

การทดลองเพื่อพิสูจน์และเปรียบเทียบหลักการอากาศพลศาสตร์ของจรวด
ในสภาวะใกล้เคียงอวกาศเทียบกับสภาวะปกติบนพื้นโลก
(Experiments to measure the Aerodynamics
in the near-space conditions compare to normal ground conditions.)

นายตะวัน ถิ่นถาวรกุล

Email: tawandawei@hotmail.com

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

นายอภิมุข เจนวิถีสุข

Email: apimuk.j@gmail.com

โครงการ Twinning Engineering Program คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

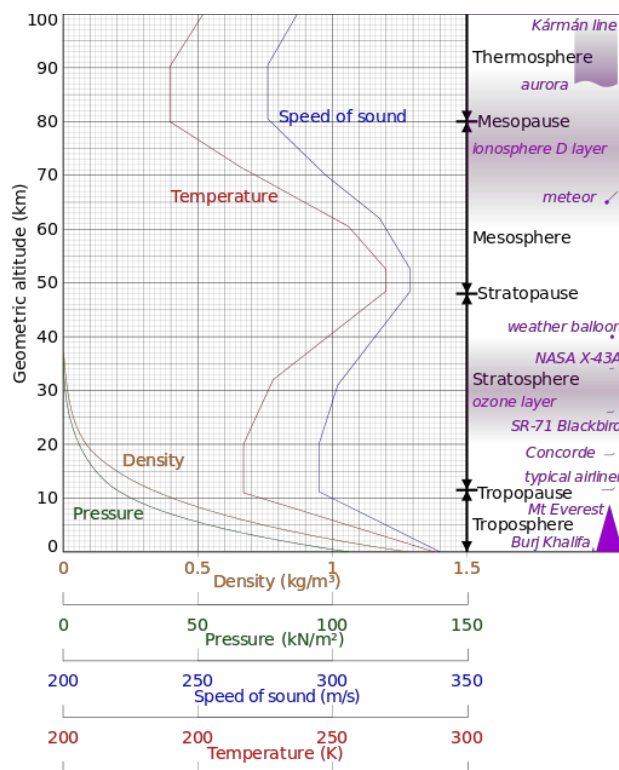
โครงการนี้เป็นการทดลองเพื่อพิสูจน์และเปรียบเทียบหลักการด้านอากาศพลศาสตร์ของจรวดที่เคลื่อนที่ในสภาวะใกล้เคียงอวกาศเทียบกับสภาวะปกติบนพื้นโลก ดำเนินการภายใต้การแข่งขันในโครงการ THASA Contest 2014 จัดโดย สทอภ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยโครงการนี้เกิดขึ้นมาจากแนวคิดของจรวดที่เป็นหนึ่งในพาหนะนำพา/นำส่งอุปกรณ์การทดลองและอุปกรณ์สารสนเทศด้านดาราศาสตร์และอวกาศขึ้นสู่อวกาศ สำหรับการส่งจรวดขึ้นสู่อวกาศจากภาคพื้นดินต้องเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศที่มีความหนาแน่นของอากาศอยู่ ส่งผลให้ต้องใช้เชื้อเพลิงมากขึ้นในการขับเคลื่อนจรวดให้ไปถึงที่หมาย โครงการนี้จึงมีความสนใจที่จะเสนอและพิสูจน์แนวคิดทางอากาศพลศาสตร์ของการปล่อยจรวดบนบอลลูนใกล้อวกาศ ภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศต่ำกว่าบนพื้นโลกใกล้เคียงสูญญากาศ โดยมีสมมุติฐานว่า จรวดสามารถเคลื่อนที่ไปได้สูงมากยิ่งขึ้นเมื่อเทียบจากการปล่อยบนพื้นโลก อันเนื่องมาจากแรงต้านอากาศที่น้อยกว่า ในโครงการนี้ได้แบ่งการดำเนินการออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นที่ 1 ศึกษาและวิเคราะห์สภาวะการปล่อยด้วย Free body diagram การเคลื่อนที่ของจรวดในแนวตั้ง และคำนวณด้วยโปรแกรม Matlab ชั้นที่ 2 คัดเลือก ออกแบบ และประดิษฐ์อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทดลองในโครงการ ประกอบไปด้วย 2.1.การคัดเลือกจรวด ได้พิจารณาความเหมาะสมจากมวล ขนาด และ รูปทรงจรวดให้มีความเสถียรต่อการเคลื่อนที่บนพื้นโลก จรวดในงานวิจัยนี้ได้ขับเคลื่อนด้วยเชื้อเพลิงแข็ง 2.2.การออกแบบฐานปล่อยบอลลูน ได้พิจารณาจากหลักการเชิงสมดุลของการเคลื่อนที่ของบอลลูนในบรรยากาศสูงมาร่วมการออกแบบให้มีความเสถียรในสภาวะบรรยากาศสูง รวมทั้งการคัดเลือกวัสดุที่เบาและเหมาะสมต่อการใช้งานในสภาวะบรรยากาศสูง 2.3.คัดเลือกและทดสอบตัวจรวดระเบิด ตัวจรวดระเบิดในโครงการนี้ได้เลือกใช้ชนิดจรวดระเบิดด้วยไฟฟ้า โดยวิเคราะห์ถึงกำลังไฟฟ้าที่สามารถจุดติดเชื้อเพลิงแข็งได้ทั้งสภาวะบนพื้นโลกและใกล้อวกาศ 2.4.คัดเลือกอุปกรณ์เก็บข้อมูล อุปกรณ์เก็บข้อมูลที่ใช้ในโครงการนี้สามารถวัดความสูงและบันทึกพิกัด GPS ได้และส่งข้อมูลด้วยสัญญาณวิทยุแบบตลอดเวลา (Real time) ผู้รับสัญญาณภาคพื้นดิน โดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะนำติดตั้งกับบอลลูนของโครงการฯ โดยจำกัดมวลทั้งหมดไม่เกิน 1 กก ตามเงื่อนไขของบอลลูนในการแข่งขัน ชั้นที่ 3 ทดลองวัดความสูงที่จรวดทำได้และเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในสองสภาวะ 1.ปล่อยจากบนพื้นโลก 2.ปล่อยจากฐานบนบอลลูนที่ความสูง 30 กม เหนือระดับน้ำทะเล โดยทำการวัดผลความสูงในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อเป็นการลดตัวแปรความคลาดเคลื่อนของการเปลี่ยนสภาวะอากาศโลกในแต่ละช่วงเวลา สำหรับผลการดำเนินการ พบว่า ในภาคการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีนั้น จรวดที่ปล่อยจากฐานปล่อยบนบอลลูนใกล้อวกาศ สามารถขึ้นไปได้สูงกว่าการปล่อยจากพื้นโลกเมื่อเทียบ

ความสูงที่ได้จากจุดปล่อย สำหรับการดำเนินการต่อไปนั้น จะเป็นการทดสอบยิงจริงเพื่อเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของจรวด และนำมาวิเคราะห์ต่อไป คาดการณ์ว่าจะให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและได้ข้อมูลลักษณะการเคลื่อนที่ที่อยู่นอกเหนือจากการวิเคราะห์ภาคทฤษฎี อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาลักษณะการบินของจรวดภายใต้สภาวะใกล้อวกาศและต่อการพัฒนาโครงการนี้ ให้สามารถใช้งานได้จริงต่อไป

คำสำคัญ: อากาศพลศาสตร์ของจรวด บอลลูนใกล้อวกาศ(บอลลูนบรรยากาศสูง) สภาวะบรรยากาศสูง

บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาโครงการด้านอวกาศต่างๆ ได้แพร่หลายไปในหลายภาคส่วน เช่น ดาวเทียม อุปกรณ์การวิจัยด้านดาราศาสตร์และอวกาศ หุ่นยนต์ปฏิบัติการในอวกาศ ฯลฯ การขนส่งวัตถุขึ้นสู่อวกาศจึงมีความจำเป็นมากขึ้นตามกระแสการเติบโตด้านอวกาศ การขนส่งอุปกรณ์ขึ้นสู่อวกาศมีหลากหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นใช้เครื่องบิน จรวด บอลลูนหรือรูปแบบอื่นๆ แนวโน้มการเติบโตของระบบขนส่งด้านอวกาศในปัจจุบันมีการมุ่งเน้นไปที่ความประหยัดและความคุ้มค่า โดยทั่วไปจรวดมีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นพาหนะนำส่งอุปกรณ์ขึ้นสู่อวกาศและได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมาตั้งแต่อุตสาหกรรมด้านอวกาศเริ่มกำเนิดขึ้น สำหรับการส่งจรวดขึ้นสู่อวกาศจากภาคพื้นดินต้องเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศที่มีความหนาแน่นของอากาศอยู่ (ดังแสดงในรูป 1) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากในช่วงที่เคลื่อนที่ขึ้นจากพื้นโลก



รูป 1 กราฟแสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศในแต่ละช่วงความสูง (1962 US Standard Atmosphere)

หนึ่งในแนวคิดของการประหยัดเชื้อเพลิงสำหรับขนส่งอุปกรณ์ขึ้นสู่อวกาศ คือการปล่อยจรวดจากชั้นบรรยากาศสูง ที่ความสูงประมาณ 20-40 กิโลเมตรจากระดับน้ำทะเล (ดังแสดงในรูป 1) โดยมีสภาวะใกล้เคียงกับอวกาศ การขนส่งจรวดขึ้นไปปล่อยที่ชั้นบรรยากาศสูงในปัจจุบันได้ใช้เครื่องบินบรรทุกขึ้นไป (ดังแสดงในรูป 2) แนวคิดนี้เครื่องบินได้ใช้แรงยกของอากาศจากปีกเครื่องบินพาให้บินขึ้นไปสูงที่มากได้ จึงเป็นการประหยัดพลังงานไปได้หลายส่วนหาก

เทียบกับการปล่อยจรวดจากภาคพื้น เทคนิคนี้ได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการขนส่งทางอวกาศ เช่น “จรวด Pegasus” เป็นการใช้เครื่องบินบรรทุกจรวดนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่ความสูงประมาณ 25 กิโลเมตร จากนั้นทำการยิงจรวดนำส่งดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรต่อไป นอกจากนี้ยังมีโครงการใหม่ด้านอวกาศ “XCOR Lynx” เป็นการใช้อากาศยานมีปีกสำหรับขนส่งมนุษย์และอุปกรณ์ต่างๆ ขึ้นสู่อวกาศที่ความสูงประมาณ 100 กิโลเมตร และโครงการอื่นๆ อีกมากมาย จากโครงการต่างๆ ที่เริ่มก่อตั้งขึ้นนั้น จะเห็นได้ว่าแนวคิดนี้กำลังเป็นประเด็นที่สำคัญมากต่อการพัฒนาเทคโนโลยีการขนส่งด้านอวกาศ

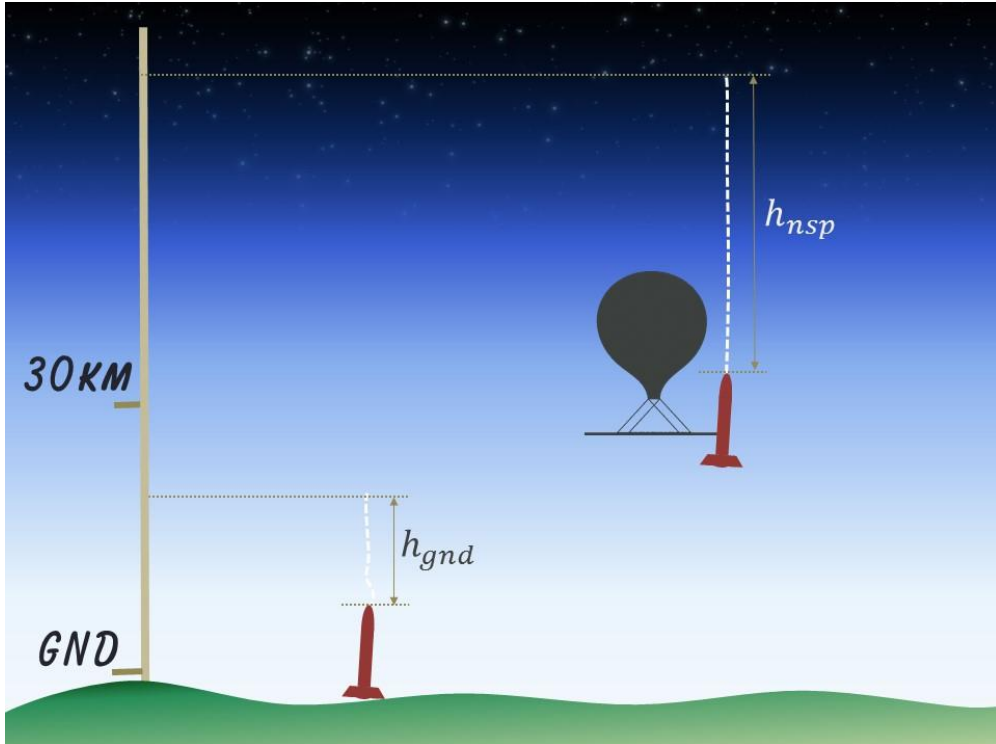


รูป 2 การยิงจรวดอวกาศจากเครื่องบินทางทหารที่ขึ้นบรรยากาศสูงจากภาคพื้นดิน 25 กิโลเมตร

สำหรับโครงการเรื่องนี้เป็นการศึกษาวิจัยและเสนอแนวคิดการปล่อยจรวดนำส่งอุปกรณ์สารสนเทศด้านดาราศาสตร์และอวกาศขนาดเล็กขึ้นสู่อวกาศโดยใช้บอลลูนบรรยากาศสูง โครงการนี้เริ่มดำเนินการภายใต้การแข่งขันในโครงการ THASA Contest 2014 จัดโดย สทอภ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยทางโครงการฯ ได้สนับสนุนบอลลูนบรรยากาศสูงสำหรับทดลองและวิจัยในช่วงการแข่งขัน สำหรับบอลลูนบรรยากาศสูงนั้นเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับขนส่งจรวดบรรทุกสัมภาระขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศสูงได้ในต้นทุนต่ำ ทางคณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจเริ่มต้นการวิจัยแนวคิดทางอากาศพลศาสตร์ของการยิงจรวดภายใต้สภาวะใกล้อวกาศจากบอลลูนใกล้อวกาศเทียบกับสภาวะบนโลก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเก็บข้อมูลเชิงการเคลื่อนที่ของจรวดสำหรับใช้เป็นกรณีศึกษาเริ่มต้นและวิเคราะห์ทิศทางสำหรับการพัฒนาต่อยอดแนวคิดโครงการส่งจรวดขึ้นสู่อวกาศจากรูปร่างปล่อยบนบอลลูนบรรยากาศสูง โดยมีสมมุติฐานว่าจรวดสามารถเคลื่อนที่ไปได้สูงมากยิ่งขึ้นเมื่อเทียบจากการปล่อยบนพื้นโลก อันเนื่องมาจากแรงต้านอากาศที่น้อยกว่า การดำเนินการโครงการนี้มุ่งสู่การเป็นจุดเริ่มต้นของโครงการพัฒนาระบบขนส่งจรวดขึ้นสู่อวกาศในงบประมาณต่ำต่อไปในอนาคตอันใกล้

วิธีการศึกษา

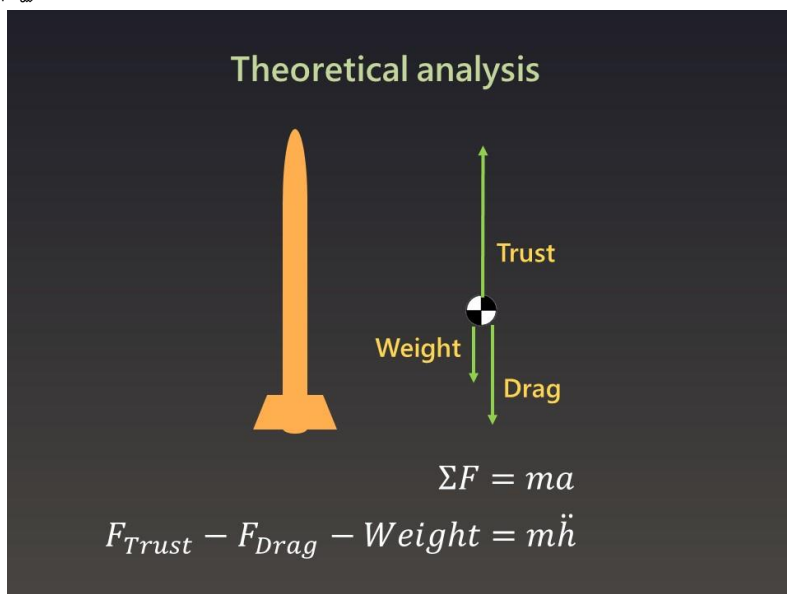
สำหรับโครงการนี้จะทำการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของจรวดในสองสภาวะ ได้แก่ สภาวะบนพื้นโลก และ สภาวะบนบอลลูนใกล้อวกาศตามวัตถุประสงค์ของโครงการ ดังแสดงในรูป 3 และได้แบ่งการดำเนินการออกเป็นสาม ขั้นตอนหลัก ดังต่อไปนี้



รูป 3 แสดงการทดลองยิงจรวดจากบนพื้นโลกเทียบกับบนบอลลูนที่ความสูง 30 กิโลเมตร

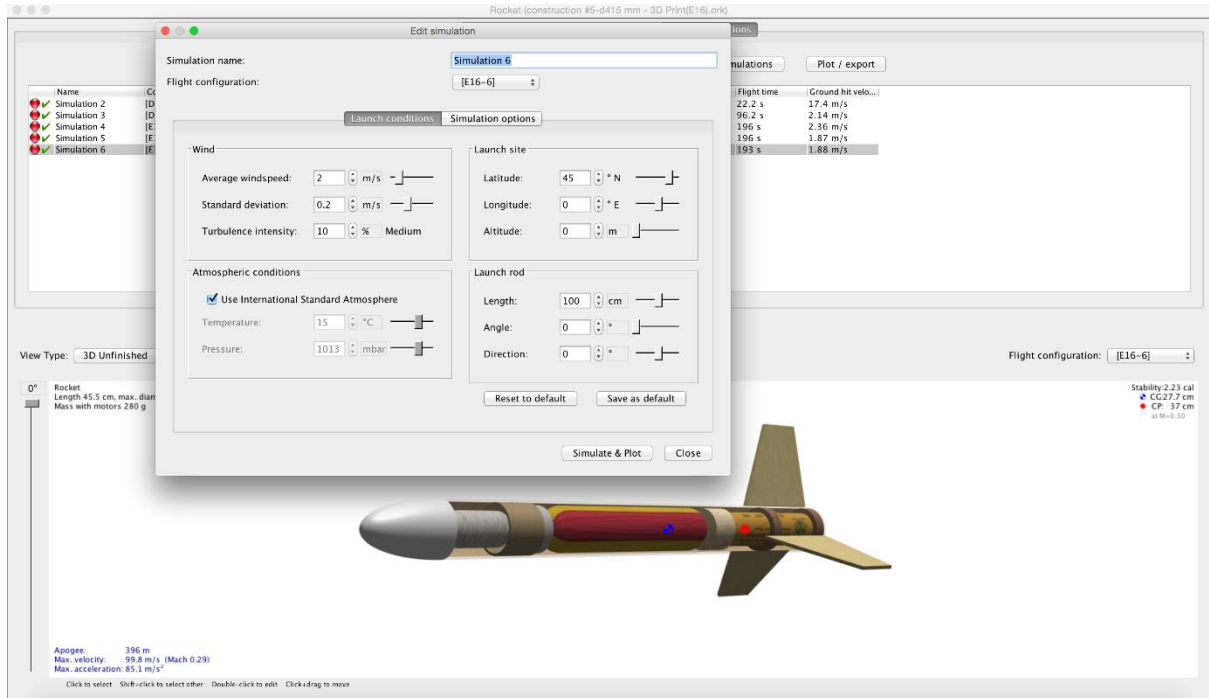
ขั้นที่ 1 การศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนที่ของจรวดในสภาวะใกล้เคียงอวกาศเทียบกับสภาวะบนพื้นโลก

ในส่วนแรกเป็นการใช้ Free body diagram วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของจรวดในแนวแกนตั้ง ดังแสดงในรูป 4 เพื่อพิสูจน์สมมุติฐานและหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องของอย่างง่ายของการเคลื่อนที่ของจรวดในสองสภาวะที่ต่างกัน



รูป 4 แสดง Free body diagram การเคลื่อนที่ของจรวดอย่างง่ายในแนวแกนตั้ง

นอกจากนี้ ได้ใช้การ Simulation การบินของจรวดด้วยโปรแกรม OpenRocket ดังแสดงในรูป 5 เข้ามาวิเคราะห์หาความสูงและลักษณะการบินที่จรวดทำได้ในสองสภาวะที่ต่างกันนี้ด้วย เพื่อใช้วิเคราะห์ความเป็นไปได้ของแนวคิดในเชิงทฤษฎี รวมถึงแนวโน้มของการเคลื่อนที่จรวดในมุมมองที่ละเอียดมากกว่าการวิเคราะห์อย่างง่ายด้วย Free body diagram แนวแกนตั้ง



รูป 5 แสดงการตั้งค่าการ Simulation สภาวะต่างๆ ของการเคลื่อนที่ของจรวดด้วยโปรแกรม OpenRocket

ขั้นที่ 2 คัดเลือก ออกแบบ และประดิษฐ์อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทดลองในโครงการ ประกอบไปด้วย

- 2.1 การคัดเลือกจรวด ได้พิจารณาความเหมาะสมจากมวล ขนาด และ รูปทรงจรวดให้มีความเสถียรต่อการเคลื่อนที่บนพื้นโลก โดยใช้การอ้างอิงการออกแบบจรวดจากตำราการออกแบบจรวดร่วมกับการใช้โปรแกรม OpenRocket และมีการคัดเลือกเชื้อเพลิงจรวดให้มีความเหมาะสมต่อการทดลองในโครงการนี้
- 2.2 การออกแบบฐานปล่อยบอลลูน ได้พิจารณาจากหลักการเชิงสมดุลของการเคลื่อนที่ของบอลลูนในบรรยากาศสูงมาร่วมการออกแบบให้มีความเสถียรในสภาวะบรรยากาศสูง รวมทั้งการคัดเลือกวัสดุที่เบา และเหมาะสมต่อการใช้งานในสภาวะบรรยากาศสูง
- 2.3 เตรียมและทดสอบตัวจุดระเบิด ตัวจุดระเบิดในโครงการนี้ได้เลือกใช้ชนิดจุดระเบิดด้วยไฟฟ้า โดยจะทำการเลือกค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถจุดติดเชื้อเพลิงแข็งได้ทั้งสภาวะบนพื้นโลกและใกล้อวกาศ
- 2.4 เตรียมอุปกรณ์เก็บข้อมูล อุปกรณ์เก็บข้อมูลที่ใช้ในโครงการนี้สามารถวัดความสูงและบันทึกพิกัด GPS ได้ และส่งข้อมูลด้วยสัญญาณวิทยุแบบตลอดเวลา (Real time) สู่ตัวรับสัญญาณภาคพื้นดิน โดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะนำติดตั้งกับบอลลูนของโครงการฯ โดยจำกัดมวลทั้งหมดไม่เกิน 1 กก ตามเงื่อนไขของบอลลูนในการแข่งขัน

ขั้นที่ 3 ทดลองวัดความสูงที่จรวดทำได้และเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในสองสภาวะ

1. ปล่อยจากบนพื้นโลก
2. ปล่อยจากฐานบนบอลลูนที่ความสูง 30 กม เหนือระดับน้ำทะเล

การวัดผลความสูงจะทำการวัดในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน เพื่อเป็นการลดตัวแปรความคลาดเคลื่อนของการเปลี่ยนสภาวะอากาศโลกในแต่ละช่วงเวลา จากนั้นทำการเก็บค่าผลการทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป

ผลการศึกษา

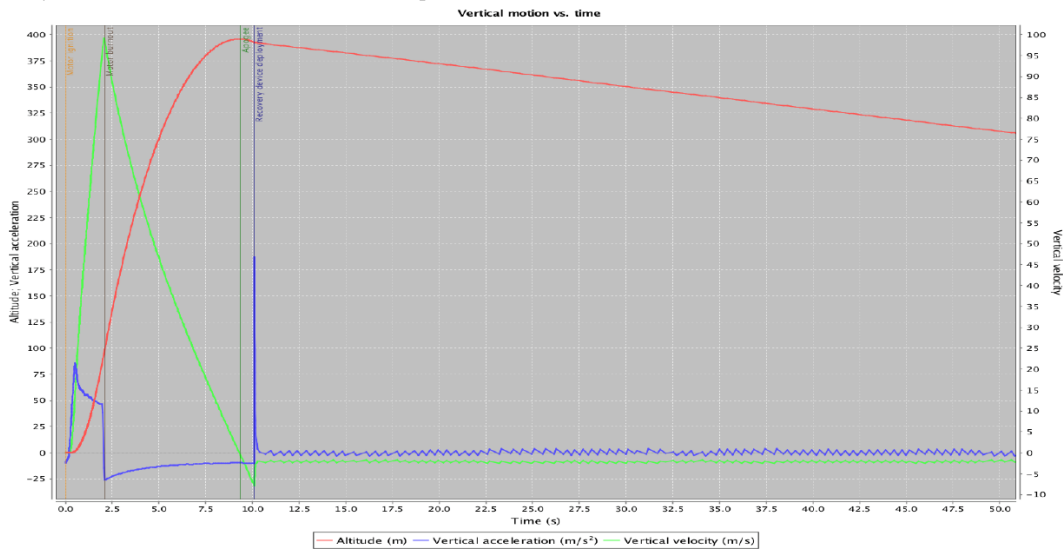
ผลการดำเนินงานขั้นที่ 1 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนที่ของจรวดในสภาวะใกล้เคียงอวกาศเทียบกับสภาวะบนพื้นโลก

ในส่วนของการใช้ Free body diagram วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของจรวดในแนวแกนตั้ง ได้ชี้ให้เห็นว่ามีตัวแปรหลัก 2 ตัวแปร (ภายใต้ข้อบ่งชี้ของวัตถุประสงค์โครงการ) เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของจรวดในสภาวะที่ต่างกัน ได้แก่ ความหนาแน่นของอากาศและแรงโน้มถ่วงของโลก โดยความหนาแน่นของอากาศนั้นมีผลอย่างมากต่อการเคลื่อนที่ของจรวด สังเกตได้จากการแปรผกผันเป็นกำลังสองของแรงต้านอากาศดังแสดงในสมการที่ 1 และแรงโน้มถ่วงโลกนั้นมีผลน้อยมากต่อการเคลื่อนที่ของจรวดดังแสดงในสมการที่ 2

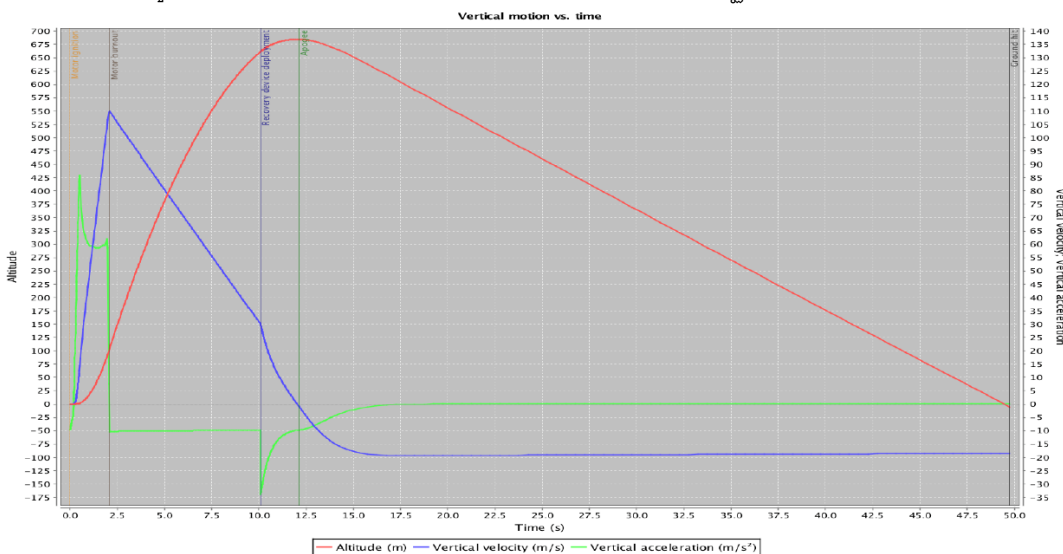
$$F_{drag} = \frac{1}{2} \rho C_D A h^2 \quad \dots(1)$$

$$g_h = g_0 \left(\frac{R_{earth}}{R_{earth} + h} \right)^2 \quad \dots(2)$$

นอกจากนี้ ผลการ Simulation การบินของจรวดด้วยโปรแกรม OpenRocket นั้นเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ นั่นคือการเคลื่อนที่ของจรวดภายใต้สภาวะบรรยากาศสูงสามารถไปได้สูงกว่าการปล่อยจรวดบนภาคพื้นดินหากเทียบจากจุดปล่อยเกือบเท่าตัว ดังแสดงในกราฟรูป 6 และ 7



รูป 6 กราฟแสดงค่าทางการเคลื่อนที่ของจรวดที่ปล่อยจากฐานบนภาคพื้นดิน



รูป 7 กราฟแสดงค่าทางการเคลื่อนที่ของจรวดที่ปล่อยจากฐานบนบอลูนบรรยากาศสูงที่มีความสูง 30 กิโลเมตร

สำหรับการดำเนินงานในขั้นที่ 2 และ 3 ณ ขณะนี้ (14 ธันวาคม 2557) กำลังอยู่ในระหว่างการดำเนินงาน

สรุปผลการศึกษา

สำหรับผลการดำเนินการ พบว่า ในภาคการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีนั้น จรวดที่ปล่อยจากฐานปล่อยบนบอลลูนใกล้อวกาศ สามารถขึ้นไปได้สูงกว่าการปล่อยจากพื้นโลกเมื่อเทียบความสูงที่ทำได้จากจุดปล่อย เนื่องจากปัจจัยด้านแรงต้านอากาศที่เกี่ยวข้องต่อการเคลื่อนที่ของจรวดเป็นหลัก

สำหรับการดำเนินการต่อไปนั้น จะเป็นการทดสอบยิงจรวดจริงเพื่อเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของจรวดและนำมาวิเคราะห์ต่อไป คาดการณ์ว่าจะให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและได้ข้อมูลลักษณะการเคลื่อนที่ที่อยู่นอกเหนือจากการวิเคราะห์ภาคทฤษฎี อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาลักษณะการบินของจรวดภายใต้สภาวะใกล้อวกาศและต่อการพัฒนาโครงการนี้ให้สามารถใช้งานได้จริงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.สวัสดิ์ ตันติพันธุ์ดี อดีตรองอธิการบดี NASA และที่ปรึกษาการบริหารจัดการการวิจัย สวทช. สำหรับการให้คำปรึกษาและแนะนำทิศทางการดำเนินการของโครงการ จนสามารถผ่านเข้ารอบโครงการ THASA และดำเนินงานต่อไป

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อรรณพ เรืองวิเศษ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มจร. สำหรับการให้คำปรึกษาด้านการดำเนินการโครงการ ตลอดจนสนับสนุนการจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับโครงการทดลองจริง

ขอขอบคุณ น.อ.สุภากร เกิดแก้ว สำหรับการสนับสนุนด้านการดำเนินการของโครงการในหลายๆ ด้าน ตลอดจนให้การสนับสนุนอุปกรณ์การประดิษฐ์จรวด

ขอขอบคุณ สทอภ.(GISTDA) ที่ได้จัดโครงการ THASA ขึ้นในปีแรก ทำให้ผู้จัดทำโครงการมีโอกาสในการพัฒนางานให้สามารถเกิดขึ้นได้จริงได้

ขอขอบคุณทีมงาน TSR สำหรับการให้การสนับสนุนด้านวงจรถอดสัญญาณเก็บข้อมูลผลการทดลอง ตลอดจนความราบรื่นในการลงมือพัฒนาชิ้นงานจริง

ขอบคุณ อาจารย์ทุกท่าน เพื่อนพี่น้องทุกท่าน และครอบครัวของผู้จัดทำโครงการ ตลอดจนทุกภาคส่วนที่ให้การสนับสนุนการดำเนินโครงการนี้ได้

เอกสารอ้างอิง

G. Harry. Stine. Bill Stine, Handbook of model rocketry, George W. Stine., 7th Edition, Follett Publishing company, Chicago, USA, 2004.

Martin J. L. Turner, *Rocket and Spacecraft Propulsion, Principles, Practice and New Developments*, 2nd Edition, Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK.

Travis S. Talor, *Introduction to Rocket Science and Technology*, Talor & Francis Group, Boca Raton, Florida, 2009.