

การวิจัยและพัฒนาจรวดดับเพลิง

ไพศาล บุญยรัตน์^{1*} อมร พรชัย¹ นิกร กุหลาบอำ¹ พิพัฒน์ จันทิมาเจริญ¹
ธีรภัทร์ กิตตินรินทร์กุล^{1**} นิธิ อนุกุลสัมพันธ์² และ ปัทพงษ์ ศรีโพธิ์²

วันที่รับ 4 กันยายน 2566 วันที่แก้ไข 20 กันยายน 2566 วันตอบรับ 22 กันยายน 2566

บทคัดย่อ

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้วิจัยและพัฒนาจรวดดับเพลิง โดยเลือกใช้ดินขับจรวดเชื้อเพลิงแข็ง เพื่อใช้สำหรับเป็นเครื่องมือทางเลือกในการนำส่งสารเคมีผงชนิด ABC 90% เข้าไปปล่อยในกลุ่มเพลิงเป้าหมาย เพื่อลดความรุนแรงของเปลวไฟ ในการสนับสนุนภารกิจการดับเพลิงกับกลุ่มอาคารที่มีความสูงต่ำกว่า 23 เมตร ซึ่งในการวิจัยได้ดำเนินการผลิตและทดสอบจนกระทั่งได้ต้นแบบทั้งในส่วนระบบขับเคลื่อนและระบบการปล่อยกระจายสารดับเพลิง ตลอดจนทำการทดสอบภาคสถิติและภาคพลวัต เพื่อตรวจสอบการทำงานของจรวด และประสิทธิภาพในการหน่วงหรือดับไฟ ผลจากการวิจัย พบว่า ระบบขับเคลื่อนมีการทำงานสมบูรณ์ และมีแรงขับเพียงพอสำหรับขับเคลื่อนจรวดดับเพลิงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 89 มิลลิเมตร ยาว 130 เซนติเมตร น้ำหนักรวมไม่เกิน 7 กิโลกรัม ไปสู่เป้าหมายที่มีความสูง 23 เมตร ระยะห่างจากจุดตั้งยิง 100 เมตร ค่าคลาดเคลื่อนคาดคะเน (Probable Error) ไม่เกิน 1.25% ของระยะยิง และสามารถปล่อยกระจายสารดับเพลิง ชนิดผง ABC 90% ประมาณ 3 กิโลกรัมต่อนัด โดยใช้ชุดระบบหน่วยเวลาอิเล็กทรอนิกส์ให้ครอบคลุมพื้นที่ ได้ประมาณ 13 - 30 ตารางเมตร จรวดดับเพลิงสามารถยิงเข้าพื้นที่เป้าหมายโดยการคำนวณจากโปรแกรม อำนวยการยิง และกำหนดเวลาให้สอดคล้องกับพิกัดเป้าหมาย สำหรับประสิทธิภาพในการหน่วงไฟ พบว่า สามารถหน่วงไฟที่กำลังลุกไหม้ในช่วงของปรากฏการณ์ไฟไหม้ลุกลาม (Flashover) ซึ่งมีอุณหภูมิของเปลวเพลิง ในช่วง 500 - 1,000 องศาเซลเซียส ที่กำลังจะเข้าสู่ขั้นการลุกลาม ให้สามารถลดความรุนแรงลง อยู่ในช่วง 200 - 300 องศาเซลเซียสได้ โดยจากการทดสอบกับกองเพลิงจำลองเทียบเคียงกับระดับความสามารถของ เครื่องดับเพลิง 3-A และทดสอบกับกองเพลิงที่มีลักษณะเป็นห้องพักผ่อนหรือที่พักอาศัย โดยมีพื้นที่ห้องขนาด กว้าง 5 เมตร และยาว 7 เมตร พบว่า ต้องใช้จรวดจำนวน 8 นัด จึงจะสามารถลดความรุนแรงของกลุ่มเพลิง จากปรากฏการณ์ไฟไหม้ลุกลามให้ลดลงเข้าสู่สภาวะที่สามารถเข้าไปจัดการกับกองเพลิงด้วยวิธีการอื่นได้

คำสำคัญ : จรวดดับเพลิง, สารดับเพลิง, ช่วงไฟไหม้ลุกลาม, ชุดหน่วยเวลา

¹ ส่วนปฏิบัติการระบบขับเคลื่อน, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

² ส่วนงานวิศวกรรมระบบควบคุมและการสื่อสาร, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: paisarn.b@dti.or.th

** ผู้แต่ง, อีเมล: thirapat.k@dti.or.th

Research and Development of a Fire Fighting Rocket System

Paisarn Boonyarat^{1*} Amorn Pornchai¹ Nikorn Gulabum¹ Pipat Chantiwacharoen¹
Thirapat Kitinirunkul^{1**} Nithi Anukulsumpan² and Pattapong Sripho²

Received 4 September 2023, Revised 20 September 2023, Accepted 22 September 2023

Abstract

The Defense Technology Institute has researched and developed a Fire Fighting Rocket. Composite solid propellant was chosen for the propulsion system. The rocket is to be used as an alternative tool for delivering fire extinguishing agent type 90% ABC into the targeted fire in order to reduce the fire intensity, and support firefighting missions in buildings with heights less than 23 meters. This research has produced, tested, and evaluated the rocket until a prototype was obtained for the extinguishing agent explosive dispersion system and propulsion system, as well as static and dynamic testing to assess rocket functionality and fire-retarding or extinguishing performance. This research found that the propulsion system worked correctly and had sufficient thrust to propel a Fire Fighting Rocket with a diameter of 89 millimeters, a length of 130 centimeters, and a total weight not exceeding 7 kilograms to target at a height of 23 meters, and a distance from launcher of 100 meters, with accuracy measured by a probable error not exceeding 1.25% of the firing range. An electronic timer was used as a time delay system that can release 3 kilograms of fire 90% ABC extinguishing agent per shot covering an area of 13 - 30 square meters. The Fire Fighting Rocket can be fired into the target area by calculations from the firing control program and setting the time following the target coordinates. For fire-retardant performance, it was found that the rocket was able to retard fires that were burning in the Flashover phenomenon stage, which had a flame temperature of 500 - 1,000 degrees Celsius and were transitioning to fully developed stage, reducing the fire severity to the 200 - 300 degrees Celsius region. Tests were conducted with simulated fire stacks comparable to 3-A fire extinguisher test conditions and fires simulating fire within a living room or residence with area of 5 meters wide and 7 meters long. It was found that 8 rockets were required to reduce the fire intensity from the flashover phenomena down to levels that allow firefighters to enter and manage the fire using other methods.

Keywords : Fire fighting rocket, Extinguishing agent, Flashover, Time delay.

¹ R&D Workshop Propulsion Operation Division, Defence Technology Institute

² Control and Communication Division, Defence Technology Institute

* Corresponding author, E-mail: paisarn.b@dti.or.th

** Corresponding author, E-mail: thirapat.k@dti.or.th

1. บทนำ

จากสถานการณ์เพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน กับอาคารทั่วไป ตึกแถว อาคารพาณิชย์ หรือบริเวณชุมชนที่แออัด ซึ่งกลุ่มอาคารดังกล่าวไม่จัดอยู่ในกลุ่มอาคารสูงตามความในข้อ 16 - 20 ของกฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 [1] ซึ่งมีการควบคุมให้ทุกอาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 23 เมตร ขึ้นไป ต้องดำเนินการเกี่ยวกับระบบสัญญาณเตือนเพลิงไหม้ และติดตั้งระบบป้องกันเพลิงไหม้ และมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติ จึงทำให้มีโอกาสเกิดเหตุเพลิงไหม้ลุกลามเป็นวงกว้างมากกว่า ซึ่งโดยส่วนใหญ่กลุ่มอาคารดังกล่าวจะมีลักษณะโครงสร้างเป็นอาคารเก่า ไม่มีระบบป้องกันเพลิงไหม้ ระบบดับเพลิง หรือมีแต่ไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถควบคุมเพลิงได้ทันทั่วทั้ง การดับเพลิงโดยส่วนใหญ่จะเป็นการระดมเจ้าหน้าที่เข้าไปดำเนินการฉีดน้ำหรือสารเคมีเพื่อดับเพลิงและยับยั้งความรุนแรงของเปลวเพลิงไม่ให้พลังงานความร้อนจากเปลวเพลิงไปทำลายโครงสร้าง ความแข็งแรงของอาคาร ซึ่งหากยับยั้งหรือดับเพลิงได้ไม่ทัน จะทำให้โครงสร้างของอาคารเกิดการทรุดตัวลงมา ทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนได้ และเนื่องจากในการเข้าเผชิญเหตุจะต้องรอให้การไฟฟ้ามาดำเนินการตัดกระแสไฟฟ้าให้เรียบร้อยก่อน จึงสามารถเข้าดำเนินการเพื่อช่วยเหลือบุคคลที่ติดอยู่ภายในอาคารได้ ซึ่งในระหว่างนี้ เปลวเพลิงอาจทวีความรุนแรงทำให้โครงสร้าง ความแข็งแรงของอาคารลดลง ส่งผลให้เจ้าหน้าที่ดับเพลิงมีความเสี่ยงสูงในการเข้าไปปฏิบัติงานในอาคารดังกล่าว อีกทั้งในกรณีที่มีการฉีดน้ำเข้าอาคารปริมาณมากเกินไปจะมีความเสี่ยงทำให้โครงสร้างอาคารเกิดการทรุดตัวลงทับเจ้าหน้าที่ได้

ด้วยข้อจำกัดด้านความปลอดภัยในการเข้าพื้นที่สำหรับปฏิบัติการดับเพลิงหรือช่วยเหลือในการ

อพยพบุคคลที่ติดอยู่ภายในอาคาร จะเป็นการดีหากมีเครื่องมือหรือเทคโนโลยีที่สามารถช่วยในการชะลอหรือลดความรุนแรงของเปลวเพลิงในช่วงรอการไฟฟ้าเข้ามาดำเนินการตัดกระแสไฟฟ้า โดยการนำสารดับเพลิงประเภทผงเคมี ABC ซึ่งมีส่วนประกอบหลักจากโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (Mono Ammonium Phosphate หรือ MAP) ที่มีประสิทธิภาพในการดับไฟได้ทั้ง 3 ประเภท ประกอบด้วย Class A วัสดุของแข็งทั่วไป Class B ของเหลวติดไฟ และ Class C เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ [2] เข้าไปยับยั้งชะลอหรือหน่วงไฟให้ความรุนแรงของเปลวไฟลดลง อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณการฉีดน้ำเข้าไปในตัวอาคาร ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในการทรุดตัวของอาคารจากน้ำหนักของน้ำ

ดังนั้น การพิจารณาแนวทางประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจรวดสำหรับใช้เป็นพาหนะสำหรับนำส่งสารดับเพลิงประเภทผงเคมี ABC จึงเป็นอีกแนวทางเลือกที่สามารถช่วยลดความเสี่ยงในการปฏิบัติงานให้กับเจ้าหน้าที่ที่จะต้องเข้าไปปฏิบัติงานในพื้นที่อาคารและช่วยให้มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงานมากขึ้นได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในต่างประเทศมีแนวคิดพัฒนาอุปกรณ์สำหรับการดับเพลิงบนอาคารสูง เช่น สิทธิบัตรของสาธารณรัฐประชาชนจีน หมายเลข CN 102580278 [3] ได้แสดงถึงระบบเครื่องยิงหลายลำกล้องสำหรับดับเพลิงอาคารสูง ท่อยิงมีลักษณะเป็นปืนไร้แรงสะท้อนแบบ Davis Gun ซึ่งยิงกระสุนที่บรรจุผงเคมีดับเพลิงออกทางด้านหน้าและผลักของเหลวออกทางด้านหลัง ทำให้สามารถใช้ยิงในเขตเมืองได้โดยไม่มีเปลวไฟออกด้านท้ายท่อยิงและไม่มีเสียงดังที่อาจทำให้เกิดความตื่นตระหนก ดังแสดงในรูปที่ 1

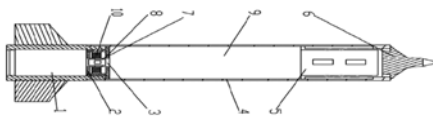


รูปที่ ๑ การทดสอบกระสุนดับเพลิงอาคารสูงของสาธารณรัฐประชาชนจีน [4]



รูปที่ ๓ การทดสอบจรวดดับเพลิงอาคารสูงของสาธารณรัฐประชาชนจีน [8]

รูปที่ 2 และ 3 แสดงถึงรายละเอียดและการทดสอบในสิทธิบัตรของสาธารณรัฐประชาชนจีน หมายเลข CN 102772865 [5] ซึ่งแสดงถึงจรวดที่เป็นท่อโลหะบรรจุผงเคมีดับเพลิง ซึ่งจะทำงานโดยการจุดตัวจุดจรวด (Igniter) ที่ด้านท้าย แล้วผลักดันผงเคมีดับเพลิงพุ่งออกทางช่องกระจายสารด้านหน้า พร้อมกับปลั๊กม้วนความเร็วออกด้านท้าย เป็นระบบนิรภัยกรณีจรวดพลาดเป้าหมาย จรวดหนึ่งลูกบรรจุผงเคมีดับเพลิง 3.6 กิโลกรัม ดับเพลิงได้ในห้องปริมาตร 60 ลูกบาศก์เมตร [6] คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 20 ตารางเมตร และมีราคาประมาณ 30,000 หยวนต่ออัน (ประมาณ 150,000 บาท ต่ออัน) [7] แต่จรวดดับเพลิงของสาธารณรัฐประชาชนจีน จะต้องเพิ่มระยะปลอดภัยด้านหลังฐานยิง ซึ่งจะเป็นปัญหาในการใช้งานภายในเมืองที่มีพื้นที่จำกัด หากพัฒนาอุปกรณ์ที่ขับเคลื่อนด้วยจรวด โดยออกแบบให้จรวดมีแรงขับไม่สูงมาก เพียงพอต่อการส่งลูกจรวดถึงระยะเป้าหมายเท่านั้น จะสามารถส่งผงเคมีดับเพลิงปริมาณมากขึ้นได้ โดยไม่เกิดเปลวไฟหรือเสียงดังมากเกินไป และไม่จำเป็นต้องเพิ่มระยะปลอดภัยด้านหลังฐานยิง

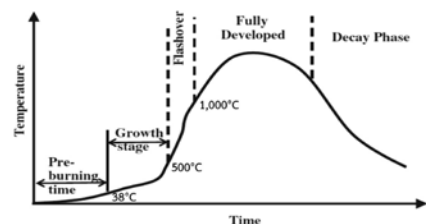


รูปที่ ๒ แบบจรวดดับเพลิงอาคารสูงของสาธารณรัฐประชาชนจีนจากสิทธิบัตร CN 102772865

จากองค์ความรู้ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศเกี่ยวกับการพัฒนาจรวดที่มีลักษณะการทำงานที่ใกล้เคียงกัน เช่น จรวดส่งดาวเทียมขนาดเล็ก (CanSat) จรวดดัดแปรสภาพอากาศ ซึ่งเป็นจรวดสำหรับปล่อยกระจายพลุซิลเวอร์ไอโอไดด์เข้าสู่ก้อนเมฆ โดยมีระบบหน่วงเวลาอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Timer) ในการสั่งจุด จึงทำให้เกิดแนวความคิดในการพัฒนาต่อยอดโดยการเปลี่ยนส่วนบรรทุกอุปกรณ์ (Payload) จากเดิมเป็นผงสารดับเพลิงแทน

2.2 ปรากฏการณ์ที่สำคัญเกี่ยวกับไฟไหม้

กลไกในการลุกลามของไฟ สามารถแบ่งออกเป็นช่วงต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 [9] - [10] ซึ่งจรวดดับเพลิงจะช่วยทำให้ไฟที่กำลังลุกไหม้ในช่วงไหม้ลุกไหม้ (Flashover) ที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 500 องศาเซลเซียส และกำลังจะเข้าสู่ขั้นการลุกลามให้ลดความรุนแรงของเปลวเพลิงลงเหลือ 200 - 300 องศาเซลเซียส จนเข้าสู่สภาวะที่สามารถเข้าไปจัดการกับกองเพลิงด้วยวิธีอื่นได้



รูปที่ ๔ ช่วงการพัฒนาของการเกิดเพลิงไหม้ [9]

2.2.1 ช่วงลุกไหม้ (Pre-burning Time)

เป็นช่วงที่เริ่มมีการลุกไหม้ขึ้นที่ต้นกำเนิดของไฟที่ลุกติดวัสดุเชื้อเพลิง อยู่ในช่วงตั้งแต่เห็นเปลวไฟ 1 - 4 นาที โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 38 องศาเซลเซียส ในขั้นนี้สามารถดับไฟที่เกิดขึ้นได้โดยใช้เครื่องดับเพลิงเบื้องต้น

2.2.2 ช่วงขยายตัว (Growth Stage)

เป็นช่วงที่ไฟเริ่มขยายตัวมากขึ้น เกิดหลังจากลุกไหม้ 4 - 5 นาที จะเกิดการแผ่รังสีความร้อนไปยังวัสดุอื่นจนเกิดไอของเชื้อเพลิงออกมา จนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์ไฟไหม้ลุกลาม (Flashover) หากใช้เครื่องดับเพลิงเบื้องต้นในการควบคุมเพลิง ผู้ดับเพลิงต้องมีความชำนาญและจำเป็นต้องมีอุปกรณ์จำนวนมากและเพียงพอ

2.2.3 ช่วงไฟไหม้ลุกลาม (Flashover)

เป็นปรากฏการณ์ของการลุกไหม้อย่างรุนแรงในพื้นที่ปิดล้อม (Enclosed Space) โดยจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนจากจุดที่เกิดไฟขึ้นสู่ด้านบนโดยรอบ จนความร้อนที่เกิดในห้องเพิ่มสูงขึ้น ทำให้วัตถุที่อยู่ในห้องนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิลุกไหม้ (Ignition Temperature) และเกิดการลุกติดไฟขึ้นพร้อม ๆ กันจนท่วมห้อง ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นหลังเกิดการลุกไหม้ 7 - 8 นาที และมีอุณหภูมิ 500 - 1,000 องศาเซลเซียส

2.2.4 ช่วงลุกติดไฟเต็มที่ (Fully Developed)

เป็นช่วงที่มีการติดไฟอย่างเต็มที่ ในช่วงนี้มีอุณหภูมิประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปริมาณเชื้อเพลิง ความหนาแน่นของไอเชื้อเพลิง และคุณสมบัติของสิ่งต่าง ๆ โดยรอบบริเวณนั้น

2.2.5 ช่วงไฟมอดดับ (Decay Phase)

เป็นช่วงที่เริ่มขาดปัจจัยในการลุกไหม้ จึงทำให้ไฟมอดและเริ่มดับลง

3. การออกแบบจรวดดับเพลิง

3.1 ส่วนประกอบของจรวด

การออกแบบจรวดดับเพลิง เริ่มต้นจากการกำหนดรูปร่างดินขับจรวดและรูปร่างของจรวดตามลักษณะการใช้งาน และกำหนดวัสดุที่จะใช้ในแต่ละส่วนประกอบ เพื่อให้สามารถประเมินน้ำหนักจรวดเบื้องต้น สำหรับใช้ในการคำนวณชิปนวิธิภายนอกของจรวด (External Ballistic) รวมถึงคำนวณชิปนวิธิภายในของเชื้อเพลิงดินขับ (Internal Ballistic) เพื่อหาค่าแรงดลรวม (Total Impulse) ที่จะใช้ขับเคลื่อนจรวดให้ไปถึงยังเป้าหมายที่ระยะและความสูงที่ต้องการต่อไป โดยส่วนประกอบของจรวดดับเพลิงแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

3.1.1 ส่วนหัวจรวด

เป็นส่วนที่ครอบปิดอยู่ทางด้านหน้าสุดของลำตัวจรวด ช่วยลดแรงต้านอากาศขณะจรวดเคลื่อนที่ ทำจากวัสดุพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตไกลคอล (Polyethylene Terephthalate Glycol: PETG) ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) รูปทรงครึ่งวงกลม (Half sphere) มีน้ำหนักเบา เมื่อเกิดการระเบิดเพื่อกระจายสารดับเพลิงแล้วไม่ส่งผลให้เกิดอันตรายขณะที่ชิ้นส่วนแตกกระจายหรือตกลงสู่พื้นด้านล่าง

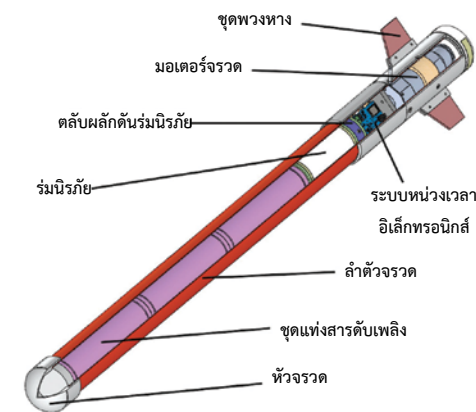
3.1.2 ส่วนชุดพวงหางจรวด

เป็นส่วนที่สวมครอบทับทางด้านท้ายของลำตัวจรวด ทำหน้าที่ช่วยในการทรงตัวและทำให้จรวดมีความเสถียรในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า สำหรับพวงหาง (Tail Case) ทำจากวัสดุ PETG ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) ส่วนครีบบาง

(Tail Fin) ทำจากวัสดุพลาสติกอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-butadiene-styrene: ABS) ลักษณะครีบอกแบบเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมคางหมูจำนวน 4 ใบ ติดในตำแหน่งที่สมมาตรกัน

3.1.3 ส่วนลำตัวจรวด

ทำด้วยท่อกระดาษเส้นผ่านศูนย์กลาง 89 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 130 มิลลิเมตร ภายในบรรจุส่วนประกอบย่อย 5 ส่วน โดยเรียงลำดับจากส่วนท้ายจรวดไปทางส่วนหัวจรวด ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ ๕ ส่วนประกอบของจรวดดับเพลิง

3.1.3.1 ส่วนขับเคลื่อนจรวดหรือมอเตอร์จรวด (Motor)

ทำหน้าที่ขับเคลื่อนจรวดให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงภาระกรรมที่กระทำต่อท่อมอเตอร์จรวด ขณะที่ดินขับจรวดเกิดการเผาไหม้ให้แก๊สร้อนที่มีอุณหภูมิและแรงดันสูงชุดมอเตอร์จรวดประกอบด้วยชิ้นส่วนดังนี้

ท่อมอเตอร์จรวด (Motor Tube)

เป็นท่อทรงกระบอกที่บรรจุดินขับจรวดและตัวจุดจรวดอยู่ภายใน จะทำหน้าที่เป็นห้องเผาไหม้ของดินขับจรวด ในการออกแบบใช้วัสดุอะลูมิเนียมเกรด 6063 T5 ที่ผ่านการทดสอบแรงดันน้ำ ด้วยเครื่องจักรของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่โรงปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา จังหวัดลพบุรี หลังจากทำเกลียวสำหรับสวมประกอบที่ด้านหัว - ท้ายของท่อแล้ว

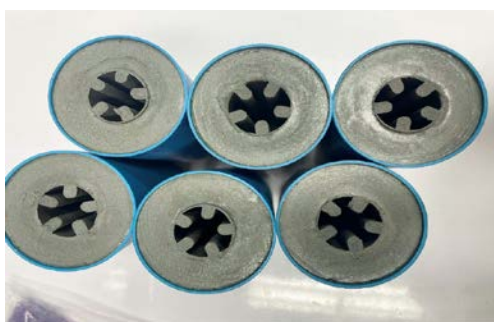
ฉนวนกันความร้อนท่อมอเตอร์ (Insulation)

เป็นส่วนที่ห่อหุ้มดินขับและบรรจุอยู่ภายในท่อมอเตอร์จรวด เพื่อป้องกันความร้อนจากการเผาไหม้ของดินขับไม่ให้ทำลายโครงสร้างความแข็งแรงของท่อมอเตอร์จรวดโดยตรง ในการออกแบบใช้พลาสติกพีวีซี (PVC) เป็นฉนวนกันความร้อน เนื่องจากมอเตอร์จรวดมีขนาดเล็ก ปริมาณดินขับค่อนข้างน้อย เวลาการเผาไหม้ไม่นานมาก โดยจะทำการหล่อดินขับลงไปในท่อพีวีซีในลักษณะเชื่อมประสานกับผนังท่อ (Case bonded) เพื่อให้ดินขับยึดติดอยู่กับท่อพีวีซีก่อนบรรจุเข้าไปในท่อมอเตอร์จรวด

ดินขับจรวด (Propellant)

เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขับเคลื่อนลูกจรวด ในการออกแบบเลือกใช้ดินขับจรวดเชื้อเพลิงแข็งแบบฐานผสมชนิดดินขับคอมโพสิต (Composite) รูปร่างของแท่งดินขับเป็นแบบ 1 ท่อน ยาว 118.5 มิลลิเมตร และโพรงดินขับเป็นรูปร่างแบบ 5 แฉก (Wagon wheel) ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งส่วนผสมเป็นสารเคมีจำพวกยางโพลียูรีเทนที่มีการเติมผงออกซิไดเซอร์และผงเชื้อเพลิงเข้าไป ซึ่งเมื่อมีการจุดด้วยตัวจุดจรวด (Igniter) จะเกิดการเผาไหม้สลายตัวให้แก๊สร้อนที่มีความดันสูงผลักดันออกมาทางด้านท้ายจรวด เพื่อเกิดแรงขับให้สามารถขับเคลื่อนจรวดไปได้ โดยมีการประยุกต์ใช้และปรับสูตรส่วนผสมดินขับจรวดที่ใช้อยู่ปัจจุบันของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สูตรดินขับ

ที่ใช้ในโครงการวิจัยและพัฒนาจรวดดัดแปรสภาพอากาศ เนื่องจากเป็นสูตรดินขับที่มีค่าคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดเรียบร้อยแล้ว สามารถนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดสูตรดินขับ [11] และคำนวณการออกแบบรูปร่างของแท่งดินขับ เพื่อให้ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับกับเวลา และความดันกับเวลาที่เพียงพอในการผลักดันให้จรวดดับเพลิงเคลื่อนที่ไปถึงยังเป้าหมายที่กำหนดได้



รูปที่ ๖ เชื้อเพลิงดินขับจรวดดับเพลิง

ชุดท่อท้ายจรวด (Nozzle Assembly)

เป็นส่วนที่สวมประกอบเข้ากับด้านท้ายของหัวมอเตอร์จรวด ทำหน้าที่เป็นช่องทางออกของแก๊สร้อนในการออกแบบใช้วัสดุอะลูมิเนียมเกรด 6063 T5 และขนาดรูหัวฉีดท้ายท่อจรวด (Nozzle Throat) ขนาด 11 มิลลิเมตร วัสดุทำจากกราไฟต์เกรด IG15

ส่วนปิดด้านหัว (Head Plug)

มีลักษณะเป็นฝาปิดตัน ในการออกแบบใช้วัสดุอะลูมิเนียมเกรด 6063 T5 เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ปิดกั้นบริเวณส่วนหัวของมอเตอร์จรวดไม่ให้แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ไหลผ่านไปได้ โดยในการประกอบจะใช้การซีลโคนทนความร้อนหาบริเวณเกลียว เพื่อซีลไม่ให้แก๊สรั่วผ่านไปได้ และภายในจะมีโดมสำหรับบรรจุตัวจุดจรวด (Igniter)

ชุดจุดจรวด (Igniter Assembly)

ทำหน้าที่จุดประกายไฟและให้ความดัน

เริ่มต้นภายในหัวมอเตอร์จรวด เพื่อให้ดินขับจุดตัวและเผาไหม้ ในการออกแบบใช้วัสดุทำจากแบกกาไลต์ (Bakelite) ภายในบรรจุขวนไฟฟ้า (Electric Squib) และเม็ดดินจุดไฟโรเทคนิค ซิลนิกกันความชื้น เพื่อเตรียมนำไปประกอบเข้ากับโดมในส่วนปิดด้านหัว (Head Plug)

3.1.3.2 ชุดระบบหน่วงเวลาอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Timer)

ทำหน้าที่หน่วงเวลาในการกระจายสารดับเพลิงและร่นนิรภัยตามเวลาที่กำหนดไว้โดยจะตั้งเวลาจากการคำนวณด้วยโปรแกรมอำนวยความสะดวก ซึ่งเมื่อถึงตำแหน่งเป้าหมาย (ตามเวลาที่กำหนด) ระบบจะส่งจุดกระจายสารดับเพลิงเข้าสู่กลุ่มไฟ พร้อมกับส่งจุดกลับผลักดันร่นนิรภัยให้ดันชุดร่นทางออก

3.1.3.3 ตลับผลักดันร่นนิรภัย (Ejection Case)

เป็นชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุพลาสติกซูเปอร์ลีน (Superlene) สำหรับไว้ใช้บรรจุดินดำและขวนไฟฟ้า เพื่อทำหน้าที่ผลักดันร่นนิรภัยให้ทำงานพร้อมชุดสารดับเพลิง หลังจากที่ได้รับกระแสไฟฟ้าที่ส่งมาจากชุดระบบหน่วงเวลาอิเล็กทรอนิกส์เมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้

3.1.3.4 ชุดร่นนิรภัย (Recovery)

จะถูกผลักร่อนออกจากหัวลำตัวจรวด ขณะเดียวกันกับที่ชุดสารดับเพลิงกระจายตัว เพื่อนำขึ้นส่วนจรวดที่เป็นส่วนขับเคลื่อนให้ตกลงสู่พื้นด้วยความเร็วที่ปลอดภัยในกรณีที่เกิดจรวดเคลื่อนที่พลาดเป้าหมาย โดยออกแบบให้ร่นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เมตร วัสดุทำจากผ้ารีปสต็อป (Rip-stop)

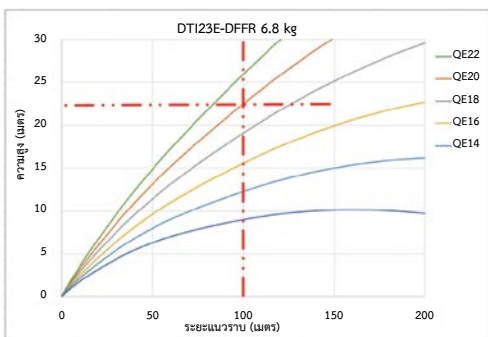
3.1.3.5 ชุดแท่งสารดับเพลิง (Extinguish Pack)

ทำหน้าที่กระจายสารดับเพลิง ABC 90% จำนวน 3 แท่ง รวมน้ำหนัก 3 กิโลกรัม ซึ่งบรรจุใส่

ภาชนะที่ทำจากกระดาษ (ป้องกันอันตรายจากการกระจายตัวของเศษชิ้นส่วน) ออกแบบโดยใช้ชนวนไฟฟ้า (Electric Squib) จุดดินดำประมาณ 100 กรัม ที่บรรจุอยู่บริเวณโพรงกลางของแท่งสารดับเพลิง ยาวตลอดแนวทั้ง 3 แท่ง เพื่อให้เกิดแรงดัน ผลักกระจายสารครอบคลุมพื้นที่ 13 - 30 ตารางเมตร

3.2 ขีปนาวุธภายนอกของจรวด (External Ballistic)

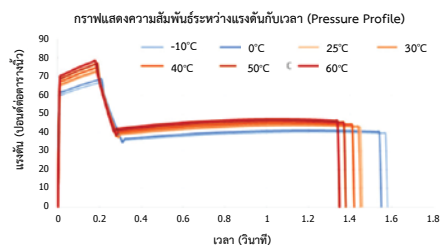
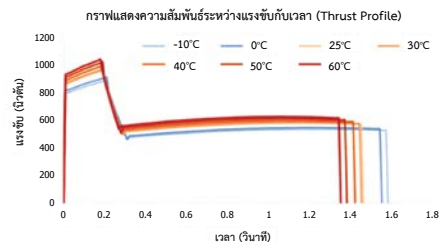
หลังจากที่ได้ออกแบบรูปร่างจรวดเบื้องต้น กำหนดชนิดของวัสดุ และสูตรดินขับที่ใช้แล้ว จะสามารถทราบน้ำหนักรวมจรวด รวมถึงค่าจุดศูนย์กลางของจรวด (Center of Gravity: CG) และค่าจุดศูนย์กลางแรงดัน (Center of Pressure: CP) เพื่อนำมาเข้าโปรแกรมคำนวณขีปนาวุธภายนอก (External Ballistic) ดังแสดงในรูปที่ 7 เพื่อหาองศาในการตั้งมุมยิงที่จะทำให้จรวดไปถึงยังเป้าหมาย และหาค่าแรงดลรวม (Total Impulse) ที่จะใช้ขับเคลื่อนจรวด ซึ่งค่าแรงดลรวมที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ต่อในการออกแบบรูปร่างดินขับจรวดด้วยโปรแกรมคำนวณขีปนาวุธภายนอกต่อไป ซึ่งในการออกแบบจรวดให้มีเสถียรภาพทางอากาศพลศาสตร์ที่ดีนั้น จะต้องมิตำแหน่งของค่าจุดศูนย์กลางของจรวดอยู่หน้าค่าจุดศูนย์กลางแรงดัน 1.5 - 2.0 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางลำตัวจรวด



รูปที่ ๗ ขีปนาวุธภายนอกของจรวดดับเพลิง

3.3 ขีปนาวุธภายในของจรวด (Internal Ballistic)

หลังจากที่ได้เลือกสูตรดินขับจรวดและทราบค่าแรงดลรวมที่ใช้กำหนดในโปรแกรมคำนวณขีปนาวุธภายนอกของจรวดแล้วนั้น จะสามารถกำหนดรูปร่างดินขับจรวดที่ใช้ในโปรแกรมขีปนาวุธภายในของจรวด ดังแสดงในรูปที่ 8 เพื่อให้ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับกับเวลา และความดันกับเวลา (Thrust - Pressure Profile) ที่เพียงพอในการเคลื่อนที่ ซึ่งจากกราฟที่ได้จะทำให้ทราบค่าแรงดันสูงสุด (Max Pressure) เพื่อนำไปคำนวณเกลียวในการสวมประกอบชุดมอเตอร์จรวดที่จะรับแรงกระทำในการจุดตัว และกำหนดค่าแรงดันที่ใช้ในการทดสอบแรงดันน้ำของท่อมอเตอร์จรวด (Motor Tube) และเมื่อทราบรูปร่างของดินขับจรวดที่ใช้คำนวณแล้ว จะทำให้สามารถออกแบบอุปกรณ์และเครื่องมือในกระบวนการผลิตดินขับจรวดต่อไปได้



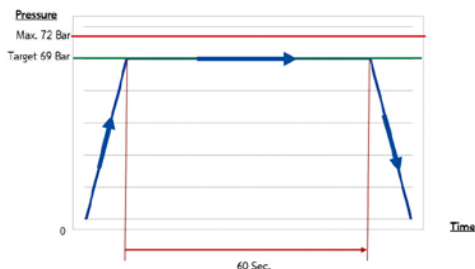
รูปที่ ๘ ขีปนาวุธภายในของจรวดดับเพลิง

3.4 การทดสอบทดลองเพื่อยืนยันผลการออกแบบ

3.4.1 การทดสอบแรงดันน้ำ (Hydrostatic Test)

เป็นการทดสอบค่าแรงดันที่กระทำต่อเกลียวและตัวท่อมอเตอร์จรวด (Motor Tube) ณ โรงปฏิบัติการ

วิจัยและพัฒนา จังหวัดลพบุรี ในการทดสอบเริ่มจากการเพิ่มความดันจากความดันปกติ ถึงความดันทดสอบที่ 69 บาร์ จากนั้นให้ควบคุมความดันดังกล่าวให้คงที่ไว้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 นาที จำนวน 1 รอบ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ ๙ ข้อกำหนดในการทดสอบแรงดันน้ำ

3.4.2 การจุดทดสอบจรวดภาคสถิต (Static Test)

เป็นการจุดทดสอบจรวดที่แท่นจุดทดสอบภาคพื้น ๓ โรงปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา จังหวัดนครสวรรค์ เพื่อดูการทำงานของมอเตอร์จรวดว่าสามารถรับภาระกรรมจริงที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินขับจรวดได้หรือไม่ โดยนำมอเตอร์จรวดที่ประกอบรวมเรียบร้อยแล้วมายึดเข้ากับแท่นจุดทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งในการทดสอบจะติดตั้งโหลดเซลล์ (Load Cell) ที่บริเวณด้านหน้าของมอเตอร์จรวดเพื่อวัดค่าแรงขับ และติดตั้งเพรสเซอร์ทรานสดิวเซอร์ (Pressure Transducer) เพื่อวัดค่าแรงดันจากการจุดทดสอบ จากนั้นนำค่าที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับกับเวลา และความดันกับเวลา ที่วัดได้จริงจากการ

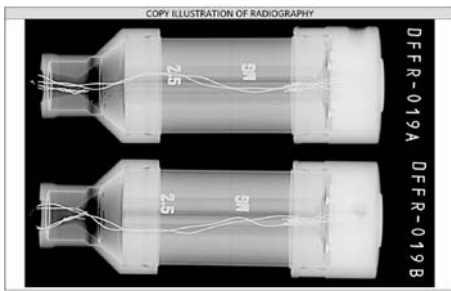
จุดทดสอบไปคำนวณค่าแรงดลรวม และหาขึ้นวิถีภายนอกของจรวดต่อไป



รูปที่ ๑๐ การจุดทดสอบภาคสถิตมอเตอร์จรวดดับเพลิง

3.4.3 การทดสอบจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งาน (Qualification Test)

เป็นการจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งานของมอเตอร์จรวดโดยเข้ากระบวนการทดสอบการทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature Cycling) การทดสอบการสั่นสะเทือน (Vibration and Shock Test) และการทดสอบตกกระแทก (Drop Test) ซึ่งทั้งก่อนและหลังเข้ารับการทดสอบในแต่ละกระบวนการข้างต้น จะมีการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีภาพถ่ายรังสีเอกซเรย์มอเตอร์จรวดเก็บไว้ ดังแสดงในรูปที่ 11 เพื่อใช้เปรียบเทียบผลหลังเข้ารับการทดสอบในแต่ละกระบวนการว่ามอเตอร์จรวดหรือดินขับจรวดได้รับความเสียหายจากการทดสอบหรือไม่ หากผ่านการทดสอบทุกกระบวนการแล้วไม่ได้รับความเสียหาย ขั้นตอนถัดไปจะนำมอเตอร์จรวดไปแช่เย็นและอบร้อนที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิต่ำ (-10 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิสูง (60 องศาเซลเซียส) ก่อนที่จะนำมาจุดทดสอบภาคสถิตตามจำนวนที่กำหนด เพื่อยืนยันความไว้วางใจได้ตามมาตรฐานทางการทหาร (Military Standard)



รูปที่ ๑๑ ภาพถ่ายรังสีเอกซเรย์

3.4.4 การทดสอบจรวดภาคพลวัต (Dynamic Test)

เป็นการทดสอบจรวดภาคพลวัต ณ แผนกอาหารสัตว์ กองการสัตว์และเกษตรกรรมที่ 3 กรมการสัตว์ทหารบก จังหวัดนครสวรรค์ เพื่อตรวจสอบการทำงานของจรวดดับเพลิงในภาพรวมที่มียิงที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 12 เพื่อให้ทราบว่าจรวดจะเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายที่กำหนดได้อย่างถูกต้องและแม่นยำเพียงพอที่จะใช้อิงในลักษณะวิถีตรง (เล็งตรง) โดยในการทดสอบจะกำหนดค่าคลาดเคลื่อนคาดคะเน (Probable Error) ไว้ที่ 1.25% ของระยะยิง โดยวิธีการตรวจวัดจะใช้กล้องความเร็วสูง (High Speed Camera) ในการบันทึกภาพการทำงานของจรวดจำนวน 3 จุด คือ ที่บริเวณหน้าแท่นยิงจรวด ด้านข้างของเป้า และที่รอบเป้าหมายขนาด 2.50 เมตร โดยคิดจาก 1.25% ของระยะยิง 100 เมตร (ความคลาดเคลื่อนด้านละ 1.25 เมตร)



รูปที่ ๑๒ การทดสอบภาคพลวัตจรวดดับเพลิง

3.4.5 การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 การทดสอบ ดังนี้

3.4.5.1 การทดสอบระยะการกระจายตัวของสารดับเพลิง

เป็นการทดสอบเพื่อหาระยะการกระจายตัวของสารดับเพลิง ซึ่งจะทำให้การทดสอบการกระจายสารทั้งในพื้นที่เปิดโล่ง และในพื้นที่ปิด ที่มีพื้นที่ 6x6 ตารางเมตร และ 4x4 ตารางเมตร ตามลำดับ โดยจะแขวนจรวดไว้ที่บริเวณจุดศูนย์กลางของพื้นที่ทดสอบที่ทำหมุดบอกระยะไว้ จากนั้นจะทำการจุดทดสอบกระจายสาร และทำการวัดพื้นที่ที่สารสามารถกระจายตัวได้ ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ ๑๓ การทดสอบระยะการกระจายตัวของสารดับเพลิง

3.4.5.2 การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ

เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของสารดับเพลิง ณ ศูนย์พัฒนาการดับเพลิงและกู้ภัย (CKK Fire & Rescue Training Center) จังหวัดนครปฐม โดยจะมีการจำลองกองเพลิงเทียบเคียงกับระดับความสามารถของเครื่องดับเพลิง 3-A ดังแสดงในรูปที่ 14 แล้วปล่อยให้เพลิงลุกไหม้เป็นเวลามากกว่า 5 นาที จนมีอุณหภูมิของเปลวเพลิง 500 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ซึ่งอยู่ในช่วงของปรากฏการณ์ไฟไหม้ลุกลาม จากนั้นจะทำการส่งจรวดดับเพลิงเข้าไปยังพื้นที่เป้าหมาย แล้วทำการจุดทดสอบกระจายสารดับเพลิง และมีการใช้กล้องวัดอุณหภูมิในการตรวจจับค่าอุณหภูมิของเปลวเพลิง

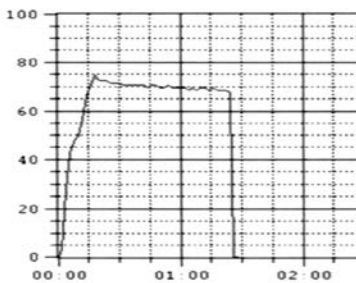


รูปที่ ๑๔ การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ

4. ผลการออกแบบจากการทดสอบทดลอง

4.1 การทดสอบแรงดันน้ำ (Hydrostatic Test)

ผลการทดสอบแรงดันน้ำ พบว่า ท่อมอเตอร์จรวดผ่านเงื่อนไขการทดสอบที่แรงดันคงที่ 69 บาร์ เป็นระยะเวลา 1 นาที และสามารถทนต่อแรงดันเงื่อนไขดังกล่าวได้ ดังแสดงในรูปที่ 15 ดังนั้น จึงสามารถยืนยันได้ว่าท่อมอเตอร์จรวดที่ทำการออกแบบและขึ้นรูปทำเกลียวตามแบบนั้น จะสามารถทนต่อแรงดันขณะจรวดจุดตัวได้



รูปที่ ๑๕ ผลการทดสอบแรงดันน้ำของท่อมอเตอร์จรวด

4.2 การจุดทดสอบจรวดภาคสถิต (Static Test)

ผลการทดสอบภาคสถิต พบว่า มอเตอร์จรวดมีการจุดตัวปกติ ไม่มีความเสียหายของชิ้นส่วนจรวด

จากแรงดันหรือความร้อน และค่าพารามิเตอร์สำคัญต่าง ๆ ที่วัดได้จากการทดสอบมีค่าสอดคล้องตามค่าการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 16 ดังนั้น จึงสามารถยืนยันได้ว่ามอเตอร์จรวดและดินขับจรวดที่ทำการออกแบบไว้นั้น สามารถจุดตัวได้อย่างปลอดภัย และมีผลการทดสอบดังนี้

- ค่าแรงขับสูงสุด 836.93 นิวตัน
- ค่าแรงดันสูงสุด 907.40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- ระยะเวลา 1.52 วินาที



รูปที่ ๑๖ ผลการทดสอบจรวดภาคสถิต

4.3 การทดสอบจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งาน (Qualification Test)

ผลการทดสอบภาคสถิตมอเตอร์จรวด หลังผ่านกระบวนการจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งาน พบว่า ดินขับจรวดจุดตัวปกติและมอเตอร์จรวดไม่มีความเสียหายของชิ้นส่วนจากแรงดันหรือความร้อน และค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้จากการทดสอบมีค่าสอดคล้องตามค่าการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 17 ดังนั้น จึงสามารถยืนยันความไว้วางใจตามมาตรฐานทางการทหาร (Military Standard) ได้ ทั้งในส่วนของมอเตอร์จรวดและดินขับจรวดที่ทำการ

ออกแบบ เนื่องจากมอเตอร์จรวดจุดตัวได้อย่างปลอดภัย และมีผลการทดสอบดังนี้

ที่อุณหภูมิต่ำ (-10 องศาเซลเซียส)

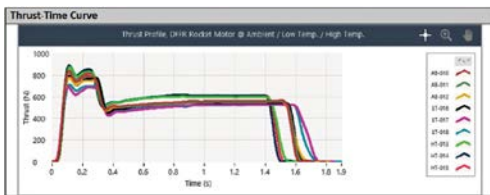
- ค่าแรงขับสูงสุด 748.10 นิวตัน
- ค่าแรงดันสูงสุด 817.79 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- ระยะเวลา 1.61 วินาที

ที่อุณหภูมิห้อง

- ค่าแรงขับสูงสุด 836.93 นิวตัน
- ค่าแรงดันสูงสุด 907.40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- ระยะเวลา 1.52 วินาที

ที่อุณหภูมิสูง (60 องศาเซลเซียส)

- ค่าแรงขับสูงสุด 857.37 นิวตัน
- ค่าแรงดันสูงสุด 927.70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- ระยะเวลา 1.49 วินาที



รูปที่ ๑๗ ผลการทดสอบภาคสถิติหลังผ่านการทดสอบจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งาน

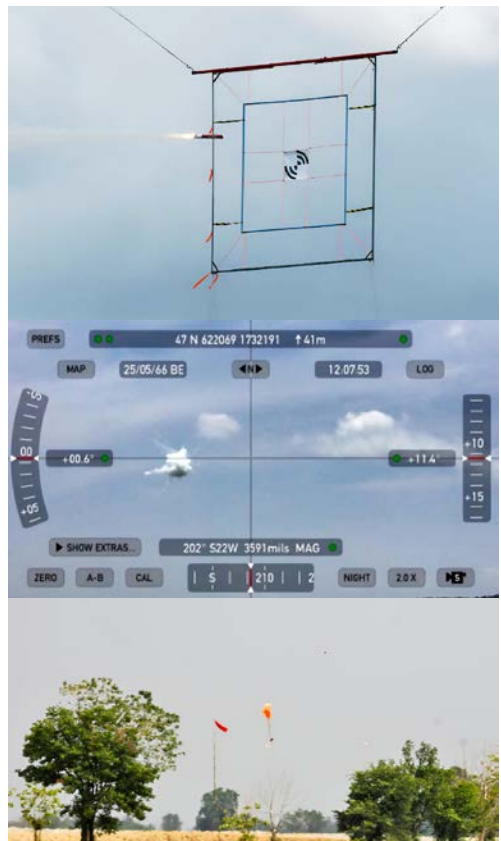
4.4 การจรวดทดสอบจรวดภาคพลวัต (Dynamic Test)

ผลการทดสอบจรวดภาคพลวัตที่ติดตั้งเป้าห่างจากแท่นยิงจรวดเป็นระยะทางแนวราบ 100 เมตร และระยะความสูง ณ จุดศูนย์กลางเป้าสูง 23 เมตร พร้อมทั้งติดตั้งเป้าหมายเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ค่าความคลาดเคลื่อนด้านละ 1.25 เมตร จากจุดศูนย์กลาง (1.25% ของ 100 เมตร) ดังแสดงในรูปที่ 18 พบว่า จรวดสามารถทำงานได้อย่างปกติและสมบูรณ์ ระบบการกระจายสารดับเพลิงและปล่อยร่มนิรภัยมีการขับเคลื่อนออกจากลำตัวจรวดเป็นไปตามการออกแบบที่ระยะที่กำหนด ซึ่งอยู่ในกรอบเป้าหมายที่ตั้งไว้ ดังแสดงในรูปที่ 19

ดังนั้น ผลการทดลองข้างต้นสามารถยืนยันได้ว่าจรวดสามารถเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายที่กำหนดได้อย่างถูกต้องและแม่นยำในลักษณะวิถีตรง โดยมีค่าคลาดเคลื่อนคาดคะเน (Probable Error) ไม่เกิน 1.25% ของระยะยิง



รูปที่ ๑๘ การติดตั้งเป้าเพื่อทดสอบภาคพลวัต



รูปที่ ๑๙ ภาพการทำงานของจรวดดับเพลิง

4.5 การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ

การทดสอบแบ่งเป็น 2 การทดสอบ ดังนี้

4.5.1 ระยะการกระจายตัวของสารดับเพลิง

ผลการทดสอบการกระจายสารดับเพลิงในพื้นที่เปิดโล่งพบว่า เมื่อจุดทดสอบแล้ว สารดับเพลิงสามารถกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 6x6 ตารางเมตร และผลการทดสอบการกระจายสารดับเพลิงในพื้นที่ปิด ซึ่งจำลองเป็นห้องพักหรือที่พักอาศัย ดังแสดงในรูปที่ 20 และ 21 พบว่า เมื่อจุดทดสอบแล้ว สารดับเพลิงสามารถกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 4x4 ตารางเมตร ซึ่งทั้ง 2 การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของสารดับเพลิงนั้นสามารถทำได้ตามที่ออกแบบไว้ คือ ครอบคลุมพื้นที่ 13 - 30 ตารางเมตร



รูปที่ 20 การกระจายสารดับเพลิงในพื้นที่เปิดโล่ง



รูปที่ 21 การกระจายสารดับเพลิงในพื้นที่ปิด

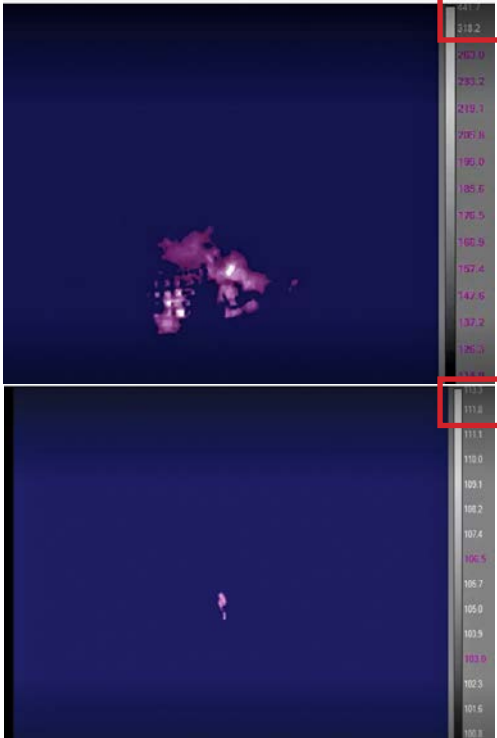


รูปที่ 22 แสดงกองเพลิงก่อนส่งจรวดเข้าหน่วยไฟ (ดับไฟ)

4.5.2 การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ

ในขั้นแรกเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของสารดับเพลิงกับกองเพลิงจำลองเทียบเคียงกับระดับความสามารถของเครื่องดับเพลิง 3-A พบว่า เมื่อส่งจรวดเข้าดับเพลิงแบบต่อเนื่องจำนวน 8 นัด (สารดับเพลิง 24 กิโลกรัม) สามารถลดอุณหภูมิของเปลวเพลิงจากประมาณ 700 - 800 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 22 ให้ลดลงเหลือน้อยกว่า 300 องศาเซลเซียส และเมื่อสารกระจายทั่วห้อง พบว่า สามารถดับไฟได้โดยอุณหภูมิลดลงเหลือ 100 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 23

หลังจากนั้นจึงได้ทำการทดลองหน่วงไฟโดยการจำลองพื้นที่เป็นห้องพักผ่อนหรือที่พักอาศัย ที่มีพื้นที่ห้องขนาดกว้าง 5 เมตร และยาว 7 เมตร พบว่า เมื่อส่งจรวดเข้าดับเพลิงแบบต่อเนื่อง จำนวน 8 นัด (สารดับเพลิง 24 กิโลกรัม) สามารถลดอุณหภูมิของเปลวเพลิงจากประมาณ 800 - 900 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 24 ให้ลดลงเหลือ 200 - 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 25 ซึ่งสามารถช่วยลดระดับความรุนแรงของกลุ่มเพลิงจากปรากฏการณ์ไฟไหม้ลุกลามให้เข้าสู่สภาวะที่สามารถเข้าไปจัดการกับกองเพลิงด้วยวิธีอื่นได้อย่างปลอดภัย



รูปที่ ๒๓ แสดงกองเพลิงหลังส่งจรวดเข้าห้วงไฟ (ดับไฟ)



รูปที่ ๒๔ แสดงกลุ่มไฟก่อนส่งจรวดเข้าห้วงไฟ (ดับไฟ)



รูปที่ ๒๕ แสดงกลุ่มไฟหลังส่งจรวดเข้าห้วงไฟ (ดับไฟ)

5. สรุปผลการวิจัย

จรวดดับเพลิงที่ได้ออกแบบวิจัยและพัฒนาในงานวิจัยนี้ มีคุณลักษณะเฉพาะดังตารางที่ 1 ซึ่งได้ทดสอบสมรรถนะของดินขับจรวดโดยการทดสอบจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งานและจุดทดสอบภาคสนามแล้ว มีรายละเอียดดังตารางที่ 2 ซึ่งมีผลสอดคล้องตามค่าที่ออกแบบไว้

หลังจากนั้นได้มีการนำไปทดสอบการทำงานของจรวดด้วยการทดสอบภาคพลวัต ด้วยการจุดทดสอบจรวดไปยังเป้าหมายที่ห่างจากแท่นยิงจรวดเป็นระยะทางแนวราบ 100 เมตร และระยะความสูง 23 เมตร พบว่า จรวดดับเพลิงที่ออกแบบทั้งหมดสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์และปลอดภัย โดยสามารถยิงเข้าพื้นที่เป้าหมายด้วยการคำนวณจากโปรแกรมอำนวยการยิง และกำหนดเวลาให้สอดคล้องกับวิถีเป้าหมายด้วยชุดระบบหน่วงเวลาอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนคาดคะเนไม่เกิน 1.25% ของระยะยิง

ส่วนประสิทธิภาพในการกระจายสารดับเพลิงของจรวดดับเพลิงหนึ่งนัดนั้น สามารถกระจายสารดับเพลิงชนิดผง ABC 90% จำนวน 3 กิโลกรัมครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายได้ 13 - 30 ตารางเมตรตามการออกแบบ

สำหรับประสิทธิภาพในการหน่วงหรือดับไฟตามการออกแบบ พบว่า สามารถหน่วงไฟที่กำลังลุกไหม้ในช่วงไฟไหม้ลุกลาม ซึ่งมีอุณหภูมิของเปลวเพลิงสูงเกิน 500 องศาเซลเซียส ที่กำลังจะเข้าสู่ขั้นการลุกลาม ให้สามารถลดความร้อนแรงของเปลวเพลิงลงเหลือ 200 - 300 องศาเซลเซียสได้ โดยจากการทดลองกับกองเพลิงจำลองเทียบเคียงระดับ 3-A พบว่า ต้องใช้จรวดซึ่งบรรจุสารดับเพลิงชนิดละ 3 กิโลกรัม จำนวน 8 นัด จึงจะสามารถดับไฟหรือหน่วงไฟให้ลดลงเข้าสู่สภาวะที่สามารถเข้าไปจัดการกับกองเพลิงด้วยวิธีอื่นได้

ตารางที่ 1 คุณลักษณะเฉพาะของจรวดดับเพลิง

จรวดดับเพลิง (Fire Fighting Rocket)	
เส้นผ่านศูนย์กลางจรวด	89 มิลลิเมตร
ความยาวลำตัวจรวด	$1,323 \pm 10$ มิลลิเมตร
น้ำหนักรวมจรวด	6.6 ± 0.2 กิโลกรัม
น้ำหนักดินขับจรวด	0.4 ± 0.01 กิโลกรัม
น้ำหนักสารดับเพลิง	3.0 ± 0.1 กิโลกรัม
ชนิดของสารดับเพลิง	สารเคมีผงชนิด ABC 90%
ย่านมุมยิงในการใช้งาน	20 – 80 องศา
ระยะยิงไกลสุด	1.0 กิโลเมตร
ย่านอุณหภูมิในการใช้งาน	-10°C ถึง +60°C
ความเร็วขณะตกถึงพื้น	≤ 8 เมตรต่อวินาที
รูปแบบการยิง	ยิงทีละนัดหรือยิงเป็นชุด

ตารางที่ 2 สมรรถนะของดินขับจรวด

ค่าแรงขับเฉลี่ย	575.20 นิวตัน
ค่าแรงดันเฉลี่ย	627.25 PSI
ค่าแรงขับสูงสุด	836.93 นิวตัน
ค่าแรงดันสูงสุด	907.40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ค่าแรงดลรวม	876.39 นิวตัน - วินาที
ระยะเวลาเผาไหม้	1.52 วินาที
ค่าการดลจำเพาะ	221.38 วินาที

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2565

ขอขอบคุณกองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหกรรมสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก ที่ให้การสนับสนุนดินดำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตส่วนกระจายสารดับเพลิง

ขอขอบคุณแผนกอาหารสัตว์ กองการสัตว์และเกษตรกรรมที่ 3 กรมการสัตว์ทหารบก จังหวัดนครสวรรค์ ที่สนับสนุนพื้นที่และสิ่งอำนวยความสะดวกในการทดสอบยิงจรวดภาคพลวัต

ขอขอบคุณกรมช่างอากาศ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีภาพถ่ายรังสีเอกซเรย์พร้อมเจ้าหน้าที่ ในการตรวจเพื่อควบคุมคุณภาพในการผลิตมอเตอร์จรวด

ขอขอบคุณสำนักป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กรุงเทพมหานคร ที่สนับสนุนบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านการเผชิญเหตุเพลิงไหม้เป็นทีมที่ปรึกษาโครงการ

ขอขอบคุณผู้บริหารและที่ปรึกษาสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและส่งเสริมในการวิจัยและพัฒนาโครงการจรวดดับเพลิง

ขอขอบคุณ พลโท ไกรเวทย์ พูลอำไย ที่ปรึกษาสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ที่กรุณาให้คำแนะนำและส่งเสริมการวิจัยจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ พลอากาศตรี เจษฎา ศิริรัฐนิคม ผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยและพัฒนาจรวดและอาวุธนำวิถี ที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะทางด้านวิชาการจนงานวิจัยฉบับนี้สมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณจักรกฤษณ์ คงคำ ผู้เชี่ยวชาญด้านการเผชิญเหตุเพลิงไหม้จากสถานีดับเพลิงและกู้ภัยสุทธิสาร ที่กรุณาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับหลักการและแนวทางในการทดสอบประสิทธิภาพในการหน่วงไฟของจรวดดับเพลิง

ขอขอบคุณ คุณประสาน แก้วทอง ผู้เชี่ยวชาญด้านการเผชิญเหตุเพลิงไหม้จากสถานีดับเพลิงและกู้ภัยสุทธิสาร ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาด้านเทคนิคในการทดสอบประสิทธิภาพในการหน่วงไฟของจรวดดับเพลิง

ขอขอบคุณนักวิจัยเจ้าหน้าที่โรงปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา จังหวัดนครสวรรค์และลพบุรี ตลอดจนเจ้าหน้าที่สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่เกี่ยวข้องทุกส่วนงาน ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยจนทำให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, “กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522,” ใน *ราชกิจจานุเบกษา*, ไทย: สคร., 2535, เล่ม 109 ตอนที่ 11, น. 6 - 23.
- [2] ช. โชคชวนันท์. “ถึงดับเพลิง ABC และ BC คืออะไร ทำให้ถึงต้องรู้?.” SATURNFIREPRODUCT.com. www.saturnfireproduct.com/article/9 (accessed Apr. 24, 2023).
- [3] X. Qiu, “A fire-fighting Device Suitable for Fire Fighting in High-rise and Super High-rise Buildings,” CN Patent 102580278, Dec. 25, 2013.

- [4] Sina Corporation. “It is Really for Civilian Use China Aerospace Science and Industry Develops Fire-fighting Missiles and Drones.” PHOTO.SINA.com.cn. http://slide.mil.news.sina.com.cn/Vslide_8_38692_63153.html#p=7 (accessed Apr. 24, 2023).
- [5] X. Lin et al., “Unidirectional Spray Type Fire Extinguishing Bomb without High Explosive Fragmentation,” CN Patent 102772865, Nov. 14, 2012.
- [6] Shanghai Oriental Press. “The New Realm of Missile Fire Extinguishing is Not Only High-rise Buildings but also Forests.” THEPAPER.cn. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_5223886 (accessed Apr. 24, 2023).
- [7] J. Wuliang, “A Domestically Produced Mysterious Vehicle Suddenly Fired 24 Missiles at the Building, Settling the Situation in one Fell Swoop, and Dubai Rushed to Purchase It.” KKNEWS.cc. <https://kknews.cc/other/2l4n9z9.html> (accessed Apr. 24, 2023).
- [8] Sina Corporation. “It is Really for Civilian Use China Aerospace Science and Industry Develops Fire-fighting Missiles and Drones.” PHOTO.SINA.com.cn. http://slide.mil.news.sina.com.cn/Vslide_8_38692_63153.html#p=6 (accessed Apr. 24, 2023).
- [9] M. M. Rafi, T. Aziz, and S. H. Lodi, “A Suggested Model for Mass Fire Spread,” *Sustain. Resilient Infrastruct.*, vol. 5, no. 4, pp. 214 - 231, Oct. 2018.
- [10] ก. จิตรภิมรย์, “ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอัคคีภัย,” *ก้าวหน้าโลกวิทยาศาสตร์*, ปีที่ 14, ฉบับที่ 1, หน้า 1-17, ม.ค. - มิ.ย., 2557.
- [11] พ. บุญยะรัตน์ และ ธ. กิตินิรันดร์กุล, “ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างผิวดินกับจรวดกับผนังท่อในจรวดดับเพลิง,” ใน *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 37*, สงขลา, ไทย, 2556, น. 247 - 254.