมีหมดถัง เมื่อนำโดรนกลับมาเติมสารแล้วสามารถบินต่อจากจุดดิมได้ อย่างไรก็ตามราคาของชุดควมคุม TopXGun T1A นี้จะค่อนข้างสูงกว่า Pixhawk มาก คำสั่งที่ใช้ในการวางแผนการบินค่อนข้างใช้งานได้สะดวก สามารถเลือกพื้นที่ในการฉีดพ่นบนแผนที่โดยสามารถระบุสิ่งกีดขวางเพื่อให้โดรนบินหลบสิ่งกีดขวางได้ การใช้งานค่อนข้างสะดวกรวดเร็ว



รูปที่ 2.11 การเชื่อมต่อชุดควบคุม TopXgun T1A

รูปที่ 2.12 โปรแกรมวางแผนการบินทำงานบนโทรศัพท์ Smart Phone

2.5 การประยุกต์ใช้โดรนในด้านต่างๆ

บริษัท DJI ผลิตโดรนรุ่น Agras MG-1 ในรูปที่ 2.13 เป็นโดรนสำหรับใช้ในการเกษตรป้องกันการกัดกร่อน แบกน้ำหนักได้ถึง 10 กิโลกรัม บินได้ด้วยความเร็วสูงสุด 8 เมตรต่อวินาที หรือช้ากว่านั้นแล้วแต่ผู้ใช้จะตั้ง ขนาด 8 ใบพัด มีเฟรมที่สามารถป้องกันน้ำหรือสารเคมีกระเด็นเข้าในตัวเครื่องได้ โดยออกแบบให้มีช่องระบายอากาศอยู่ด้านใต้ และไหลหมุนเวียนผ่านทางท่อออกไปยังสปีด และออกตามรูด้านข้าง ราคาของ MG-1 ตัวนี้อยู่ที่ 4 แสนบาทขึ้นไป ยกน้ำยาเคมี ได้ 10 ลิตร ทำงานได้ถึง 40-60 ไร่ต่อชั่วโมง ปั๊มสเปรย์ยาใช้การควบคุมความแม่นยำสูงที่ชาญฉลาดและการเชื่อมต่อความเร็ว การบินในโหมดการทำงานอัตโนมัติเพื่อให้ได้ความเร็วคงที่ และการฉีดพ่นเพื่อให้แน่ใจว่าการเพาะปลูกจะได้รับสเปรย์เหมือนกันได้อย่างมีประสิทธิภาพในขณะที่ประหยัดคนงานในการทำงานและป้องกันสิ่งเจอป่น ที่คนงานได้รับสูดดมหรือสัมผัสผ่านเข้าทางร่างกายได้อีกด้วย

รูปที่ 2.13 โดรนพ่นสารรุ่น Agras MG-1 ของบริษัท DJI

บริษัท ใส่ใจ อะกริคัลเจอร์ จำกัด ดำเนินธุรกิจด้านการนำเทคโนโลยีและนัตกรรมทางการเกษตร สมัยใหม่ โดยการนำโดรนรุ่น M 23 บรรจุ 10 ลิตร มัลติโรเตอร์ ระบบหัวฉีดที่มีคุณภาพ สำหรับฉีดพ่นยา ดังรูปที่ 2.14 และโดรน รุ่น M 23 – G 1 บรรจุ 10 กิโลกรัม สำหรับหว่านปุ๋ยและเมล็ดพันธุ์ ทั้งพ่นเมล็ดพันธุ์ข้าว ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยผง ให้อาหารปลาและกุ้ง หรือหว่านยาฆ่าเชื้อทางชีวภาพได้

รูปที่ 2.14 โดรนเพื่อการเกษตรของบริษัท ใส่ใจ อะกริคัลเจอร์ จำกัด

โดรนสำหรับแบกน้ำหนักซึ่งถูกพัฒนาโดยบริษัท ProDrone โมเดล PD6B-AW-ARM ดังรูป 2.15 มี 6 ใบพัด ระยะห่างระหว่างเพลามอเตอร์ 1,620 มิลลิเมตร ความสูงรวม 800 มิลลิเมตร น้ำหนัก 18.8 กิโลกรัม เส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด 27 นิ้ว / 685.8 มิลลิเมตร ความเร็วสูงสุด 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพกันน้ำทุกสภาพอากาศ แบตเตอรี่ขนาด 16,000 มิลลิแอมแปร์จำนวน 2 ก้อน พร้อมกับแขนจักรกล 2 ข้างที่รองรับน้ำหนักได้มากถึง 20 กิโลกรัม และบินได้นานกว่า 30 นาที ทำให้โดรนตัวนี้สามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกสถานการณ์ไม่ว่าจะส่งพัสดุระยะไกล หรือส่งอุปกรณ์จำเป็นในหน่วยกู้ภัย หรือจะใช้แขนเกาะวัสดุต่างๆได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.15 โดรนแบกน้ำหนักของบริษัท ProDrone

DHL เปิดตัวโดรนสี่ใบพัดส่งสินค้าออกใช้งานดังรูป 2.16 ที่ความสูง 50 เมตรนั้น โดรนสี่ใบพัดขนส่งสามารถทำความเร็วได้ 18 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของลม โดยเริ่มการขนส่งอุปกรณ์ยารักษาโรคจากแผ่นดินใหญ่ไปยังเกาะจูสต์ซึ่งมีเส้นทางการบินไปยังเกาะมีระยะทางประมาณ 12 กิโลเมตร

รูปที่ 2.16 โดรนแบกน้ำหนักของบริษัท DHL

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หน่วยงานไปรษณีย์ฝรั่งเศสได้เริ่มต้นทดสอบการส่งพัสดุและจดหมายด้วยโดรนอย่างเป็นทางการแล้วภายในประเทศ โดยผ่านการเห็นชอบจากคณะกรรมการควบคุมการบินของประเทศฝรั่งเศส โดยในส่วนของโดรนที่นำมาใช้งานนั้นสามารถส่งพัสดุน้ำหนักมากกว่า 3 ปอนด์ (1.3 กิโลกรัม) บินด้วยระบบอัตโนมัติครอบคลุมระยะทางร่วม 9 ไมล์ (14.5 กิโลเมตร) ได้อย่างสะดวกสบาย โดรนดังกล่าวแสดงในรูป 2.17

รูป 2.17 โดรนแบกน้ำหนักสำหรับส่งพัสดุของหน่วยงานไปรษณีย์ฝรั่งเศส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6 ใบพัดคู่ร่วมแกน

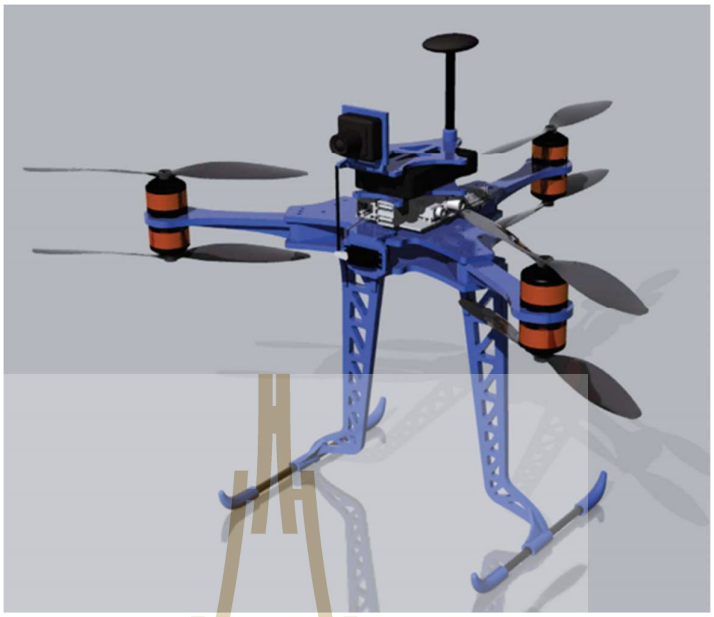
ใบพัดคู่ร่วมแกน หรือ Coaxial rotor เป็นรูปแบบการติดตั้งใบพัดชนิดหนึ่งที่มีจุดศูนย์กลางใบพัดตรงกันในแนวดิ่ง โดยใบพัดทั้งสองจะหมุนในทิศทางตรงกันข้ามเพื่อสมดุลแรงบิดซึ่งกันและกัน Yao Lei และคณะ (2012) กล่าวว่า หากเปรียบเทียบที่น้ำหนักและ Disk loading ของใบพัดเท่ากัน Coaxial rotor จะมีขนาดเล็กกว่าอากาศยานปีกหมุนที่ติดตั้งใบพัดแบบเดี่ยว (Single rotor) เนื่องจากพฤติการไหลของอากาศยานผ่านใบพัดที่แตกต่างกับการติดตั้งแบบ Single rotor จึงมีผู้ศึกษาระบบใบพัดชนิด Coaxial rotor ดังต่อไปนี้

Roman Czyba และคณะ (2015) ได้นำเสนอการวิเคราะห์แรงขับของ Coaxial rotor ทั้งคำนวณโดยวิธีทางทฤษฎีและปฏิบัติ โดยวิธีทางทฤษฎีได้มีการประยุกต์ใช้สมการที่ปรากฏ ในหนังสือของ Gordon J. Leishman (2006) ซึ่งคือสมการโมเมนตัมการไหลผ่านพื้นที่ของใบพัดทั้งบนและล่าง จากวิธีทางทฤษฎีพบว่า ใบพัดขนาด 8 นิ้ว แรงขับที่ได้จากการติดตั้งแบบ Coaxial rotor มีค่าเป็น 0.85 เท่าของผลรวมแรงขับใบพัดที่ติดตั้งแบบ Single rotor สองตัว จากนั้นได้ทำการทดสอบจริงที่ Duty cycle เท่ากันพบว่า แรงขับที่ได้จากการติดตั้งแบบ Coaxial rotor มีค่าน้อยกว่าผลรวมแรงขับใบพัดที่ติดตั้งแบบ Single rotor สองตัวจริง ซึ่งแรงขับที่สูญเสียเท่ากับ 20% ในทางปฏิบัติหมายความว่า นักบินต้องทำการเพิ่ม Duty cycle เพื่อชดเชยแรงขับที่หายไปนี้ (จากการทดสอบของ Roman Czyba และคณะ, 2015 พบว่าต้องเพิ่มขึ้น Duty cycle อีก 1-3 %) เพื่อทำให้ความสูงของอากาศยานคงที่ ทั้งนี้ปริมาณแรงขับที่หายไปขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาทิ ขนาดของใบพัด มุมติดตั้งใบพัด ระยะห่างระหว่างใบพัดตามแนวแกน จึงทำให้ไม่สามารถสรุปปริมาณแรงขับที่หายไปอย่างแน่นอนได้

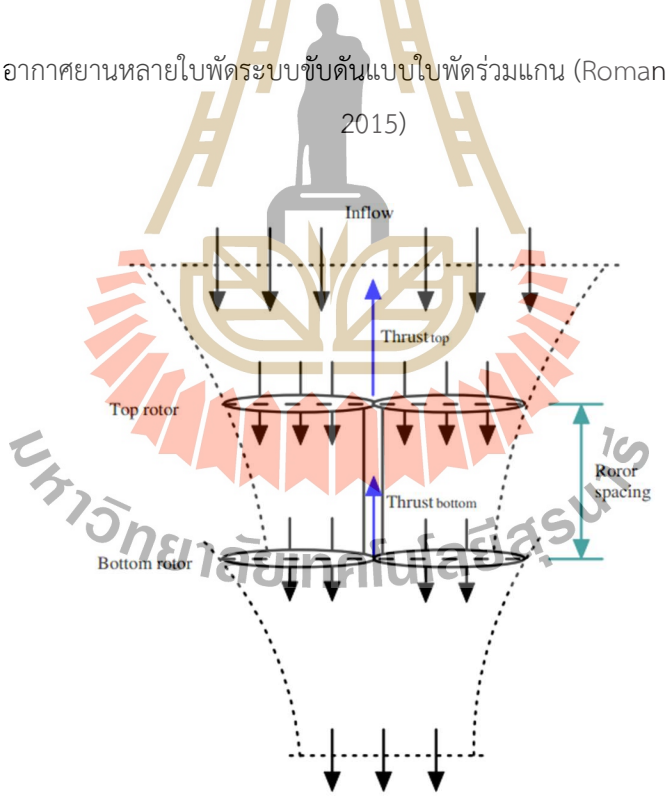
Yao Lei และคณะ (2012) ได้ศึกษาผลกระทบของความห่างตามแนวแกนของ Coaxial rotor ต่อแรงขับของระบบพบว่า หากมีระยะห่างที่เหมาะสม จะทำให้สร้างแรงขับได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า หากติดตั้งห่างมากขึ้น จะทำให้แรงขับมีแนวโน้มลดลงจนลู่เข้าค่าคงที่ค่าหนึ่ง ระยะห่างที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบคือ 0.35 ถึง 0.45 ของรัศมีใบพัด (ในบทความระยะห่างคือ 77 mm เมื่อรัศมีเท่ากับ 200 mm) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบของ Sunada และคณะ (2005)

หากพิจารณาในเรื่องของกำลัง พิจารณาที่แรงขับคงที่ค่าหนึ่ง Roman Czyba และคณะ (2015) พบว่า Coaxial rotor อาทิ ที่แรงขับ 1.5 kg Coaxial rotor และ Single rotor จะใช้กำลัง 54 และ55 W ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากการทดสอบของ Yao Lei และคณะ (2012) พบว่าที่แรงขับเท่ากัน Coaxial rotor จะใช้กำลังมากกว่า Single rotor 2 ตัวรวมกันเล็กน้อย อาทิ ที่แรงขับ 0.68 kg Coaxial rotor และ Single rotor จะใช้กำลัง 88 และ 85 W ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.18 อากาศยานหลายใบพัดระบบขับดันแบบใบพัดร่วมแกน (Roman Czyba และคณะ, 2015)



รูปที่ 2.19 จำลองการไหลผ่านใบพัดระบบขับดันแบบใบพัดร่วมแกน (Yao Lei และคณะ, 2012)

บทที่ 3 การออกแบบโดรน

การออกแบบโดรนสำหรับฉีดพ่นสารแบ่งออกเป็น 2 ชุดด้วยกันคือ โดรนสำหรับบรรทุกสาร 5 ลิตร และ ขนาด 10 ลิตร โดรนขนาดบรรทุก 5 ลิตร จะมีราคาไม่สูงมาก เนื่องจากราคาอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆมีราคาไม่สูงมากนัก ส่วนโดรนขนาดบรรทุก10ลิตร จะมีราคาสูงตามอุปกรณ์ที่ใหญ่ขึ้น

ในการออกแบบต้องใช้ผลการทดสอบสมรรถนะของมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ร่วมกับน้ำหนักของอุปกรณ์แต่ละชิ้น ดังแสดงในตารางที่ 3.1 น้ำจะมีผลต่อระยะเวลาในการบินและความสามารในการบรรทุกน้ำหนัก แบตเตอรี่ที่ใช้ต้องมีโวลท์และความจุที่เหมาะสม มอเตอร์ที่ใช้ต้องมีประสิทธิภาพที่ดีและมีน้ำหนักเบา ตารางผลการทดสอบสมรรถนะของมอเตอร์มีผลอย่างมากต่อการออกแบบ เพราะจะทำให้ประเมินได้ว่าจะสามารถแบบน้ำหนักบรรทุกได้ตามต้องการหรือไม่ จากแรงขับที่มอเตอร์จะผลิตได้เมื่อต่อเข้ากับใบพัด

จำนวณใบพัดของโดรนควรเป็น 6 ใบพัดขึ้นไป เพื่อความปลอดภัย เพราะ การมีใบพัดที่มากกว่า 4 ใบ เมื่อเกิดความเสียหายกับใบพัดหนึ่ง จะยังพอประคองให้นำโดรนลงจอดได้ รูปแบบของโครงสร้างควรพับเก็บแขนได้เพื่อความกะทัดรัดขนย้ายได้สะดวก โดรนขนาดบรรทุก 10 ลิตร จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 2 เมตร จะทำให้เคลื่อนย้ายได้ลำบากมากหากพับเก็บไม่ได้

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักอุปกรณ์

อุปกรณ์	น้ำหนัก (g)	อุปกรณ์	น้ำหนัก (g)
แบตเตอรี่		ESC	
6S 18000mAh 30/60C	1,955	T-motor FLAME 80A	94
6S 5400mAh 30/60C	790	Hobbywing Xrotor 50A	46
3S 10000mAh 30C	680		
4S 10000mAh 30C	900	Frame Body	
มอเตอร์		X6 960mm + Accessory + Pump DC	4650
Redcon 5210 320kV	210	X8 1600mm + Accessory	6550
Tarot 5008 340kV	170	ขาและถังน้ำ	1200
GARTT QE6011 130kV	310		
ระบบปั๊มน้ำ		Propeller	
DC motor	600	2260 fixed	60
Brushless motor	275	2270 fold	70
หัวฉีด	75		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

QE6011

Motor KV	130 RPM/V
Motor Resistance (RM)	0.1725 Ω
Idle Current (Io/10V)	0.3A/10V
Max Continuous Current	28A
Max Continuous Power	1320W
Weight	≈300g/10.58 oz
Lipo Cell	12S
Motor Diameter	68.5mm/2.7 in
Motor Body Length	34mm/1.34 in
Configu-ration	24N28P
Overall Shaft Length	44.5mm/1.75 in
Shaft Diameter	4.0mm/0.16 in
Bolt holes spacing	30mm/1.18in
Bolt thread	M4

QE6011 130KV

Item NO.	Volts (V)	Prop	Throttle	Amps (A)	Watts (W)	Thrust (g)	Efficiency (g/W)	Operating temperature(℃)
QE6011 130KV	48V	2055	40%	1.8	86.4	1090	12.62	49℃
			45%	2.2	105.6	1220	11.55	
			50%	2.6	124.8	1340	10.74	
			55%	3.3	158.4	1550	9.79	
			60%	4.1	196.8	1860	9.45	
			65%	4.8	230.4	2070	8.98	
			70%	6.2	297.6	2520	8.47	
			80%	8.8	422.4	3220	7.62	
			90%	12.1	580.8	3980	6.85	
			100%	13.5	648.0	4320	6.67	
QE6011 130KV	48V	2260	40%	1.9	91.2	1180	12.94	54℃
			45%	2.5	120.0	1420	11.83	
			50%	3.4	163.2	1750	10.72	
			55%	4.2	201.6	2110	10.47	
			60%	5.5	264.0	2500	9.47	
			65%	6.8	326.4	2920	8.95	
			70%	8.4	403.2	3350	8.31	
			80%	11.8	566.4	4250	7.50	
			90%	16.1	772.8	5280	6.83	
			100%	17.8	854.4	5650	6.61	

Notes: The test condition oftemperature is motor surface temperature in 100% throttle while the motor run 3 min.environment temperature 32℃

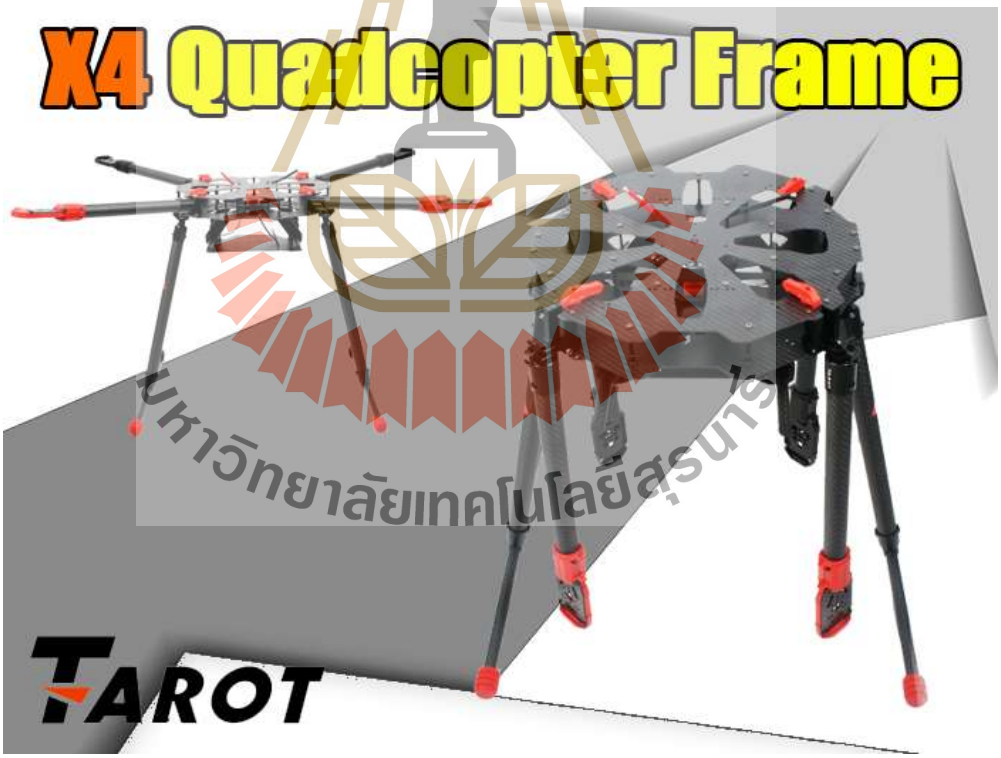
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.1 มอเตอร์และผลการทดสอบสมรรถนะ

3.1 โดรน 4 แขน 8 ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร

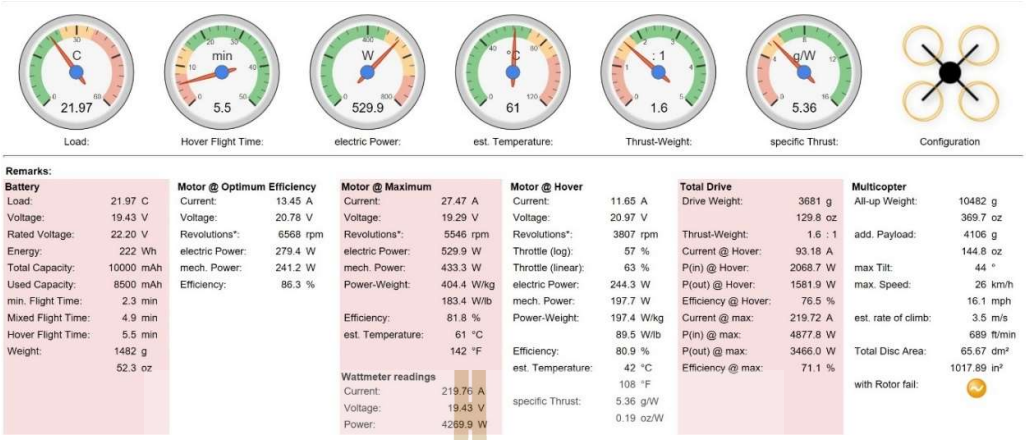
เฟรมที่เหมาสมคือ Tarot X4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 960 mm ดังรูปที่ 3.2 แขนของโดนสามารถพับเก็บในแนวดิ่งได้ ทำให้มีความกะทัดรัดพกพาสะดวก มอเตอร์ที่เหมาสมสามารถใช้ได้ทั้ง Redcon 5210 320kV และ Tarot 5008 340kV คู่กับใบพัดขนาด 18 นิ้ว เนื่องจากต้องใช้มอเตอร์ 8 ตัว ดังนั้นการวางมอเตอร์ต่อขาจะเป็น 2 ตัวต่อแขน หรือที่เรียกว่า Coaxial rotor ESC เลือกใช้เป็น Hobbywing Xrotor 50A แบตเตอรี่ LiPo ขนาด 10000 mAh 6cell ข้อดีข้องการใช้ 4 แขน คือ น้ำหนักของแขนเฟรมและฐานยึดมอเตอร์จะลดลง มีขนาดที่ค่อนข้างกะทัดรัด แต่มีข้อเสียของประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ลดลงเนื่องจากใบพัดชุดล่างจะได้รับผลกระทบจากลมที่เกิดจากใบพัดบน

จากการประเมินน้ำหนักรวมเมื่อบรรจุน้ำ 5 ลิตร จะมีน้ำหนักประมาณ 10.5 กิโลกรัม สามารถบินได้ 5.5 นาที โดยใช้ Throttle 57% ในการยกตัวโดรน ผลการคำนวณสมรรถนะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 เฟรม Tarot X4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.3 ผลการคำนวณ โดรน 4แขน 8ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร

3.2 โดรน 6 แขน 6 ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร

อีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถทดแทน โดรน 4แขน 8ใบพัด ได้ก็คือ แบบ 6แขน 6ใบพัด แม้จะมีจำนวณมอเตอร์ที่ลดลงแต่เนื่องจากไม่ต้องวางมอเตอร์ซ้อนกันจึงทำให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีกว่า เฟรมที่เหมาสมคือ Tarot X6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 960 mm ดังรูปที่ 3.4 แขนของโดนสามารถพับเก็บในแนวดิ่งได้ ทำให้มีความกะทัดรัดพกพาสะดวก มอเตอร์ที่เหมาสมสามารถใช้ได้ทั้ง Redcon 5210 320kV และ Tarot 5008 340kV คู่กับใบพัดขนาด 18 นิ้ว ESC เลือกใช้เป็น Hobbywing Xrotor 50A แบตเตอรี่ LiPo ขนาด 10000 mAh 6cell

จากการประเมินน้ำหนักรวมเมื่อบรรจุน้ำ 5 ลิตร จะมีน้ำหนักประมาณ 11.2 กิโลกรัม สามารถบินได้ 5 นาที โดยใช้ Throttle 70% ในการยกตัวโดรน การที่มีมอเตอร์ลดลงทำให้ต้องใช้ Throttle ที่มากขึ้น ผลการคำนวณสมรรถนะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.5

3.3 โดรน 8 แขน 8 ใบพัด ขนาดบรรทุก 10 ลิตร

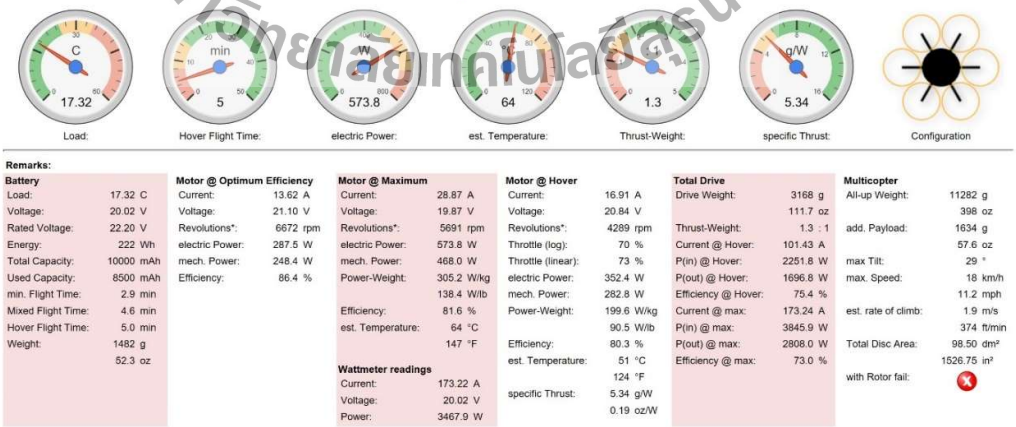
การออกแบบโดรนขนาดบรรทุกน้ำหนัก 10 ลิตรนั้นค่อนข้างยากเนื่องจากมีข้อพึงพิจารณาหลายอย่าง น้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นหมายถึง ต้องมีแรงขับจากมอเตอร์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีความจุมากขึ้น รวมทั้งอาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนไปใช้ไฟฟ้าที่มี Volt สูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงมอเตอร์ที่มีแรงขับสูงแล้วจะพบว่า มีสามารถใช้ระบบไฟฟ้า 6 cell (24V) ได้อีกต่อไป การแบกน้ำหนักสูงนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนไปใช้ไฟฟ้า 12 cell (48V) นั่นหมายถึงต้องใช้ ESC และอุปกรณ์อื่นๆที่รองรับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงนี้ด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การเลือกใช้โดรน 8แขน 8ใบพัด จะมีข้อได้เปรียบในเรื่องการใช้พลังงานที่ประหยัดกว่า 4 แขน 8ใบพัด แต่ตัวโดรนอาจมีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามหากมีการพัฒนาระบบใบพัด Co-axial ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดรน 4แขน 8ใบพัด จะน่าสนใจอย่างมากเพราะขนาดที่เล็กลง

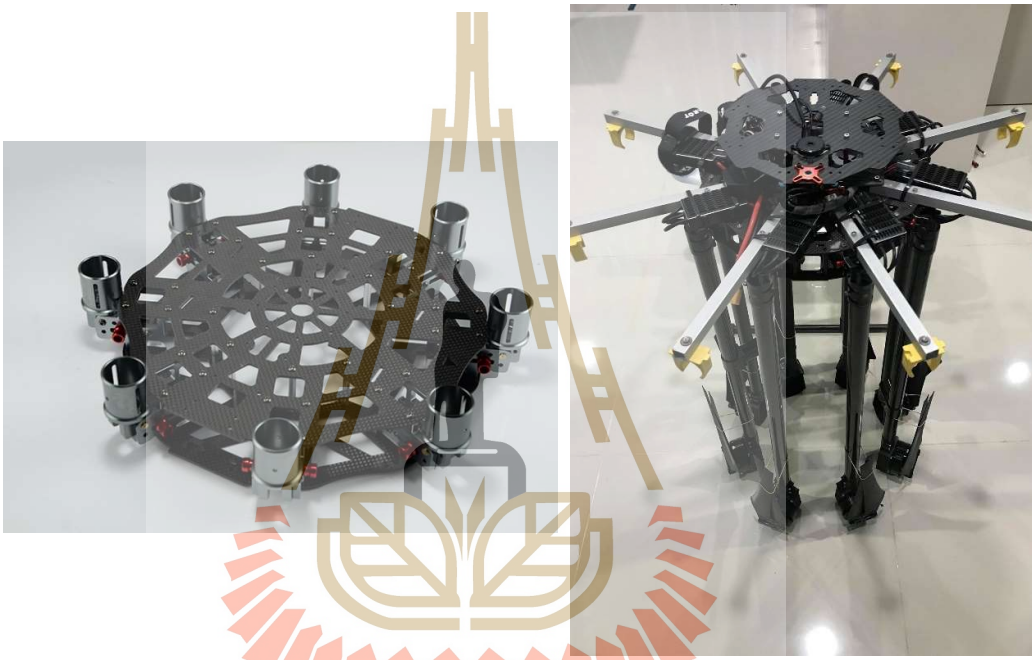
รูปที่ 3.4 เฟรม Tarot X6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.5 ผลการคำนวณ โดรน 6 แขน 6ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร

มอเตอร์ที่เหมาะสมกับโดรนขนาดบรรทุก 10L ควรจะเป็น ขนาด 130 kV ร่วมกับใบพัดขนาด 22 นิ้ว ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดรนจะต้องมีขนาดอย่างน้อย 1550 mm เพื่อให้ใบพัดไม่ชนกันขณะทำงาน เนื่องจากเฟรมที่รองรับขนาดดังกล่าวนี้ไม่มีขายในตลาด ดังนั้นจึงต้องทำการออบแบบใหม่ โดยใช้เฟรมชิ้นหลางที่เป็นคาร์บอนไฟเบอร์ ร่วมกับแขนพับโลหะอะลูมินัม สำหรับท่อคาร์บอนไฟเบอร์ขนาด 25 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เมื่อนำแขนท่อคาร์บอนมาต่อร่วมจะสามารถพับเก็บในลักษณะเหมือนพับร่ม เพื่อความกะทัดรัดเคลื่อนย้ายสะดวก

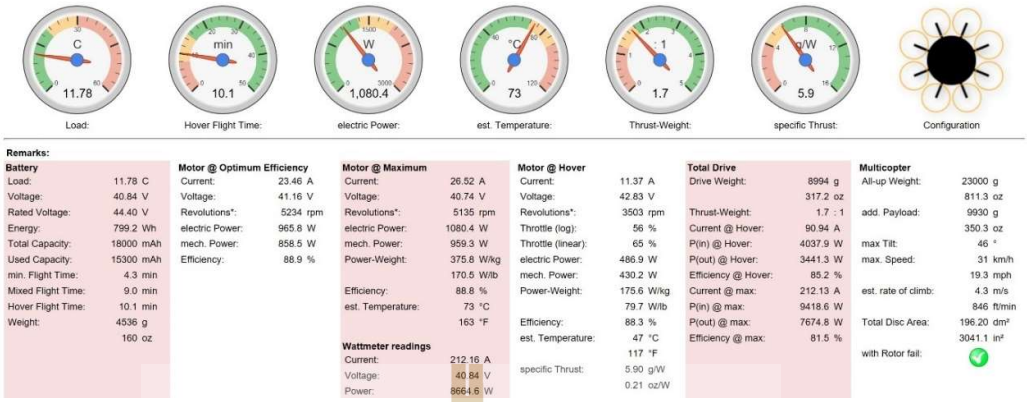


รูปที่ 3.6 เฟรมส่วนกลางสำหรับโดรน 8แขน 1550 mm

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มอเตอร์ที่เหมาะสมคือ GARTT QE6011 130kV คู่กับใบพัดขนาด 22 นิ้ว โดยใช้ระบบไฟ 48 โวลท์ จะสามารถให้แรงขับต่อ 1 มอเตอร์สูงสุดได้ถึง 5.6 kg ดังนั้นจะสามารถยกน้ำหนักได้สูงสุด 44.8 kg สำหรับจุดออกแบบที่ Throttle 65% จะให้แรงขับได้ถึง 2.9 kg ดังนั้นมอเตอรีทั้ง8ตัวจะยกน้ำหนักได้ 23.2 kg ESC เลือกใช้เป็น T-motor FLAME 80A แบตเตอรี่ LiPo ขนาด 18000 mAh 6cell 2 ก้อนต่ออนุกรม

จากการประเมินน้ำหนักรวมเมื่อบรรจุน้ำ 10 ลิตร จะมีน้ำหนักประมาณ 23 กิโลกรัม สามารถบินได้ 10 นาที โดยใช้ Throttle 56% ในการยกตัวโดรน ผลการคำนวณสมรรถนะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ผลการคำนวณโดรน 8แขน ขนาดบรรทุก 10 ลิตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4 โดรนต้นแบบและผลการทดสอบ

4.1 โดรน 4 แขน 8 ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร

ผลการทดสอบ โดรนมีกำลังสูงแม้จะแบกน้ำหนักเต็มที่ ใช้ Throttle ประมาณ 55% ในการยกตัว สามารถบินได้อย่างคล่องแคล่ว ในการพ่นน้ำความจุ 5 ลิตร ยังมีพลังงานและกำลังเหลือมากพอจะกลับเข้าสู่จุดเริ่มต้น การทดสอบบินแบบ Automatic สามารถรักษาความสูงได้ค่อนข้างดี การทดสอบบินพ่นสารแสดงอยู่ในรูปที่ 4.1

อย่างไรก็ตามโดรน 4 แขน 8 ใบพัด จะมีราคาที่สูงกว่าแบบ 6 ใบพัด เนื่องจากมีจำนวนมอเตอร์ และ ESC ที่มากกว่าถึง 2 ตัว ดังนั้นการเลือกใช้โดรนชนิด 6 ใบพัด จะเป็นทางเลือกที่ประหยัดกว่า ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.1 การบินทดสอบโดรน 4 แขน 8 ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร

4.2 โดรน 6 แขน 6 ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร

ผลการทดสอบ โดรนมีกำลังน้อยกว่าแบบ 8 ใบพัดใช้ Throttle ประมาณ 60% ในการยกตัวในการพ่นน้ำความจุ 5 ลิตร การบินไม่คล่องตัวนักเนื่องจากมีกำลังไม่สูงมาก แต่ก็เพียงพอต่อการทำงานบินพ่นสาร 5 ลิตร ใน 5 นาที การทดสอบบินแบบ Automatic มีการเสียความสูงขณะบินพ่นสารมากกว่าโดรนแบบ 8 ใบพัด การทดสอบบินพ่นสารแสดงอยู่ในรูปที่ 4.2 การให้ความรู้สาธิตการใช้งานให้กับกลุ่มเกษตรกรในงานเกษตรสุรนารี แสดงอยู่ในรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.2 การบินทดสอบโดรน 6 แขน 6 ใบพัด ขนาดบรรทุก 5 ลิตร

อย่างไรก็ตามโดรน 6 แขน 6 ใบพัด จะมีราคาที่ถูกกว่าแบบ 8 ใบพัด เนื่องจากมีจำนวนมอเตอร์ และ ESC ที่น้อยกว่าถึง 2 ตัว แต่ด้วยประสิทธิภาพที่สูงกว่าจากการไม่ต้องวางตัวมอเตอร์ในแกนเดียวกัน ดังนั้นสมรรถนะจะลดลงจากแบบ 8 ใบพัดไม่มาก ซึ่งเพียงพอต่อการทำภาระกิจ ดังนั้นการเลือกใช้โดรนชนิด 6 ใบพัด จึงเป็นทางเลือกที่ค่อนข้างเหมาะสม ในแง่ของการพกพาโดรนตัวนี้พกพาได้ค่อนข้างสะดวกเนื่องจากเมื่อทำการพับแขนแล้วสามารถเก็บไว้ที่ท้ายรถหรือเบาะหลังของรถเก๋งได้ดังแสดงในรูป 4.4 (a)

รูปที่ 4.3 การสาธิตโดนรพ่นสารขนาดบรรทุก 5 ลิตร ให้กับกลุ่มเกษตรกร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(a) โดรนขนาดบรรทุก 5 ลิตร (b) โดรนขนาดบรรทุก 10 ลิตร

รูปที่ 4.4 โดรนซึ่งออกแบบให้พับเก็บได้ สามารถขนส่งโดยใส่ท้ายรถ City Car

4.3 โดรน 8 แขน 8 ใบพัด ขนาดบรรทุก 10 ลิตร

โดรนมีขนาดใหญ่เมื่อรวมสิ่งบรรทุกมีน้ำหนัก มากถึง 23 กิโลกรัม ผลการทดสอบมอเตอร์และใบพัดมีกำลังเพียงพอ โดยใช้ Throttle ประมาณ 60% ในการยกตัว ในการพ่นน้ำความจุ 10 ลิตร การบินไม่คล่องตัวนักเนื่องจากโดรนมีขนาดใหญ่ สามารถบินพ่นสาร 10 ลิตร ใน 10 นาที การทดสอบบินแบบ Automatic สามารถทำได้ดีเช่นเดียวกับโดรน 6 แขน การทดสอบบินพ่นสารแสดงอยู่ในรูปที่ 4.5

ข้อสังเกตุที่สำคัญเกี่ยวกับโดรนขนาดบรรทุก 10 ลิตร นี้คือแบตเตอรี่ที่ต้องใช้จำนวณมาก และ การขนย้ายโดรน เนื่องจากโดรนต้องบรรทุกน้ำหนักสูง จึงต้องใช้แบตเตอรี่ระบบ 12 cell หรือ 48 volt ซึ่งก็คือ แบตเตอรี่ 6 cell 24 volt 2 ก้อนต่ออนุกรมกัน โดยมีความจุแต่ละก้อน 20000 mAh สำหรับการบิน 10นาที กรณีโดรนแบกน้ำหนัก 5 ลิตร แบตเตอรี่ 6 cell 24 volt 1 ก้อน บินได้ 5 นาที นั่นคือหากต้องการบิน 10นาที ต้องใช้แบตเตอรรี่ 2 ก้อน สรุปได้ว่าโดรนขนาดบรรทุก 10 ลิตร ต้องใช้แบตเตอรี่เป็น 2 เท่าของโดรนขนาดบรรทุก 5 ลิตร ใช้ประเด็นนี้มีความสำคัญต่อการทำงานหน้างานมาก เนื่องจากในขณะทำงานจริงต้องมีการสำรองแบตเตอรี่สำหรับพื้นที่ใหญ่ๆที่ต้องใช้เวลาในการทำงานมากขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขนาดของโดรนมีผลอย่างมากต่อการขนย้าย ในการทำงานจริงโดรนจะต้องถูกขนส่งผ่านรถยนต์เพื่อเข้าไปให้ถึงพื้นที่แปลงเกษตร หากโดรนมีขนาดใหญ่มากการขนย้ายจะเป็นอุปสรรค์ ดังนั้นโดรนพ่นสารเคมีจะต้องสามารถพับเก็บได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโดรนขนาดบรรทุก 10 ลิตร จะมีความยาวถึง 1600 mm การออกแบบจะต้องพับเก็บให้ได้ดังในรูปที่ 4.6 เพื่อให้สาสมารถบรรจุลงที่ว่างของรถขนส่ง สำหรับโดรนขนาด 5 ลิตรในงานวิจัยนี้ออกแบบได้อย่างลงตัว เมื่อทำการพับเก็บโดรนจะสามารถบรรจุลงในท้ายรถเก๋งได้ ซึ่งค่อนข้างสะดวกต่อการขนส่ง ดังแสดงในรูป 4.4 (b) การเผยแพร่ผลงานให้กับกลุ่มเกษตรกรไร่อ้อยจากจังหวัดสุรินทร์แสดงในรูปที่ 4.7 การเผยแพร่ผลงาน ณ ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม จังหวัดนครราชสีมา แสดงอยู่ในรูปที่ 4.8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.5 การบินทดสอบโดรน 8 แขน 8 ใบพัด ขนาดบรรทุก 10 ลิตร

รูปที่ 4.6 โดรนขนาดบรรทุก 10 ลิตร สามารถพับเก็บได้

รูปที่ 4.7 การสาธิตโดรนพ่นสาร ขนาดบรรทุก 10 ลิตร และ 5 ลิตร ให้กับกลุ่มเกษตรกร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.8 การเผยแพร่ผลงาน ณ ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

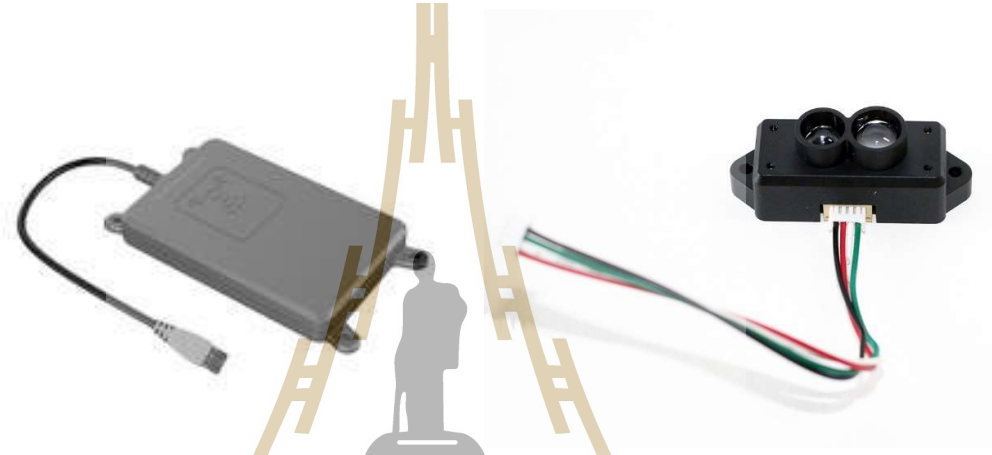
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4 การทดสอบระบบควบคุม

ระบบควบคุมหรือ Flight Controller ในงานวิจัยนี้เลือกใช้อยู่ 2 แบบด้วยกันคือ Pixhawk 2.1 และ TopXgun T1A ทั้ง 2 แบบสามารถใช้กับโดรนที่ผลิตมาได้ทั้งหมด Pixhawk เป็นการพัฒนาแบบ Opensource มีราคาถูก ใช้คอมพิวเตอร์ Laptop ในการวางแผนการบิน ไม่รองรอบการสั่งงานผ่านโทรศัพท์มือถือ ส่วน TopXgun T1A เป็นเกรด commercial มีอุปกรณ์เสริมมากกว่า สามารถใช้งานได้สะดวกเนื่องจากสามารถใช้โทรศัพท์ smart phone ทั้งระบบ ios และ android เชื่อมต่อในการสั่งงานได้ และมีระบบ Radar รักษาความสูงที่ดี จึงมีราคาสูงกว่า

ความสามารถของตัวควบคุม TopXgun T1A สามารถรักษาความสูงขณะโดรนเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ดีกว่า สำหรับอุปรณ์ช่วยรักษาความสูงจากต้นพืช TopXgun T1A สามารถบินรักษา

ความสูงจากต้นพืชได้ค่อนข้างดีเนื่องจากใช้ Millimeter Wave Radar ดังรูปที่ 4.9 (a) ช่วยในการรักษาความสูง ส่วน Pixhawk 2.1 Radar ในการช่วยรักษาความสูงใช้ Lidar ดังรูปที่ 4.9 (b) ซึ่งสะท้อนต้นพืชได้ไม่ดีนัก



(a) Millimeter Wave Radar (b) Lidar

รูปที่ 4.9 Radar Altimeter

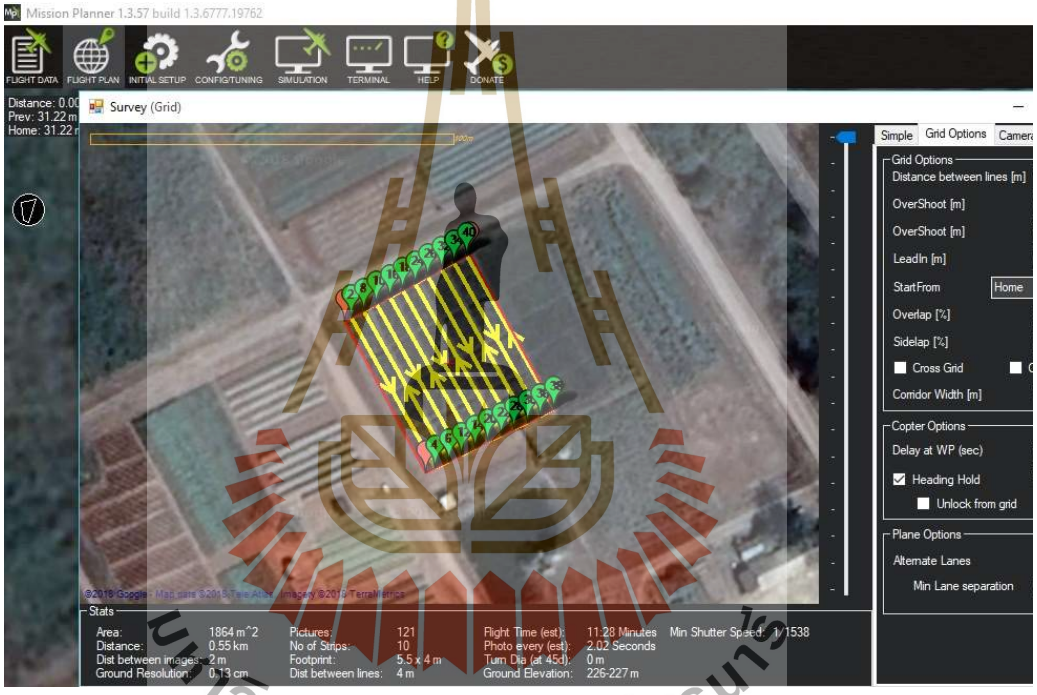
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.5 การทดสอบโปรแกรมควบคุมภาคพื้น (Ground station)

การควบคุมภาคพื้นถึงตัวโดรนสามารถไปได้ไกลกว่า 500 เมตร เนื่องจากเลือกใช้อุปกรณ์สื่อสารทั้งหมดที่รองรับระยะไกลอุปกรณ์บางตัวสามารถส่งได้ถึง 2 km แต่อย่างไรก็ตามขณะบินปฏิบัติงานจะไม่บินในระยะไกลเพราะจะไม่สามารถมองเห็นตัวโดรนและสังแกตุการสเปรย์ของสารได้ โดยทั่วไปจะบินในระยะความยาวประมาณ 200 เมตรเท่านั้น อีกทั้งการบินพ่นสารจะต้องบินวนไปมาเป็นรูปตัว U ดังนั้นไม่มีความจำเป็นที่จะเลือกอุปกรณ์ที่มีระยะส่งสูง หากแปลงเกษตรมีความยาวมากควรทำการแบ่งกลุ่มของการฉีดพ่น เช่นแปลงขนาด 20 ไร่ อาจแบ่งเป็น 180m x 80 m หรือ 5 ไร่ ทำ

การฉีดพ่น 4 ครั้ง สำหรับขนาดบรรทุก 5 ลิตร หรือแบ่งเป็น 180m x 160 m หรือ 10 ไร่ ทำการฉีดพ่น 2 ครั้ง สำหรับขนาดบรรทุก 10 ลิตร

ระบบควบคุม Pixhawk 2.1 ใช้งานร่วมกับโปรแกรมภาคพื้น Mission Planner การวางแผนการบินสำหรับพ่นสารเคมีสามารถประยุกต์ใช้คำสั่ง Survey Grid ซึ่งเดิมเป็นคำสั่งสำหรับการบินถ่ายรูปทำแผนที่ นำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนบินพ่นสารได้ดังแสดงในรูปที่ 4.10 สามารถใช้งานได้สะดวกผ่านคอมพิวเตอร์ Laptop อย่างไรก็ตามกรณีออกทำงานภาคสนามการใช้คอมพิวเตอร์ Laptop อาจไม่สะดวกนัก และยังไม่มีโปรแกรมที่ใช้งานได้สะดวกผ่าน Smart phone

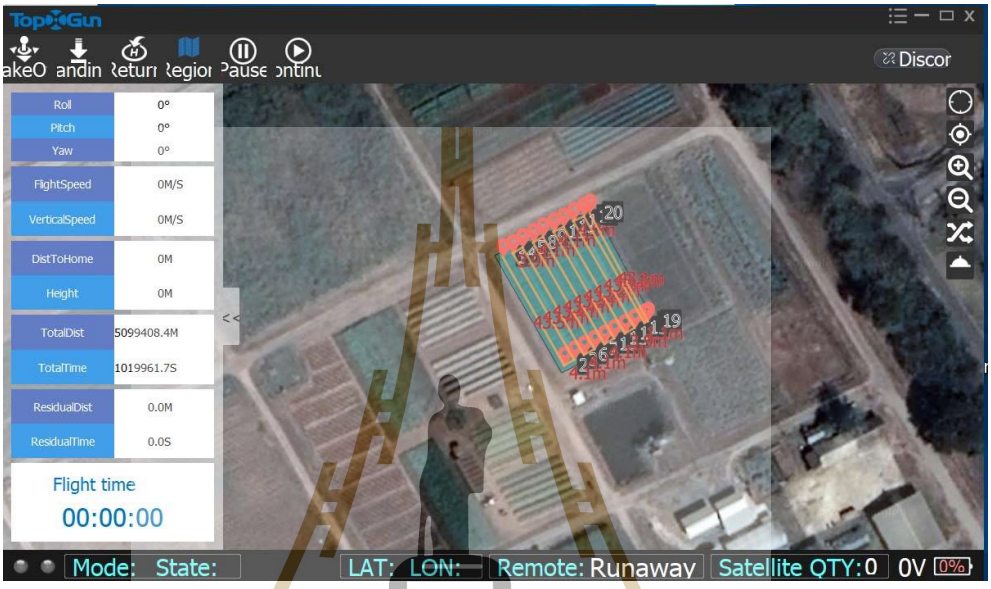


รูปที่ 4.10 การวางแผนการบินผ่านคำสั่ง Survey Grid ของโปรแกรม Mission Planner

ระบบควบคุม TopXGun T1A ใช้งานร่วมกับโปรแกรมภาคพื้นได้หลายแบบ ทั้งผ่าน Laptop และ Smart phone โดยเช่นโปรแกรม GCS บน Laptop และ application GCS และ Agri Mgmt บนโทรศัพท์ ทั้งโปรแกรม GCS บน Laptop และ โทรศัพท์ สามารถวางแผนการบินพ่นสารได้ง่ายเช่นเดียวกับ mission planner ในการสร้างแผนการบินบนพื้นที่รูปทรงเรขาคณิต ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 สิ่งที่ application Agri Mgmt มีมากกว่าทุกโปรแกรมก็คือ สามารถกำหนดพื้นที่สิ่งกีดขวางในโปรแกรม เพื่อสร้างเส้นทางการบินที่หลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ประเด็น

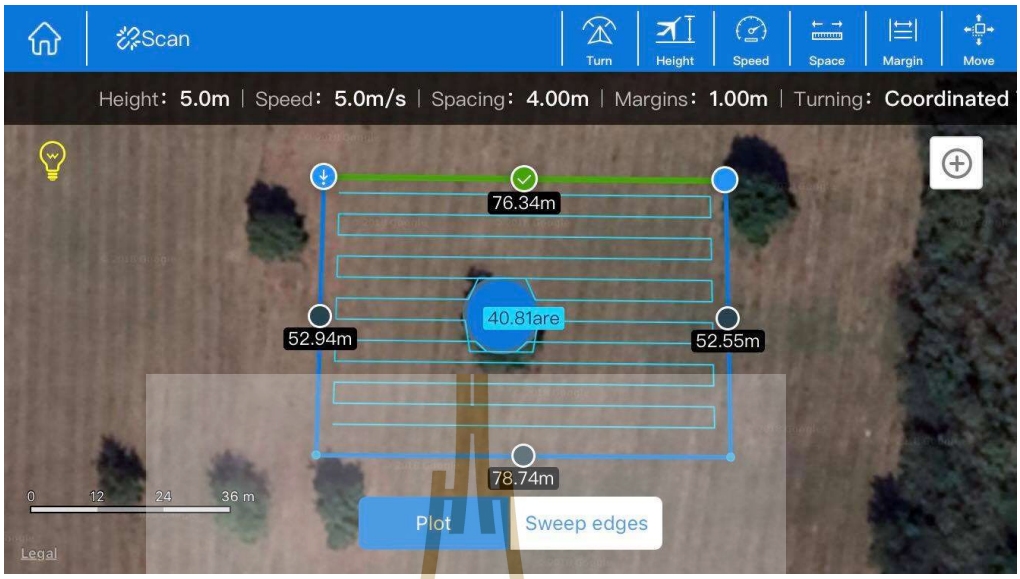
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นี้มีประโยชน์มากเนื่องจากในภาคสนามจริง แปลงเกษตรหลายที่จะมีต้นไม้ใหญ่ขวางอยู่ หากใช้โปรแกรมสร้างเส้นทางแบบทั่วไปจะไม่สะดวกต่อการทำงาน ผู้ปฏิบัติงานอาจจำเป็นต้องเลือกบินแบบ Manual ดังนั้นเมื่อผ่าน Agri Mgmt จะสามารถบินแบบอัตโนมัติได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 4.11 การวางแผนการบินผ่านโปรแกรม GCS รูปบนใช้งานผ่าน Laptop

รูปที่ 4.12 การวางแผนการบินผ่านโปรแกรม GCS รูปบนใช้งานผ่านโทรศัพท์ smart phone



รูปที่ 4.12 การวางแผนการบินผ่าน Agri Mgmt บน smart phone

4.6 ข้อสังเกตุจากการทดสอบโดรนพ่นยา

ระบบควบคุม Pixhawk 2.1 มีราคาถูก สามารถควบคุมโดรนได้ดีระดับหนึ่ง เหมาะกับงานที่ต้องบังคับเครื่องบินเอง GPS ที่ติดตั้งไว้ ใช้ช่วยในการรักษาระดับความสูงและตำแหน่ง แต่ยังไม่เหมาะกับการบินแบบอัตโนมัติ เนื่องจากการควบคุมโดรนยังไม่นิ่งพอ สูญเสียความสูงง่าย การรักษาตำแหน่งไม่แม่นยำนัก รวมถึงซอร์ฟแวร์อำนวยความสะดวกในการวางแผนการบินอัตโนมัติยังไม่สะดวกต่อการใช้งาน

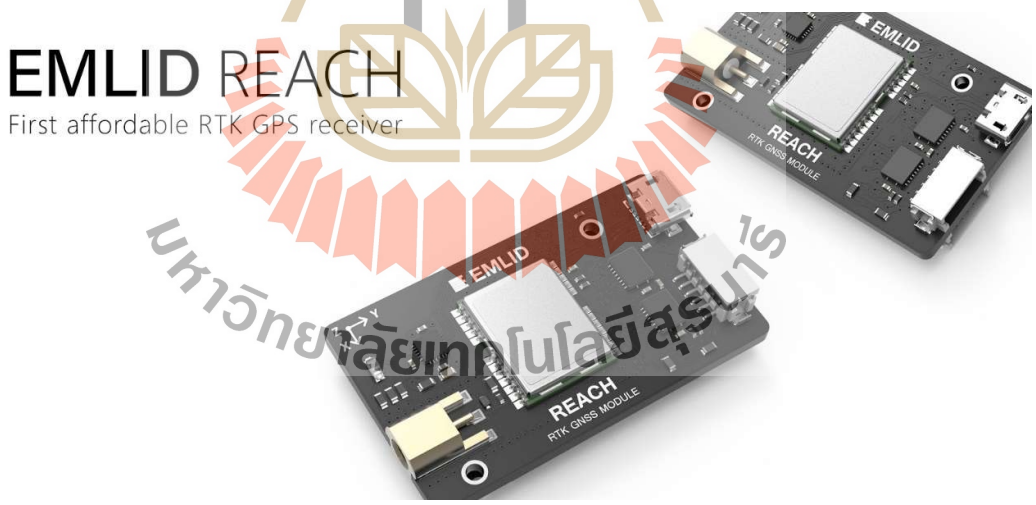
ระบบควบคุม TopXGun T1A ใช้งานได้ดี มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกมาก ทั้งระบบ radar รักษาความสูง ระบบเชื่อมต่อกับโทรศัพท์ smart phone เพื่อวางแผนการบินและสั่งงาน ความสามารถของโปรแกรมที่สามารถวางแผนให้หลบสิ่งกีดขวางได้ง่าย การบินรักษาตำแหน่งและรักษาระดับความสูงที่ค่อนข้างดี อย่างไรก็ตาม TopXGun T1A มีราคาที่สูงกว่าถึง 3 เท่า

การปฏิบัติภาระกิจพ่นยาที่แปลงเกษตร มีอุปสรรค์หลายประการด้วยกัน แปลงเกษตรที่มีความยาวมากจะยากต่อการสังเกตุว่าบินได้ตรง ทั่วถึง หรือการรักษาความสูงเหนือพืช สำหรับพื้นที่ลาดเอียงจะยิ่งเป็นอุปสรรค์เพราะขณะบินต้องทำการควบคุมความสูงของโดรนไปด้วย เพื่อให้รักษาระยะการพ่นสาร พืชบางชนิดมีการเจริญเติบโตที่ไม่เท่ากัน เช่น มันสำปะหลัง จึงทำให้ขณะบินต้อง

บังคับความสูงของโดรนอยู่ตลอดเวลา ดังที่กล่าวทั้งหมด ระบบ radar altimeter เพื่อรักษาความสูงให้โดรนห่างจากต้นพืชจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก

ปัญหาอีกประการหนึ่งสำหรับการบินพ่นสารในพื้นที่ห่างไกลคือ ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึงบริเวณแปลงเกษตร เช่นนี้ต้องเตรียมอุปกรณ์สำหรับชาร์ตแบตเตอรี่จากรถยนต์ และอาจต้องสำรองแบบเตอรรี่ในปริมาณที่เพียงพอ การเลือกใช้ระบบชาร์ตต้องเลือกให้เหมาะสมเพื่อให้สามารถใช้ไฟฟ้า 12 V จากแบตเตอรี่รถยนต์ได้

Real-time kinematic (RTK) GPS เป็นระบบ GPS ที่มีความแม่นยำมาก โดยมีความผิดพลาดของตำแหน่งประมาณ 2 เซนติเมตรเท่านั้น ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบ RTK-GPS ของ Emlid รุ่น Reach ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งเป็นเกรด Hobby ผลการทดสอบพบว่าการรักษาตำแหน่งของโดรนทำได้ดี แต่มีปัญหาในเรื่องของการจับสัญญานดาวเทียมที่ต้องใช้เวลานานมาก จึงยังไม่ค่อยเหมาะกับการใช้งานจริง ณ ปัจจุบัน ยังคงต้องรอการพัฒนาระบบของ RTK ให้มีความรวดเร็วมากกว่าในปัจจุบัน



รูปที่ 4.14 Emlid RTK-GPS

ภาคผนวก

ราคาอุปกรณ์โดยประมาณ

ภาคผนวก

ราคาอุปกรณ์โดยประมาณ

อุปกรณ์	ราคา (บาท)
Tarot X4	12900
Tarot X6	13900
Frame plate X8	14900
Motor holder for Large motor	1000
Carbon tube 25mm	900
ESC FLAME 80A 12S	3960
ESC Hobbywing XRotor 50A	1100
Motor Tarot 5008 340kV	2300
Motor Redcon 5210 320kV	1500
GARTT 6011 130kV	4100
Propeller 22x5.5'' carbon 1 pair	1700
Propeller 18x5.5'' carbon 1 pair	1200
Propeller 22'' plastic fold	480
Tank 10 L	1900
Tank 5 L	2000
RTK-GPS Emile (Pixhawk only)	30000
M8N GPS	1500
Radio+ Receive Fr-Sky QX-7	6000
Radio+ Receive AT9s	3700
Sprayer	400
Telemetry 100 mW	1500
Telemetry RFD900 2W	10000
Pixhawk OEM	8600
Pixhawk Clone	4300
TopXgun starter	17900
TopXgun full set (GPS+Tele+BTW+Radar)	47100

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อุปกรณ์	ราคา (บาท)
แบตเตอรี่ 6S 11000 mAh	4600
แบตเตอรี่ 6S 18000 mAh	5900
BEC 12S	1500
Water pump DC + ชุดควบคุม	1500
Charger+Power Supply	3500
Water pump Brushless+ESC	2400
LiDar TF mini	1450

ราคาโดยประมาณ โดรน 8 ขา ขนาดบรรทุก 10 ลิตร โดยเลือกอุปกรณ์ราคาสูงสุด

Frame plate X8	14900
Motor holder for Large motor x8	8000
Carbon tube 25mm x8	7200
TopXgun full set	47100
Propeller 22x5.5'' carbon 1 pair x 4	6800
ESC FLAME 80A 12S x8	31680
GARTT 6011 130kV x8	32800
Radio+ Receive Fr-Sky QX-7	6000
Sprayer x 4	1600
Tank 10 L	1900
แบตเตอรี่ 6S 18000 mAh x4	23600
BEC 12S	1500
Water pump Brushless+ESC	2400
Charger + Power Supply	3500
โครงสร้าง Landing	3000
Accessory	3000
รวม	**194980**

หมายเหตุ: แบตเตอรี่รวมสำรองสำหรับการบินติดต่อกัน 2 flight

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ราคาโดยประมาณ โดรน 6 ขา ขนาดบรรทุก 5 ลิตร โดยเลือกอุปกรณ์ราคาต่ำสุด

Tarot X6	13900
Pixhawk Clone	4300
Propeller 18x5.5'' carbon 1 pair x 3	3600
ESC Hobbywing XRotor 50A x 6	6600
M8N GPS	1500
Telemetry 100 mW	1500
Motor Redcon 5210 320kV x6	9000
Radio+ Receive AT9s	3700
Sprayer x 4	1600
Tank 5 L	2000
แบตเตอรี่ 6S 11000 mAh x 2	9200
BEC	400
Water pump DC + ชุดควบคุม	1500
Charger + Power Supply	3500
โครงสร้าง Landing	1000
Accessory	2000
รวม	**65300**

หมายเหตุ: แบตเตอรี่รวมสำรองสำหรับการบินติดต่อกัน 2 flight

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบ ผลิต และทดสอบ โดรนสำหรับใช้ในการเกษตร โดยเป็นโดรนสำหรับพ่นสารเคมี ปุ๋ย ฮอร์โมน ในอากาศ ให้กับพืช ได้ทำการผลิตโดรนขนาดบรรทุก 5 ลิตร และ 10 ลิตร ทดสอบระบบควบคุมทั้งแบบบินเอง และ บินอัตโนมัติ โดยทำการทดสอบกับแปลงพืชต่างๆ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

สรุปผล

1) ได้โดรนสำหรับพ่นสาร (Spraying Drone) 2 ตัว คือขนาดบรรทุก 5 ลิตร เป็นโดรน 6 ใบพัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตัวลำ 960 mm บินพ่นสารได้ 5 นาที และ ขนาดบรรทุก 10 ลิตร เป็นโดรน 8 ใบพัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตัวลำ 1600 mm บินพ่นสารได้ 10 นาที

2) กรณีแปลงยกร่องที่มีพืชไม่หนาแน่น สามารถบินพ่นสารได้ 1ไร่ 1ลิตร 1นาที ดังนั้นโดรนขนาด 5 ลิตร จะพ่นสารได้ 5 ไร่ต่อครั้ง ส่วนโดรน 10 ลิตร จะพ่นสารได้ 10 ไร่ต่อครั้ง หลังจากบินเสร็จจะทำการพัก 5 นาที ดังนั้นในกรณีที่เตรียทแบตเตอรี่สำรองไว้เต็มที่ จะสามารถทำงานได้ ชั่วโมงละ 30 ไร่ กรณีน้ำหนักบรรทุก 5 ลิตร และได้ถึงชั่วโมงละ 40 ไร่ สำหรับโดรนขนาดบรรทุก 10 ลิตร กรณีแปลงเกษตรที่มีพืชหนาแน่นอาจใช้เวลา 3 นาทีต่อ 1 ไร่

3) ระบบควบคุม Pixhawk มีราคาถูกกว่า TopXgun มาก แต่ Pixhawk ยังไม่เหมาะกับการบินอัตโนมัติ ดังนั้นหากมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องบินอัตโนมัติ จำเป็นต้องเลือกใช้ TopXgun แต่สำหรับการบินบังคับเอง Pixhawk สามารถทำได้ดีและมีราคาถูกกว่า

ข้อเสนอแนะ

1) โดรนขนาด 10 ลิตร สามารถให้ Yield ต่อชั่วโมง มากกว่าเทียบกับขนาด 5 ลิตรเพียง 1.25 เท่า แต่ราคาแพงกว่า 3-4 เท่า ดังนั้นสามารถใช้ โดรน 5L 2 ตัวทดแทนได้ ซึ่งประหยัดกว่า รวมถึงสะดวกในการขนย้าย และ สำรองแบตเตอรี่

2) โดรนผลิตเองราคาถูกกว่าท้องตลาด 0.5-0.8 เท่า

3) การขยายผลสู่เกษตรกรยังทำได้ยาก เนื่องจากราคาสูง และ ต้องฝึกอบรมการใช้งาน รวมถึงฝึกบังคับ ดังนั้นในช่วงแรกจึงเหมาะกับให้บริการกับเกษตรกรมากกว่า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

Aditya Kotikalpudi, Brian Taylor, Claudia Moreno, Harald Pfifer, and Gary J. Balas (2013). **Aerodynamic Analysis using XFLR-5**. Aerospace Engineering and Mechanics Unive rsity of Minnesota.

Adnan S. Saeed, Ahmad Bani Younes, Shafiqul Islam, Jorge Dias, Lakmal Seneviratne, Guowei Cai. (2015). **A review on the platform design, dynamic modeling and control of hybrid UAVs**. International Conference on Unmanned Aircraft Systems, Colorado, USA.

Ahmet Caner Kahvecioglu. (2014). **Design and Manufacturing of a Quad Tilt Rotor Unmanned Air Vehicle**. M.S. thesis, Middle East Technical University, Turkey.

Andrew Gong, Dries Verstraete (2015). **Extending range and endurance estimates of battery powered electric aircraft**. 16th Australian Aerospace Congress, 23-24 February 2015, Melbourne, Australia.

ANSYS, Inc. (2016). **FLUENT**. [Online]. Available: http://www.ansys.com/Products/Fluids/ANSYS-Fluent. [Accessed 10 July 2016.

Anton Lidb om, Efstratios Kiniklis (2015). **Providence-UAV system to support search and rescue**, M.S. thesis, Department of Signals & Systems Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Aslihan Vuruskan, Burak Yuksek, Ugur Ozdemir, Adil Yukselen, Gokhan Inalhan. (2015). **Dynamic Modeling of a Fixed-Wing VTOL UAV.** International Conference on Unmanned Aircraft Systems Orlando, FL, USA.

ATMega2560. **Key Parameter**. [Online]. Available: http://www.atmel.com/devices/atmega 2560.aspx [Accessed 10 July 2016].

Brian R. Taylor (2011). **AMT-200S Motor Glider Parameter and Performance Estimation**. National Aeronautics and Space Administration, Dryden Flight Research Center.

Cetinsoy E., Dikyar S., Hancer C., Oner K.T., Sirimoglu E., Unel M., Aksit M.F. (2012). **Design and construction of a novel quad tilt-wing UAV**. Mechatronics, Vol. 22, pp. 723-745.

Dennis Trips. (2010). **Aerodynamic Design and Optimization of a Long Range Mini UAV**. M.S. thesis, Delft University of Technology, Netherland

Drela M., and Giles M.B. (1987). **Viscous-Inviscid Analysis of Transonic and Low Reynolds Number Airfoil**. AIAA Journal, Vol. 25, No. 10.

Dries Verstraete, Andrew Gong, Dylan D.-C. Lu, Jennifer L. Palmer. (2014). **Experimental investigation of the role of the battery in the AeroStack hybrid, fuel-cell-based propulsion system for small unmanned aircraft systems**. International Journal of Hydrogen Energy 40 (2015), pp. 1598-1606.

Engin Senelt. (2010). **Design and Manufacturing of a Tactical Unmanned Air Vehicle**. M.S. thesis, Middle East Technical University, Turkey.

Escareno J., Salazar S., and Lozano R. (2006). **Modeling and control of a convertible VTOL aircraft**. 45th IEEE Conference on Decision and Control, California.

Ferderal Aviation Administration. (2015). **Unmanned Aircraft**. [Online]. Available: http://www.faa.gov. [Accessed 10 February 2016].

Firdaus Mohamad, Wirachman Wisnoe, Rizal E. M. Nasi, Khairul Imran Sainan and Norhisyam Jenal (2013). **Yaw Stability Analysis for UiTM's BWB Baseline-II UAV E-4**. Applied Mechanics and Materials, Vol. 393 (2013), pp. 323-328.

Gordon J. Leishman (2006) **Principles of Helicopter Aerodynamics**. 2nd Edition. Cambridge University Press.

Hoerner S. F. (1965). **Fluid Dynamic Drag**. Hoerner Fluid Dynamics. Bakersfield. CA

Introducing the new arcturus jump. **Arcturus UAV**. [Online]. Available: http://www.arcturus-uav.com/aircraft jump.html. [Accessed 10 February 2016].

Joachim Schömann. (2014). **Hybrid-Electric Propulsion Systems for Small Unmanned Aircraft**. Ph.D. thesis, Technical University of Munich, Germany.

John D. Anderson. (2010). **Fundamentals of Aerodynamics**. 5th edition. Singapore. McGraw-Hill Education.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Kristoffer Gryte (2015). **High Angle of Attack Landing of an Unmanned Aerial Vehicle**. M.S. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Norway.

Kyuho Lee. (2004). **Development of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Wildlife Surveillance**. M.S. thesis, University of Florida, USA.

Lance W. Traub. (2011). **Range and Endurance Estimates for Battery-Powered Aircraft**. Journal of Aircraft, Vol. 48, No. 2, March–April 2011.

Lorenz Meier, Dominik Honegger and Marc Pollefeys. ***PX4: A Node-Based Multithreaded Open Source Robotics Framework for Deeply Embedded Platforms****, International Conference on Robotics and Automation.*

Markus Mueller. **eCalc**. [Online]. Available: http://www.ecalc.ch. [Accessed 10 July 2016].

Menno H. and Notteboom C. (2014). **Design and control of an unmanned aerial vehicle for autonomous parcel delivery with transition from vertical take-off to forward flight**. Unpublished master dissertation, KU Leuven, Belgium.

PX4 Autopilot. **Pixhawk Autopilot**. [Online]. Available: https://pixhawk.org/modules/pixhawk. [Accessed 10 July 2016].

Qgroundcontrol. **Overview**. [Online]. Available: http://qgroundcontrol.org. [Accessed 11 July 2016].

Raymer. (2006). **Aircraft Design: A Conceptual Approach**. Fourth Edition. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Roskam J. (1997). **Airplane Design. Part 1. Preliminary Sizing of Airplanes**. Design, Analysis and Research CorporationARcorporation.

Sander Hulsman D. D., Jurjen de Groot. (2013). **Atmos UAV**. Leonardo Times.

Tremblay, O., Dessaint L.A., Dekkiche A.I., **A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles**, Vehicle Power and Propulsion Conference, Arlington, Texas, USA, September 09-12, 2007.

UIUC Aerodynamic group. **UIUC Airfoil Data Site**. [Online]. Available: http://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html. [Accessed 11 July 2016].

Veerman B.Sc. H.C.M. (2012). **Preliminary Multi-Mission UAS Design**. M.S. thesis, Delft

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี