

การออกแบบจรวดประดิษฐ์ โดยใช้ดินขับเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลเป็นระบบขับเคลื่อน

ไพศาล อภินพพัฒน์^{1*}

วันที่รับ 7 สิงหาคม 2562 วันที่แก้ไข 16 ตุลาคม 2562 วันที่ตอบรับ 18 ตุลาคม 2561

บทคัดย่อ

จรวดประดิษฐ์เป็นจรวดขนาดเล็กสามารถสร้างขึ้นเองได้ง่ายโดยใช้วัสดุประเภทกระดาษ พลาสติก จรวดดังกล่าวใช้เชื้อเพลิงแข็งชนิดคอมโพสิตเป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนจรวด การทำงานของจรวดประดิษฐ์จะเคลื่อนที่ในทิศทางขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยออกจากฐานยิงในแนวตั้งและมีระบบนำกลับตัวจรวดที่ยิงขึ้นไปให้หล่นกลับมาสู่พื้นดินอย่างปลอดภัย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบจรวดประดิษฐ์โดยใช้เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลทดแทนเชื้อเพลิงแข็งชนิดคอมโพสิตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 80 มิลลิเมตร โดยใช้วัสดุเป็นท่อกระดาษแข็งหัวจรวดทำจากโฟมโพลียูรีเทน ครัวหางจรวดทำจากไม้บัลซ่า ระบบขับเคลื่อนเป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกกลวงจำนวน 3 ท่อน น้ำหนักรวม 0.204 กิโลกรัม ดินขับนี้มีระยะเวลาการเผาไหม้ประมาณ 0.8 วินาที แรงขับสูงสุด 518 นิวตัน ค่าแรงดลรวม 254 นิวตันวินาที น้ำหนักจรวดรวมทั้งหมด 1.7 กิโลกรัม จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Open Rocket พบว่าที่มุมยิง 85 องศา จรวดดังกล่าวสามารถยิงไปได้สูงถึง 613 เมตร ระยะเวลาที่จรวดขึ้นไปถึงจุดสูงสุด 11.06 วินาที เมื่อทำการทดสอบจรวดจำนวน 30 นัด พบว่าจรวดสามารถยิงขึ้นไปได้สูงเฉลี่ย 506 เมตร ซึ่งคิดเป็น 83% ของความสูงจากการคำนวณ

คำสำคัญ : จรวดประดิษฐ์, เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล, ระบบขับเคลื่อน, โปรแกรม Open Rocket

¹ ฝ่ายวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ อาคารสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม (แจ้งวัฒนะ) ถนนพหลโยธิน 11120

* ผู้แต่ง, อีเมล: paisan.a@dti.or.th โทรศัพท์: 02 980 6199-207 ต่อ 2335 โทรสาร: 0 2980 6198

Designing a Model Rocket Using Sugar Propellant for Propulsion

Paisan Apinhapat^{1*}

Abstract

A model rocket is a small rocket that can be made with paper or plastic as material. Composite propellant in rocket motor is used as a source of energy to launch the rocket. The model rocket is launched in a vertical direction. A recovery system is launched from the rocket to safely fall down. The objective of this paper is designing the model rocket using sugar propellant instead of composite propellant to find out the rocket apogee compared with Open Rocket Program modeling. The rocket body is made from paper with 80 mm. diameter. Head is made from polyurethane foam. Fins are made from balsa wood. Sugar propellant in form of circular perforated propellant grain, 0.204 kg. weight, is used in the rocket motor. The propellant burning time is 0.8 seconds with maximum thrust 518 N. and total impulse 254 Ns. The total weight of the model rocket is 1.7 kg. The open Rocket program is used to calculate apogee flight and time. It was found that the apogee flight and time at 85 degree were 613 meters and 11.06 seconds. After dynamic test of the 30 model rockets, it was found that the average apogee flight was 506 meters or 83% of calculation.

Keywords : model rocket, sugar solid propellant, propulsion, Open Rocket Program

¹ Research and Development Department, Defence Technology Institute, Nonthaburi 11120.

* Corresponding Author, E-mail: paisan.a@dti.or.th, Tel: 02 980 6199-207 ext.2335, Fax: 02 980 6198

1. บทนำ

จรวดประดิษฐ์เป็นจรวดขนาดเล็กมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการฝึกยิง หรือใช้ในการเรียนการสอนกิจกรรมการสร้างจรวดและยิงจรวด เพื่อให้ทราบและเข้าใจถึงหลักการทำงานของจรวดการทำให้จรวดสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้นั้นอาจใช้ระบบแรงดันอากาศ ซึ่งมักเรียกว่าจรวดขวดน้ำ หรือใช้ระบบขับเคลื่อนเชื้อเพลิงแข็งเป็นแหล่งพลังงานเรียกว่าจรวดเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงแข็งจะบรรจุอยู่ในท่อบรรจุเรียกว่ามอเตอร์จรวด จรวดประดิษฐ์จะถูกจุดและเคลื่อนที่ขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยออกจากฐานยิงในแนวตั้ง จรวดประดิษฐ์เป็นจรวดที่ออกแบบไว้สำหรับการยิงให้ขึ้นไปถึงความสูงไม่มากโดยมีความสูงอยู่ในช่วงประมาณ 100–500 เมตรขึ้นอยู่กับขนาดของเชื้อเพลิงแข็งในมอเตอร์จรวดและน้ำหนักจรวด จรวดประดิษฐ์นี้สามารถนำตัวจรวดที่ยิงขึ้นไปกลับมาสู่พื้นดินด้วยระบบนำกลับ ซึ่งสามารถออกแบบได้หลายวิธี

ขั้นตอนการทำงานของจรวดประดิษฐ์

1. จรวดถูกจุดด้วยระบบไฟฟ้าและจุดดินขับในมอเตอร์จรวดทำให้เกิดเผาไหม้และให้แรงขับและความดัน เกิดการขับเคลื่อนยกตัวจรวดขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยมีควันออกจากท้ายจรวด

2. จรวดถูกเร่งความเร็วให้พุ่งสูงขึ้น ดินขับในมอเตอร์จรวดยังเกิดการเผาไหม้ให้แรงขับและความดันอย่างต่อเนื่อง สังเกตได้จากควันจากการเผาไหม้ดินขับที่ยังออกจากท้ายจรวด ยังคงมีแรงให้จรวดขับเคลื่อนพุ่งสูงขึ้นท้องฟ้าอย่างต่อเนื่อง

3. เชื้อเพลิงจรวดถูกเผาไหม้หมดทำให้ไม่มีแรงขับและความดันจากมอเตอร์จรวด แต่จรวดยังคงพุ่งขึ้นด้านแรงโน้มถ่วงของโลก สังเกตได้จากควันจากท้ายจรวดหมดไป

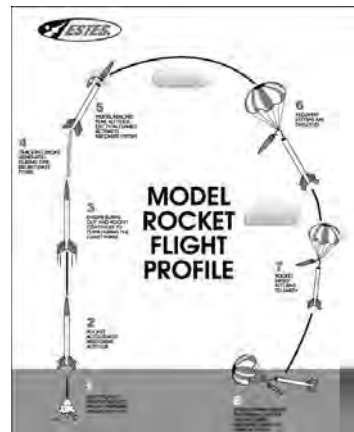
4. มีการเกิดควันอันเนื่องจากการเผาไหม้ของดินขับช่วงเวลา เมื่อดินขับเผาไหม้หมดจะมีส่วนหนึ่งที่ติดกับดินขับช่วงเวลาทำให้ดินขับช่วงเวลาเกิดการเผาไหม้ต่อไป และมีควันจากการเผาไหม้เกิดขึ้นพอมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ไม่มากเท่าดินขับในมอเตอร์จรวด

5. จรวดขึ้นไปจุดสูงสุด ดินขับปะทุทำงานดันระบบร่มออกจากจรวด เป็นช่วงเวลาที่ดินขับหน่วงเวลาไปเผาไหม้ดินขับปะทุ ซึ่งอยู่ติดกัน ช่วงเวลานี้ต้องคำนวณปริมาณดินขับหน่วงเวลาให้เหมาะสมกับเวลาที่จรวดจะขึ้นไปจุดที่สูงที่สุด ไม่เช่นนั้นดินขับปะทุจะทำงานก่อนหรือหลังจากที่จรวดขึ้นไปจุดสูงสุดแล้ว

6. ระบบนำกลับด้วยร่มทำงานเมื่อดินขับปะทุทำงานแล้ว ระบบร่มจะถูกดันออกมาและทำหน้าที่ในการหน่วงความเร็วของตัวจรวดทั้งหมดให้ตกลงสู่พื้นอย่างช้าๆ

7. จรวดหล่นกลับสู่พื้นด้วยความเร็วต่ำ ระบบร่มที่ทำงานได้ปกติจะช่วยให้จรวดหล่นกลับสู่พื้นอย่างช้าๆ

8. ส่วนประกอบภายนอกของจรวดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เมื่อส่วนประกอบของตัวจรวดหล่นสู่พื้นอย่างช้าๆ ชิ้นส่วนทั้งหมดจึงอยู่ในสภาพดี สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้



รูปที่ 1 รูปแสดงการทำงานของจรวดประดิษฐ์ [1]

ชิ้นส่วนจรวดประดิษฐ์ควรสร้างจากวัสดุที่มีอันตรายน้อย เช่น การใช้ท่อกระดาษ แผ่นพลาสติก ไม้บัลซ่า และมอเตอร์จรวดควรมาจากโรงงานที่ได้มาตรฐานและมีการรับรองคุณภาพ ควรมีระบบร่มชูชีพในจรวดเพื่อใช้เป็นระบบในการนำตัวจรวดกลับมาสู่พื้นดินอย่างปลอดภัย และอาจนำจรวดนั้นกลับมาใช้ใหม่ได้ ผู้ทำจรวดไม่มีความจำเป็นต้องทำการผสมหรือสร้างดินขับจรวด ซึ่งเป็นวัตถุระเบิด

ด้วยตัวเองหากสามารถหาซื้อดินขับได้ ประเทศสหรัฐอเมริกาชุดมอเตอร์จรวดและชุดประกอบจรวดสามารถหาซื้อได้ทั่วไปในร้านขายของเล่นชุดประกอบจรวดเหล่านี้มีหลายขนาดเพื่อให้เหมาะกับช่วงอายุของผู้สร้างและให้เกิดความท้าทายที่แตกต่างกัน แต่สำหรับประเทศไทยยังถือว่าเป็นยุทธภัณฑ์ที่ไม่สามารถจำหน่ายทั่วไปได้ ขนาดของมอเตอร์ซึ่งมีการกำหนดโดยสมาคมจรวดประติษฐ์แห่งสหรัฐอเมริกา, National Association of Rocketry (NAR) [2] จะเริ่มจากขนาด 1/4A ซึ่งเป็นขนาดที่เล็กที่สุดจนถึงขนาด G ซึ่งเป็นขนาดที่ใหญ่ที่สุด แต่หากขนาดมากกว่านี้จะไม่เรียกว่าจรวดประติษฐ์ แต่จะเรียกว่าจรวดพลังสูง (High Power Rocket)

ข้อกำหนดของจรวดประติษฐ์สำหรับใช้ในการดำเนินการครั้งนี้คือ การสร้างจรวดเพื่อใช้ในกิจกรรมค่ายวิทย์จรวดประติษฐ์ปี 2562 กิจกรรมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เข้าร่วมกิจกรรมได้เรียนรู้หลักการทางอากาศยานศาสตร์ของจรวด ได้เรียนรู้เรื่องของระบบขับเคลื่อนของจรวด ได้ออกแบบและทดลองสร้างจรวดและยิงจรวดกำหนดให้จรวดทำจากท่อกระดาษ ระบบขับเคลื่อนในมอเตอร์จรวดเป็นเชื้อเพลิงแข็ง จรวดต้องสามารถยิงขึ้นไปในแนวตั้งโดยมีความสูงมากกว่า 400 เมตร และมีการปล่อยร่มชูชีพเพื่อนำตัวจรวดกลับมาสู่พื้นอย่างปลอดภัย ดินขับที่นำมาใช้แต่เดิมเป็นดินขับที่พัฒนาโดยสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ หรือ สทป. เรียกว่าดินขับชนิดคอมโพสิต ซึ่งนับเป็นยุทธภัณฑ์หรือวัตถุระเบิดแบบหนึ่งเมื่อทางคณะผู้บริหารได้มีการศึกษาดูงานที่ประเทศญี่ปุ่นและเห็นว่าการสร้างจรวดขนาดเล็กที่เรียกว่า Candy Rocket ซึ่งเป็นจรวดที่ใช้น้ำตาลเป็นส่วนผสมของดินขับมีไว้สำหรับสอนเยาวชนรอบๆ พื้นที่ จึงได้ให้นโยบายการทำดินขับเชื้อเพลิงแข็งที่ทำจากน้ำตาล ในการนี้จึงได้มีการออกแบบจรวดเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนด จากข้อกำหนดข้างต้นระบบขับเคลื่อนที่ออกแบบจึงใช้เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลเป็นรูปทรงกระบอกกลวง [3] ทำการจุดด้วยระบบจุดไฟฟ้า โดยมีตัวจุดจรวด (igniter) เป็นสารไพโรเทคนิคจำนวนหนึ่งเป็นตัวจุดนำ ระบบปล่อยร่มชูชีพประกอบด้วยตัวหน่วงเวลาสามารถหน่วงเวลาหลังจากที่เริ่มมีการเผาไหม้ของดินขับได้ประมาณ 10 วินาที

ซึ่งเป็นเวลาที่จรวดได้ขึ้นไปถึงจุดสูงสุดแล้ว จากนั้นดินขับที่ทำหน้าที่เป็นตัวจุดระเบิดเพื่อดันให้ระบบร่มชูชีพทำงานและนำตัวจรวดทั้งหมดกลับลงสู่พื้นดินอย่างช้าๆ จากข้อมูลดังกล่าวจึงต้องมีการออกแบบระบบหลัก 2 ระบบ คือ 1. ระบบขับเคลื่อนจรวดโดยใช้เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล และ 2. ระบบปล่อยร่มชูชีพ ซึ่งจะต้องมีการหน่วงเวลาและมีการผลักดันให้นำตัวจรวดลงมาอย่างปลอดภัย โดยทั้งสองระบบจะเป็นดินขับบรรจุรวมอยู่ในมอเตอร์จรวด [4] ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบจรวดประติษฐ์โดยใช้ดินขับเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลเป็นระบบขับเคลื่อนให้สามารถยิงขึ้นสู่ท้องฟ้าได้สูงกว่า 400 เมตร

2. การออกแบบจรวดประติษฐ์

2.1 ส่วนประกอบของตัวจรวด

การออกแบบจรวดประติษฐ์เริ่มต้นจากการกำหนดรูปร่างจรวดแบบคร่าวๆ โดยมีส่วนประกอบหลักสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.1.1 หัวจรวด

ส่วนของหัวทำจากวัสดุเป็นโฟมโพลียูรีเทน ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถเหลาขึ้นรูปได้ง่าย มีน้ำหนักเบา ในการสร้างจรวดนี้หากต้องมีการถ่วงน้ำหนักเพื่อปรับให้จรวดสมดุลจะใช้ดินน้ำมันใส่เข้าไปในส่วนของหัวจรวด เพื่อทำให้จรวดเคลื่อนที่อย่างเสถียร กำหนดให้หัวจรวดหนัก 50 กรัม ความยาว 100 มิลลิเมตร

2.1.2 ลำตัวจรวด

กำหนดเป็นท่อกระดาษเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 80 มิลลิเมตร หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ความยาวของจรวดตามลักษณะของจรวดที่ดีควรมีความยาวมากกว่าหรือเท่ากับ 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของจรวดนั้นๆ กำหนดให้ท่อจรวดหนัก 400 กรัม ยาว 1,000 มิลลิเมตร ภายในลำตัวจรวดจะต้องมีส่วนอื่นๆ อันได้แก่ ร่มชูชีพ กระดาษทิชชูกั้นไฟ กระบอกสูบ และมอเตอร์จรวดตามลำดับ ร่มชูชีพจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าไรขึ้นอยู่กับน้ำหนักของจรวดและความเร็วในการตกของจรวด ในที่นี้ร่มชูชีพจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 900 มิลลิเมตร ร่มชูชีพพร้อมเชือกร่มจะวางไว้ตำแหน่งต่อจากหัวจรวด กำหนดให้ร่มหนัก 200 กรัม ตำแหน่งที่ 300-400 มิลลิเมตร

จากหัวจรวด ตำแหน่งถัดมาเป็นกระดาศทึชชูกันไฟ เพื่อทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันไม่ให้ไฟและความร้อนจากดินขับปะทุที่ใช้ดันระบบร้อมออกจากจรวดไปทำลายหรือเผากระดาศทึชชูกันไฟทำจากกระดาศทึชชูผสมกับสารละลายของเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่ฝังให้แห้ง จากนั้นตำแหน่งถัดไป ได้แก่ กระบอกสูบ ใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยดันให้ร้อมออกจากตัวจรวดด้วยแรงจากการเผาไหม้ดินดำที่บรรจุไว้ในส่วนหัวของมอเตอร์จรวด ความยาวของกระบอกสูบขึ้นอยู่กับช่องว่างที่เหลืออยู่ในลำตัวจรวด หากมีช่องว่างมากกระบอกสูบจะยาวกำหนดให้กระบอกสูบหนัก 100 กรัม ความยาว 200 มิลลิเมตร อยู่ในตำแหน่งที่ 400-600 มิลลิเมตร จากหัวจรวดตำแหน่งสุดท้ายในลำตัวจรวด ได้แก่ ส่วนของมอเตอร์จรวด ทำหน้าที่เป็นระบบขับเคลื่อนให้จรวดเคลื่อนที่ไปยังหน้า มีส่วนประกอบย่อย ได้แก่ ดินดำ ทำหน้าที่เป็นดินปะทุเพื่อดันระบบร้อมออกจากตัวจรวด ดินหน่วงเวลาทำหน้าที่เป็นตัวหน่วงเวลาให้กับการจุดตัวของดินดำ ดินขับเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานในการเคลื่อนที่ของจรวด และตัวจุดจรวดทำหน้าที่เป็นตัวจุดเริ่มต้นของระบบขับเคลื่อน กำหนดให้มอเตอร์จรวดหนัก 800 กรัม ตำแหน่งที่ 600-900 มิลลิเมตร ทั้งหมดนี้บรรจุรวมกันในมอเตอร์จรวด

2.1.3 ชิ้นส่วนครีป

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รักษาสมดุลจรวดและสร้างเสถียรภาพให้กับเคลื่อนที่ของจรวด วัสดุที่ใช้ทำครีปจะเป็นไม้บัลซ่าความหนาประมาณ 5-6 มิลลิเมตร ไม้บัลซ่าเป็นไม้เนื้ออ่อนที่มีความเบาและสามารถตัดเป็นชิ้นงานได้ง่าย ส่วนใหญ่มักนำมาทำแบบบ้านจำลอง เมื่อนำมาทำเป็นชิ้นส่วนครีปของจรวดรูปร่างทั่วไปจะเป็นครีปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสามเหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยมคางหมูก็ได้ ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ จำนวนครีปเริ่มตั้งแต่ 2 ครีปขึ้นไป แต่โดยทั่วไปมักออกแบบเป็น 3 หรือ 4 ครีป เนื่องด้วยข้อจำกัดของของฐานยิงที่ออกแบบไว้จรวดนี้จึงกำหนดให้เป็น 4 ครีปเท่านั้น ไม้บัลซ่าจะมีแนวของเนื้อไม้อยู่ในทิศทางหนึ่ง หากนำมาใช้ต้องพิจารณาแนวไม้ให้ดี เพื่อให้ชิ้นส่วนครีปมีความแข็งแรงต่อแรง

ปะทะของอากาศ แนวไม้ต้องตั้งฉากกับความยาวของตัวจรวด หรืออย่างน้อยแนวไม้ต้องไม่ขนานกับความยาวของตัวจรวด เพราะเมื่อยิงขึ้นไปแล้วแนวทิศทางที่ปะทะกับอากาศจะทำให้ครีปหักได้ง่าย กำหนดให้ครีปทางทั้ง 4 ครีปหนัก 50 กรัม

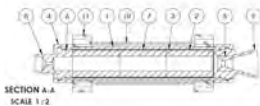
2.2 ระบบขับเคลื่อน

มอเตอร์จรวดที่ใช้กับจรวดประดิษฐ์เป็นมอเตอร์ที่ใช้ดินขับเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลเป็นระบบขับเคลื่อน มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกกลวง เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 35.8 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร แท่งเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลมีผิวนอกเป็นท่อพีวีซี การเผาไหม้ของดินขับนี้โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิว [5] เกิดขึ้นใน 2 ทิศทางพร้อมกันคือ พื้นผิวตามแนวรัศมี และพื้นผิวตามแนวยาว ดินขับนี้บรรจุอยู่ในมอเตอร์จรวดจำนวน 3 ท่อน โดยมีน้ำหนักแท่งดินขับรวม 0.204 กิโลกรัม ลักษณะแท่งดินขับเป็นดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงรูปร่างแท่งเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล

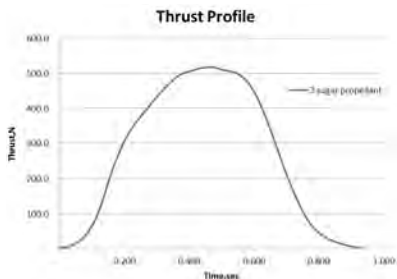
มอเตอร์จรวดซึ่งใช้เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลเป็นระบบขับเคลื่อนประกอบมีลักษณะเป็นดังรูปที่ 3 ภายในจะบรรจุแท่งเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลจำนวน 3 ท่อน และด้านหัวจะมีดินหน่วงเวลาและดินขับปะทุเพื่อใช้ดันร้อมให้ออกจากตัวจรวดเป็นระบบนำกลับจรวด ส่วนด้านท้ายเป็น nozzle ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	motor case	1
2	propellant	3
3	propellant cases	3
4	holder	2
5	graphite	1
6	O-ring ID34.65 CS1.78 or ID33.01, CS1.78	2
7	insulation tube	1
8	Headplug/rocket	1
9	nozzle/di	1
10	wooden ring holder	1
11	wooden ring	2

รูปที่ 3 ลักษณะของมอเตอร์จรวด
ซึ่งใช้เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล

ในการใช้โปรแกรมเพื่อคำนวณชิปนวิธิภายนอกของจรวด จำเป็นต้องทราบรูปร่างแรงขับของมอเตอร์จรวดก่อน จึงได้ทำการทดสอบภาคสถิติเพื่อหารูปร่างแรงขับซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 มอเตอร์นี้มีแรงขับสูงสุดที่ 518 นิวตัน พื้นที่ใต้กราฟคือแรงดลรวม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 254 นิวตันวินาที



รูปที่ 4 กราฟแสดงรูปร่างแรงขับของการเผาไหม้
เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล 3 ท่อน

2.3 โปรแกรม Open Rocket

จรวดที่ดีจะต้องมีเสถียรภาพทางอากาศพลศาสตร์ โดยเกิดความสมดุลของตำแหน่งจุดสองจุด คือจุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity, CG) และจุดศูนย์กลางแรงดัน (Center of Pressure, CP) จรวดที่มีเสถียรภาพทางอากาศพลศาสตร์จะมีตำแหน่งของ CG อยู่หน้า CP ประมาณเท่ากับหรือมากกว่า 1 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางลำตัวจรวด เสถียรภาพทางอากาศพลศาสตร์มีความสำคัญมากสำหรับจรวดประดิษฐ์ คือเมื่อมีลมมาปะทะจรวดจะเสียการทรงตัว

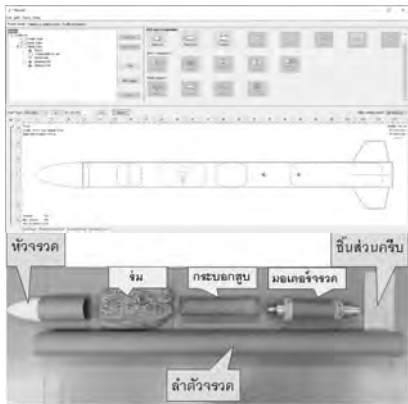
เล็กน้อยโดยเอียงไปตามแรงลม แต่ด้วยเสถียรภาพทางอากาศที่จรวดมี จรวดจะเอียงกลับคืนมาในทิศทางเดิม ในทางตรงกันข้ามหากจรวดไม่มีเสถียรภาพทางอากาศพลศาสตร์ จรวดจะเคลื่อนที่ไม่ตรง สายไปมา มีทิศทางการเคลื่อนที่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ หรืออาจจะควงหันกลับมาที่พื้นเลยก็เป็นได้

การเลือกใช้โปรแกรม Open Rocket ซึ่งเป็นโปรแกรมสาธารณะ ใช้ในการคำนวณชิปนวิธิภายนอกของจรวดมาใช้ในการออกแบบจรวดและใช้คำนวณตำแหน่ง CP และคำนวณวิถีการยิง ระยะในแนวราบ ความสูงระยะเวลาที่จรวดอยู่ในอากาศ ลักษณะของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 โปรแกรม Open Rocket

ข้อมูลที่ต้องใส่ได้แก่ ความยาวของจรวด น้ำหนักรวม กำหนดชนิดวัสดุ รูปร่าง น้ำหนัก และตำแหน่งที่ติดตั้งของชิ้นส่วนจรวดแต่ละชิ้น ในโปรแกรมจะมีชนิดและรูปร่างวัสดุของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นให้ไว้ ในการออกแบบครั้งนี้เมื่อได้แบบคร่าว ๆ แล้วทำการวาดรูป กำหนดสัดส่วนต่าง ๆ ใส่ข้อมูลลงในโปรแกรม รูปร่างจรวดที่ออกแบบไว้จะถูกนำไปคำนวณตำแหน่งของ CP ซึ่งตำแหน่งนี้เป็นเสมือนจุด ๆเดียวที่เทียบเท่าแรงและโมเมนต์เพียงแรงเดียวกระทำต่อจรวดทั้งลูกนี้ ลักษณะของตำแหน่ง CG, CP บนจรวดในโปรแกรมและส่วนประกอบของจรวดแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตำแหน่งและชิ้นส่วนต่างๆ ของจรวด
จากในโปรแกรมและชิ้นงานจริง

จากรูปร่างจรวดข้างต้นทำการสร้างชิ้นงานแต่ละชิ้นให้เป็นไปตามแบบทั้งในส่วนหัวจรวดลำตัวจรวดและชิ้นส่วนครีป นำส่วนประกอบทั้ง 3 ส่วนมาประกอบรวมกันทำการติดกาวชิ้นส่วนครีปกับลำตัวจรวดแล้วทิ้งให้แห้ง จากนั้นประกอบส่วนประกอบภายในจรวด สุดท้ายประกอบมอเตอร์จรวดจำลองเข้าไป จรวดที่จะสร้างขึ้นนี้มีน้ำหนักประมาณ 1.5 – 1.9 กิโลกรัม

จากการออกแบบด้วยโปรแกรมทำให้ทราบว่าจรวดมีตำแหน่ง CP อยู่ที่ไหน เมื่อประกอบจรวดครบชุดแล้วจึงกำหนดตำแหน่งของ CG เพื่อให้จรวดเกิดความเสถียรในการเคลื่อนที่ตำแหน่ง CG จึงทำได้โดยการนำเชือกมาผูกห้อยที่จรวดแล้วปรับให้จรวดอยู่ในตำแหน่งขนานกับพื้นจากนั้นจึงตรวจสอบดูว่าเป็นตำแหน่งของ CG ที่กำหนดไว้หรือไม่ หากตำแหน่งของเชือกอยู่หน้าตำแหน่ง CG ที่กำหนดไว้แสดงว่าน้ำหนักส่วนหัวมีมากเกินไป ให้ลดน้ำหนักส่วนหัวและ/หรือเพิ่มน้ำหนักส่วนท้าย ในทางกลับกัน หากตำแหน่งของเชือกอยู่หลังตำแหน่ง CG ที่กำหนดไว้แสดงว่าน้ำหนักส่วนหัวน้อยเกินไป ให้เพิ่มน้ำหนักส่วนหัวและ/หรือลดน้ำหนักส่วนท้าย ส่วนใหญ่จรวดที่ทำออกมาจะมีน้ำหนักส่วนหัวจรวดที่เบา จึงใช้วิธีในการถ่วงน้ำหนักด้านหัวจรวดโดยใช้ดินน้ำมันเป็นตัวเพิ่มน้ำหนัก อย่างไรก็ตาม การเพิ่มน้ำหนักดินน้ำมันก็เป็นการเพิ่มน้ำหนักรวมของจรวดซึ่งส่งผลให้จรวดจะยิงได้สูงน้อยกว่าจรวดที่เบากว่า

3. ผลของการออกแบบและการทดสอบ

ลักษณะของจรวดประดิษฐ์ที่ออกแบบและสร้างโดยมีหัวจรวดทำจากโฟม ลำตัวเป็นท่อกระดาษ และครีปหางจรวดเป็นไม้บัลซ่า มีรูปร่างดังรูปที่ 7

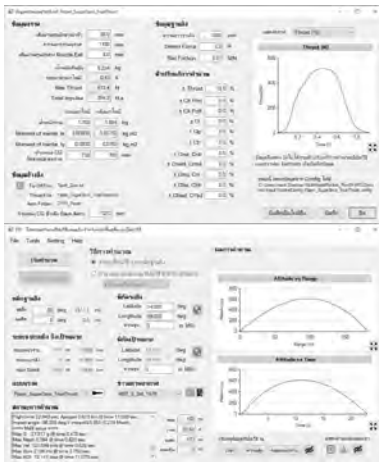


รูปที่ 7 ลักษณะของจรวดประดิษฐ์
ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมา

หัวจรวดมีรูปร่างแบบ Elliptical ท่อกระดาษทำให้มีผิวเรียบมากที่สุด ส่วนครีปหางทำเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมคางหมูและติดเทปอลูมิเนียม ทั้งหมดนี้เพื่อช่วยให้หัวจรวดมีแรงต้านอากาศน้อยที่สุดเท่าที่ทำได้

ก่อนนำจรวดประดิษฐ์ไปยิงทดสอบต้องมีการทดสอบความเสถียรของจรวดโดยนำเชือกมาผูกไว้ที่ตำแหน่ง CG ของจรวดแล้วทำการแกว่งหมุนจรวดโดยมีความยาวของเชือกประมาณ 1-2 เมตรให้ท้ายจรวดอยู่ด้านหน้า จรวดที่มีความเสถียรเมื่อทำการแกว่งหมุนแล้วหัวจรวดจะกลับมาอยู่ด้านหน้า จรวดที่ทดสอบความเสถียรแล้วสามารถนำไปใช้เพื่อการยิงจรวดได้ อีกประการหนึ่งต้องมีการตรวจสอบการยึดชิ้นส่วนแต่ละชิ้นของจรวดเข้าด้วยกัน ได้แก่ หัวโฟมต้องมีความแน่นระดับหนึ่งและสามารถออกแรงดึงเบา ๆ ที่หัวโฟมให้หลุดออกจากท่อจรวดได้ ส่วนครีปหางต้องได้สมมาตรกับท่อจรวดและมีระยะห่างของแต่ละชิ้นที่เท่ากัน ไม่เช่นนั้นจรวดที่ยิงขึ้นไปอาจจะเสียเบินทิศทางการได้ และครีปหางต้องติดแน่นกับตัวจรวด เนื่องจากในขณะที่ยิงจรวดขึ้นไปจะมีแรงเฉื่อยคอยดึงชิ้นส่วนจรวดไว้ หากติดไม่ดีจะทำให้ครีปหางหลุดออกจากตัวจรวดในขณะที่ยิงจรวดได้ และทำให้จรวดไม่เสถียรและทิศทางการเปลี่ยนไป ทั้งหมดนี้จึงจะถือว่าจรวดที่ออกแบบมีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปใช้ยิงจรวดได้

ในการคำนวณขึ้นวิธิภายในของจรวดกำหนดให้
จรวดมีน้ำหนักอยู่ที่ 1.7 กิโลกรัม น้ำหนักดินขับที่ 0.204
กิโลกรัม มุมยิง 85 องศา ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 รูปแสดงข้อมูลของจรวดและ
ผลการคำนวณขึ้นวิธิภายใน

จากรูปที่ 8 ซึ่งคำนวณด้วยโปรแกรมได้ผลว่าจรวดนี้
สามารถยิงขึ้นไปได้ถึง 613 เมตร และขึ้นไปได้สูงสุดที่เวลา
11.06 วินาที ได้มีการสร้างจรวดประดิษฐ์จำนวน 30 นัด
และทำการทดสอบยิงเพื่อดูความสมบูรณ์ในการทำงาน
ของจรวดประดิษฐ์รวมถึงความสูงของจรวดประดิษฐ์แต่ละ
นัด เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของจรวดประดิษฐ์ดังกล่าว
ลักษณะการทดสอบแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงการยิงทดสอบจรวดประดิษฐ์
เพื่อวิเคราะห์การทำงานและความสูง

ผลการทดสอบที่นำมาวิเคราะห์ความสูงนั้นจะเลือก
เฉพาะจรวดที่ขึ้นไปแนวตั้งและทิศทางไม่ผิดเพี้ยนอันเนื่อง
มาจากความไม่เสถียรของตัวจรวดตามข้อกำหนดที่ให้ไว้ก่อน
หน้านี้ จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าความสูงของจรวดนัด
ที่สูงที่สุดขึ้นไปได้ถึง 645 เมตร จรวดนัดที่ต่ำที่สุดขึ้นไปถึง
336 เมตร โดยมีค่าเฉลี่ยความสูงที่ 506 เมตร คิดเป็น 83%
ของความสูงจากการคำนวณ และมีค่าเบี่ยงเบนที่ 62 เมตร

4. สรุปผลการทดลอง

จรวดประดิษฐ์ที่ออกแบบและทดสอบเบื้องต้นมี
ประสิทธิภาพในการนำไปใช้ยิงจรวดได้ และเมื่อทำการ
ทดสอบการยิงขึ้นสู่ท้องฟ้าพบว่าจรวดประดิษฐ์สามารถ
ขึ้นได้สูงเฉลี่ย 506 เมตร คิดเป็น 83% เมื่อเทียบกับค่า
ความสูงจากการคำนวณ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณส่วนงานวิศวกรรมระบบขับเคลื่อน
ส่วนงานวิศวกรรมอากาศยาน ฝ่ายวิจัยและพัฒนา
และส่วนปฏิบัติการระบบขับเคลื่อน ฝ่ายโรงปฏิบัติการ
สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็น
ประโยชน์และช่วยทำการทดสอบทดลองและเก็บข้อมูล
มาดำเนินงานด้านการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Estes Industries, Colorado, USA, URL: <https://www.estesrockets.com/customer-service/faq/>, access on 16/05/2018.
- [2] National Association of Rocketry, USA, URL: <https://www.nar.org/>, access on 16/05/2018.
- [3] ไพศาล อภิณหพัฒน์ (2561). การออกแบบแท่งดินขับ
ทรงกระบอกกลวงในมอเตอร์จรวดขนาดเล็กสำหรับรูปร่างแรงขับ
แบบสมดุล, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่ง
ประเทศไทย ครั้งที่ 32, จังหวัดมุกดาหาร
- [4] ไพศาล อภิณหพัฒน์ (2561). จรวดประดิษฐ์
สำหรับโครงการค่ายวิทยาศาสตร์จรวดประดิษฐ์ปี 2560,
วารสารเทคโนโลยีป้องกันประเทศ, ม.ค.-มี.ค. 2561, หน้า 104-109
- [5] Sutton, G.P., and Biblarz, O. (2010), Rocket
Propulsion Elements. 7th Edition, John Wiley&Sons, ISBN:
978-04470-08024-5, pp. 426