

การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าหลังปรับปรุงระบบควบคุมแท่นยิงจรวด

ชานนท์ เล็กอึ้ง^{1*}, เกียรติศักดิ์ เพ็ชรมีศรี¹ และ วรณชัชพัฒน์ ฤทธิ์เลื่อน¹

วันที่รับ 7 กรกฎาคม 2568 วันที่แก้ไข 9 ธันวาคม 2568 วันตอบรับ 17 ธันวาคม 2568

บทคัดย่อ

การปรับปรุงชุดอุปกรณ์ที่ไม่มีความพร้อมรบหรือล่าสมัยจัดเป็นการเสริมสร้างขีดความสามารถทางด้านการรบของกองทัพได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับปรุงสมรรถนะรถฐานยิงจรวดหลายลำกล้องที่มีการใช้งานมายาวนานให้สามารถรองรับเทคโนโลยีสมัยใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น นับได้ว่าเป็นแนวทางที่คุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดซื้อรถฐานยิงจรวดหลายลำกล้องคันใหม่ การศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองและประเมินการใช้พลังงานทางไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบควบคุมการยิงของรถฐานยิงจรวดหลายลำกล้องที่ได้รับการปรับปรุงให้มีความสามารถในการตั้งมุมทิศและมุมยิงได้อัตโนมัติ ด้วยการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและความแม่นยำของระบบควบคุมการเล็งในแท่นยิงจรวดแบบสองแกน ขนาด 122 มิลลิเมตร โดยใช้ระบบควบคุมแบบปิด (Closed-loop) ที่ขับเคลื่อนด้วย PLC และมอเตอร์เซอร์โว พร้อมเซนเซอร์วัดตำแหน่งในแนวราบ (Azimuth) และแนวตั้ง (Elevation) นอกจากนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลจากการทดสอบในสถานการณ์จำลองการรบและนำไปใช้ในการคำนวณผลเชิงทฤษฎีและประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละช่วงการปฏิบัติการยิงจรวด ผลจากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าค่าการใช้พลังงานสูงสุดของมอเตอร์สำหรับหมุนแท่นยิงจรวดในแนวราบ (Azimuth) และแนวตั้ง (Elevation) มีค่า 400 วัตต์ และพลังงานที่ใช้ต่อหนึ่งรอบการเล็งเท่ากับ 12.3 วัตต์-ชั่วโมง หากพิจารณาการเล็ง 15 - 20 ครั้งต่อภารกิจ จะมีความต้องการพลังงานรวมประมาณ 250 - 300 วัตต์-ชั่วโมง โดยระบบสามารถควบคุมตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ ซึ่งเพียงพอสำหรับการยิงระยะไกลแบบกลุ่ม และใช้งานได้ตลอดภารกิจ

คำสำคัญ: การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า, ระบบไฟฟ้าทางทหาร, ระบบควบคุมอาวุธ, รถยิงจรวดหลายลำกล้อง

¹ ส่วนงานวิศวกรรมยานรบ, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: chanon.l@dti.or.th

The Analysis of Electrical System for the Upgraded Rocket and Missile Launcher

Chanon Lekthamrong ^{1*}, Kiattisak Phetmeesri ¹ and Watchaphat Ridluan ¹

Received 7 July 2025, Revised 9 December 2025, Accepted 17 December 2025

Abstract

The modernization of obsolete or non-operational military equipment serves as an efficient means to enhance the combat capabilities of the military. Specifically, upgrading the performance of long-serving multiple-launch rocket systems (MLRS) to support modern technologies is a cost-effective alternative to purchasing new systems. This study developed a model and assessed the electrical energy consumption of the firing control system in an upgraded MLRS, which is capable of automatic azimuth and elevation angle adjustment. The system's energy usage and accuracy were analyzed using a closed-loop control system powered by a PLC and servo motors, with position sensors for both azimuth and elevation. Data collected from simulated combat scenarios were used to calculate theoretical results and assess energy consumption during rocket firing operations. The results showed that the maximum power consumption of the motors for azimuth and elevation rotation is 400 watts, with an energy consumption of 12.3 watt-hours per aiming cycle. Given 15 to 20 aiming cycles per mission, the total energy demand would be approximately 250 - 300 watt-hours. The system can accurately control the positioning, which is sufficient for long-range salvo firing and can operate continuously throughout the mission.

Keywords: electrical analysis, Vetronics, weapon control system, multiple rocket and missile launcher

¹ Military Vehicle Division, Defence Technology Institute

* Corresponding author: chanon.l@dti.or.th

1. ความเป็นมา

เทคโนโลยีทางทหารถือเป็นองค์ประกอบสำคัญของความมั่นคงแห่งชาติ ซึ่งแสดงถึงศักยภาพด้านการรบให้บรรลุเป้าหมายระดับชาติหรือใช้เป็นเครื่องมือป้องปรามภัยคุกคามจากภายนอก อีกทั้งปกป้องตามผลประโยชน์ของประเทศ เพื่อเสริมสร้างขีดความสามารถด้านความมั่นคง ยานพาหนะทางทหารรุ่นใหม่จึงถูกจัดหาเข้าประจำการอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม การพัฒนาอย่างต่อเนื่องนี้ส่งผลให้ยานพาหนะรุ่นเก่าที่มีอยู่จำนวนมากเริ่มล้าสมัย ทั้งที่ยังมีโครงสร้างพื้นฐานที่แข็งแรง ดังนั้นหากสามารถนำยานพาหนะรุ่นเก่ามาปรับปรุงให้สามารถรองรับเทคโนโลยีปัจจุบัน จะถือได้ว่าเป็นแนวทางที่คุ้มค่าและมีความเหมาะสมทางเศรษฐกิจมากกว่าการจัดหาใหม่ [1]

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) ได้ริเริ่มโครงการปรับปรุงรถถังหลายลำกล้องแบบ จลก.31 (Type 85) การปรับปรุง ได้แก่ การเสริมความแข็งแรงของโครงสร้าง การติดตั้งระบบปรับอากาศ (HVAC) การซ่อมบำรุงเครื่องยนต์ และพัฒนาระบบควบคุมแท่นยิงจรวดขนาด 122 มิลลิเมตร แบบอัตโนมัติ แสดงในรูปที่ 1 ระบบควบคุมแท่นยิงจรวดขนาด 122 มิลลิเมตร ส่งผลโดยตรงต่อระบบรถถังหลายลำกล้องแบบ จลก.31 (Type 85) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์จากระบบกลไกการตั้งยิงเดิมเป็นระบบไฟฟ้า ดังนั้นการออกแบบระบบไฟฟ้าทางทหาร (Vetronics) ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญในการออกแบบระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับการทำงานของระบบควบคุมการยิงอัตโนมัติในการทำหน้าที่เชื่อมโยงระบบย่อยต่าง ๆ เข้าด้วยกันให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ระบบควบคุมการยิงจรวดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Elamvazuthi และคณะ [2] ได้พัฒนาเครื่องมือวัดแหล่งจ่ายพลังงานระบบไฟฟ้าแบบสามเฟส และใช้ปรับปรุงการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม ในขณะที่ Kaytez และคณะ [3] ได้เปรียบเทียบวิธีทำนายการใช้พลังงานสามรูปแบบ ได้แก่ การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) และวิธี Support Vector Machine แบบกำลังสองน้อยที่สุด (LS-SVMs) ซึ่งผลการเปรียบเทียบพบว่า LS-SVMs ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและรวดเร็วกว่าวิธีอื่น

ดังนั้น บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบควบคุมการยิงจรวดอัตโนมัติที่ติดตั้งบนรถถังหลายลำกล้องแบบ จลก.31 (Type 85) ด้วยการทดลองภาคสนามและการจำลองทางคณิตศาสตร์

2. ระเบียบวิธีวิจัย

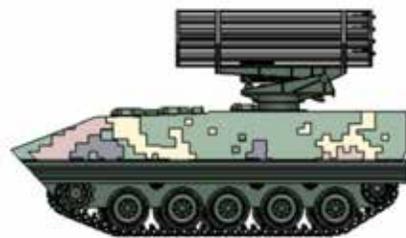
กระบวนการดำเนินการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบควบคุมแท่นยิงจรวดในรถถังหลายลำกล้องแบบ จลก.31 แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การพัฒนาและติดตั้งระบบ และการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบควบคุมแท่นยิงจรวดโดยละเอียดต่อไปนี้

2.1 การปรับปรุงรถถังหลายลำกล้องแบบ จลก.31

การดำเนินการปรับปรุงขีดความสามารถของรถถังหลายลำกล้องแบบ จลก.31 ประกอบการเปลี่ยนเครื่องยนต์ ประกอบด้วย

- การเปลี่ยนเครื่องยนต์
- การติดตั้งระบบปรับอากาศ (HVAC)
- การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติแท่นยิงจรวดอัตโนมัติ
- การเสริมโครงสร้างตัวถังให้สามารถรับแรงและน้ำหนักของระบบยิงจรวดขนาด 122 มิลลิเมตร ซึ่งเพิ่มระยะยิงสูงสุดจากเดิม 10 กิโลเมตร เป็น 40 กิโลเมตร

การออกแบบเบื้องต้นดำเนินการโดยใช้ซอฟต์แวร์ CAD เพื่อจำลองตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ และจัดสรรพื้นที่สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าใหม่ รวมถึงโครงสร้างเสริมกำลังที่จำเป็น



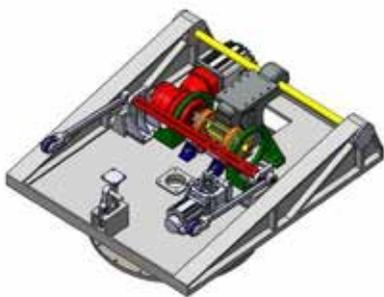
รูปที่ 1 การออกแบบด้วย CAD ของรถถังหลายลำกล้องแบบ จลก.31

2.2 การออกแบบระบบควบคุมแท่นยิงจรวด

ระบบควบคุมแท่นยิงจรวดเดิมใช้ระบบแมนนวลหรือมือหมุน ทั้งในการเล็งแนวตั้ง (Elevation) และแนวราบ (Azimuth) โดยเป็นการติดตั้งแท่นยิงจรวดหลายลำกล้องขนาด 130 มิลลิเมตร (30 นิ้ว) บนหลังคาตัวถังสามารถยิงจรวดได้สูงสุด 60 นัด การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติแท่นยิงจรวดแบบใหม่ได้ออกแบบให้ติดตั้งระบบควบคุมแท่นยิงจรวดขนาด 122 มิลลิเมตรอัตโนมัติ ซึ่งช่วยเพิ่ม

ระยะยิ่งได้มากขึ้น จึงจำเป็นต้องออกแบบระบบไฟฟ้าให้มีความเหมาะสม ให้สามารถรองรับการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส AC สำหรับการขับเคลื่อนแท่นยิง พร้อมระบบควบคุมด้วย PLC (Programmable Logic Controller) เชื่อมต่อกับชุดอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 24V DC เป็นไป 380V AC สำหรับจ่ายพลังงานให้มอเตอร์ นอกจากนี้ภายในรถฐานยิงจรวดหลายลำกล้องแบบ จลก.31 ได้ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเพิ่มเติม ได้แก่ ชุดเซนเซอร์ Proximity และ Encoder สำหรับระบุตำแหน่งสูงสุด - ต่ำสุดของการหมุน หน่วยแสดงผล (Display Unit) และชุดควบคุม (Controller Unit) ระบบจ่ายไฟ (Power Distribution Unit) และอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

การออกแบบระบบเน้นการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในพื้นที่จำกัดของรถฐานยิงจรวดหลายลำกล้องแบบ จลก.31 ได้อย่างเหมาะสมโดยคงความสามารถในการบำรุงรักษาที่ง่าย และความทนทานในการใช้งานภาคสนาม ดังแสดงในรูปที่ 2 - 3



รูปที่ 2 การออกแบบแท่นยิงจรวดโดยเป็นมอเตอร์ต่อกับชุดเกียร์ทดและเฟืองสำหรับยกชุดท่อยิงจรวด



รูปที่ 3 ชุดควบคุมของระบบแท่นยิงจรวดแบบปิดด้วย PLC (ติดตั้งภายในยานพาหนะ)

2.3 การเพิ่มแหล่งจ่ายพลังงานสำหรับโหมดยิงด้วยปิดเครื่องยนต์

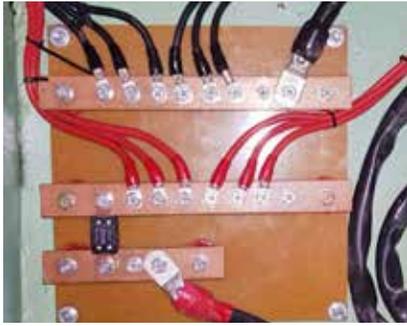
เนื่องด้วยระบบเดิมเป็นการยิงแบบแมนนวล จึงจำเป็นต้องเพิ่มแหล่งพลังงานสำหรับการจ่ายไฟไปยังชุดควบคุมมวมติคมมยิงอัตโนมัติ โดยเป็นการใช้แบตเตอรี่ยี่ห้อ Optima ขนาด 12V 75Ah จำนวน 12 ลูก ต่ออนุกรมและขนานกัน เพื่อให้ได้แรงดัน 24V 450Ah การต่อสายไฟจะใช้คอนเน็กเตอร์แบบชนิดขั้วแบตเตอรี่ โดยแบ่งออกเป็นขั้วบวก (เส้นสีแดง) และขั้วลบ (เส้นสีดำ) อย่างละสามเส้นทั้งสองด้าน นำมาต่อลง Bus bar บริเวณกลางรถด้านหลัง โดยขั้วลบทั้งหมดจะมารวมกันและรวมเป็นสายไฟเส้นใหญ่ไปยัง PDB เพื่อทำการต่อลงกราวด์ ส่วนสายไฟเส้นใหญ่จะต่อลง Bus bar ผ่านชุดจำกัดแรงดันที่ 300A แล้วต่อเข้ากับเส้นใหญ่เพื่อต่อไปยังไฟขั้วบวกของชุดกระจายไฟ PDB ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4 - 7



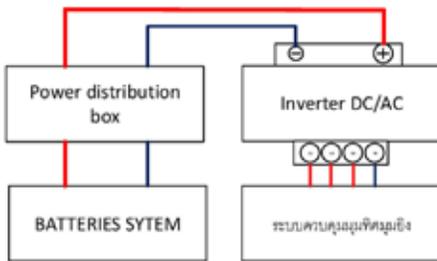
รูปที่ 4 ชุดแบตเตอรี่ที่เพิ่มเข้ามาสำหรับภารกิจยิงโดยไม่สตาร์ทเครื่องยนต์ของระบบแท่นยิงจรวดอัตโนมัติติดตั้งอยู่ 6 ลูก ได้ฝั่งพลโดยสารฝั่งซ้ายของรถฐานยิงจรวด



รูปที่ 5 ชุดแบตเตอรี่ที่เพิ่มเข้ามาสำหรับภารกิจยิงโดยไม่สตาร์ทเครื่องยนต์ของระบบแท่นยิงจรวดอัตโนมัติติดตั้งอีก 6 ลูก ได้ฝั่งพลโดยสารฝั่งขวาของรถฐานยิงจรวด



รูปที่ 6 แผง Bus bar ของชุดแบตเตอรี่โดยจะทำการต่ออนุกรมและขนานกันเพื่อให้ได้แรงดัน 24 V 450A



รูปที่ 7 แผนผังการต่อพลังงานไฟฟ้าไปยังระบบควบคุมมุมยิงของรถฐานยิงจรวดหลายลำกล้อง

2.4 สถาปัตยกรรมและองค์ประกอบของระบบควบคุมแท่นยิงจรวด

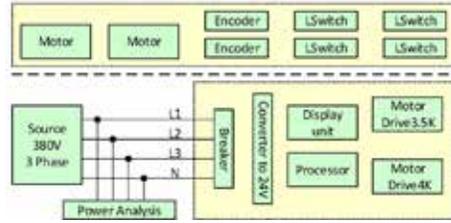
บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแท่นยิงจรวด แสดงในรูปที่ 8-9 โดยแบ่งองค์ประกอบหลักของระบบออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนติดตั้งภายนอก และส่วนติดตั้งภายในของรถฐานยิงจรวดหลายลำกล้องแบบ จลก.31

อุปกรณ์ส่วนติดตั้งภายนอก ประกอบด้วย

- มอเตอร์เซอร์โว (Servo Motors)
- เซนเซอร์ตรวจจับระยะใกล้ (Proximity Sensors)
- อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งเชิงมุม (Encoders)

อุปกรณ์ส่วนติดตั้งภายในตัวรถ ประกอบด้วย

- ชุดแบตเตอรี่
- อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส
- หน่วยกระจายไฟฟ้า (Power Distribution Unit)
- ตัวแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (AC-DC Converter)
- หน่วยแสดงผล (Display Unit)
- คอนโทรลเลอร์ PLC (Programmable Logic Controller)
- ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ (Motor Drive Systems)



รูปที่ 8 แผนผังของเซนเซอร์และอุปกรณ์ทั้งภายนอกและภายในของระบบยิงจรวดอัตโนมัติรถฐานยิงจรวดหลายลำกล้องแบบ จลก.31

แท่นยิงจรวดได้รับการออกแบบให้รองรับจรวดขนาด 122 มิลลิเมตร มีการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับระยะใกล้ (Proximity Sensor) เพื่อกำหนดตำแหน่งมุมสูงสุดและวางอีกตำแหน่งตรงจุดเริ่มต้น (Home Position) สำหรับการหมุนในแนวตั้ง และเคลื่อนที่ในแนวราบ (Azimuth) ที่ใช้เซนเซอร์อีก 2 จุด เพื่อตรวจจับขีดจำกัดของมุมการหมุนและการยก โดยใช้ Encoder ที่ติดตั้งกับมอเตอร์เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ส่งค่ามาเพื่อออกมุมในระบบ PID และใช้พลังงานไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ซึ่งแปลงไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 24V DC ไปเป็น 380V AC สำหรับจ่ายไฟให้มอเตอร์ระบบควบคุมแท่นยิง



รูปที่ 9 หน้าตาของชุด PLC โดยด้านซ้ายเป็นการกำหนดมุมยก และหน้าทางด้านขวาเป็นการกำหนดมุมทิศ

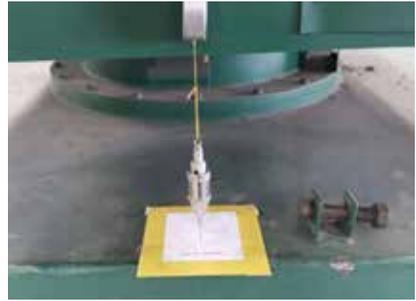
3. กระบวนการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์

ในการเก็บข้อมูลได้มีการทดสอบการตั้งค่ามุมทิศมุมยิงที่ระดับมุมต่าง และทำการเปรียบเทียบค่าให้เห็นถึงความแม่นยำของค่าที่ตั้ง ค่าที่ทำได้ และมีการตรวจสอบภายนอกด้วยเครื่องมือวัดมุมมาตรฐานของทางกองทัพอีกครั้ง โดยผลค่าความแม่นยำมีดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าความแม่นยำเมื่อทำการเพิ่มมุมยิง

ค่ากำหนด (Setting Value)		ค่าที่วัดได้ จาก PLC		Error (Mil)
(องศา)	SV (Mil)	PV (Mil)	(SV-PV)	
0	0	1.1	1.1	
5	89	88	-1	
10	178	176.5	-1.5	
15	267	266.6	-0.4	
20	356	357	1	
25	445	446.7	1.7	
30	533	534.2	1.2	
35	622	621.6	-0.4	
40	711	709.1	-1.9	
45	800	798.4	-1.6	
50	889	890.8	1.8	
55	978	986	8	
ค่า Error เฉลี่ย				0.7

เครื่องวัดมุม	Diff. (Mil)
ปรับตั้ง	(SV-เครื่องวัดมุม)
29.7	29.7
109	20
191	13
292.1	25.1
383.1	27.1
478.1	33.1
571.5	38.5
667.9	45.9
744.2	33.2
827	27
926.7	37.7
1020.7	42.7
ค่า Diff. เฉลี่ย	31.1



รูปที่ 10 การวัดค่าความแม่นยำของมุมทิศ จะใช้เป็นการวางจุดทดสอบเทียบค่าที่ตั้งค่าจากชุด PLC

ตารางที่ 3 การตรวจสอบค่าความแม่นยำของมุมทิศ

ค่ากำหนด (Setting Value)		ค่าที่วัดได้ จาก PLC		Error (Mil)
(องศา)	SV (Mil)	PV (Mil)	(SV-PV)	
0	0	0	0	อยู่ในจุดทดสอบ
90	1600	1600	0	อยู่ในจุดทดสอบ
180	3200	3200	0	อยู่ในจุดทดสอบ
270	4800	4800	0	อยู่ในจุดทดสอบ
360	6400	6400	0	อยู่ในจุดทดสอบ

ตารางที่ 2 ค่าความแม่นยำเมื่อทำการลดมุมยิง

ค่ากำหนด (Setting Value)		ค่าที่วัดได้ จาก PLC		Error (Mil)
(องศา)	SV (Mil)	PV (Mil)	(SV-PV)	
50	889	890.8	1.8	
45	800	798.4	-1.6	
40	711	709.1	-1.9	
35	622	621.6	-0.4	
30	533	534.2	1.2	
25	445	446.7	1.7	
20	356	357	1	
15	267	266.6	-0.4	
10	178	176.5	-1.5	
5	89	88	-1	
0	0	1.1	1.1	
ค่า Error เฉลี่ย				0

เครื่องวัดมุม	Diff. (Mil)
ปรับตั้ง	(SV-เครื่องวัดมุม)
948.4	59.4
844.2	44.2
758.4	47.4
669.9	47.9
583.2	50.2
499.6	54.6
395.6	39.6
304	37
212.8	34.8
120.2	31.2
31.8	31.8
ค่า Diff. เฉลี่ย	43.5

จากผลของตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นว่ามอเตอร์และ Encoder ที่ใช้มีความแม่นยำ โดยหากวัดมุมเทียบกับแท่นวาง จะได้ค่าที่แม่นยำสูง แต่เมื่อเทียบกับเครื่องวัดมุมของทางกองทัพแล้วจะพบว่าค่าที่ได้มีค่าต่างเฉลี่ย 31.1 และ 43.5 Mil. เนื่องด้วยการวัดมุมด้วยเครื่องมือของกองทัพ ดังแสดงในรูปที่ 10 จะใช้เป็นการเทียบมุมกับระดับน้ำของพื้นโลก ซึ่งตัวรถฐานยิงจรวดนี้บางครั้งไม่ได้ตั้งอยู่บนพื้นที่ราบเรียบสนิท ทำให้มีช่องว่างตรงนี้เกิดขึ้น ทำให้ในอนาคตอาจต้องคำนึงถึง IMU ที่บอกระนาบของตัวรถฐานยิงจรวดมาใช้ในการคำนวณต่อไป

เนื่องด้วยเครื่องมือของกองทัพเป็นการวัดความสูงเทียบกับระดับน้ำ ทำให้ในการตรวจสอบค่าความแม่นยำของมุมทิศจึงเป็นการกำหนดจุดทุก ๆ 90 องศาแทน ซึ่งผลการทดสอบทั้งการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาแม่นยำทุกจุด ดังตารางที่ 3

การเก็บข้อมูลและวัดค่าทางไฟฟ้าในระบบควบคุมแท่นยิงจรวดด้วยอุปกรณ์วัดไฟฟ้า CHUVIN ARNOUX รุ่น CA-8335 ซึ่งมีช่วงเวลากการเก็บข้อมูล (Sampling Period) เท่ากับ 1 วินาที โดยการทดลองได้ครอบคลุมสถานการณ์การทำงานในรูปแบบและการทำงานในสถานการณ์การรบ

3.1 สมการการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้า

เพื่อประเมินระยะเวลาใช้งานระบบ จำเป็นต้องทราบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ:

$$P = \sum_{i=1}^n V_i * A_i * PF_i \quad (1)$$

โดยที่

- P** คือ กำลังไฟฟ้ารวม (วัตต์)
- V** คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) ของแต่ละเฟสจากอินเวอร์เตอร์
- A** คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
- PF** คือ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)

3.2 การเก็บข้อมูลจากการทดลอง

วัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่อไปนี้ กระแสไฟฟ้า (Current), แรงดันไฟฟ้า (Voltage), ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) โดยใช้แหล่งจ่ายพลังงานภายนอกที่มีความเสถียร และดำเนินการทดสอบภายใต้สภาวะโหลดเต็มกำลังของแท่นยิง

3.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบควบคุมแท่นยิงของรถฐานยิงจรวดหลายลำกล้องถูกแบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

3.3.1 การทดสอบการตั้งมุมยิง (Elevation Test)

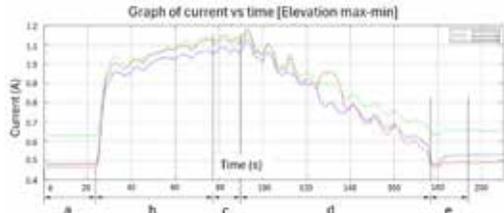
แท่นยิงเริ่มหมุนจากตำแหน่ง 0 องศา ไปยังมุมยกสูงสุด และกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 11 โดยแบ่งช่วงเวลาการทำงานออกเป็น:

- a: ตำแหน่งเริ่มต้น
- b: ระยะเวลาการหมุนจาก 0 ถึงมุมสูงสุด
- c: ค้างอยู่ที่มุมสูงสุดเป็นเวลา 2 นาที
- d: ระยะเวลาการหมุนกลับจากมุมสูงสุดสู่ตำแหน่งเริ่มต้น
- e: กลับสู่ตำแหน่ง 0 องศา

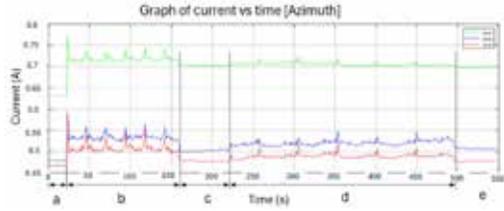
3.3.2 การทดสอบการหมุนในแนวราบ (Azimuth Test)

แท่นยิงเริ่มหมุนจาก 0 องศา (ด้านหน้ารถ) หมุนรอบในแนวราบแล้วกลับมาที่ตำแหน่งเริ่มต้น โดยผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 12 โดยช่วงเวลาทดลองประกอบด้วย:

- a: ตำแหน่งเริ่มต้น
- b: การหมุนไปยังมุมสูงสุด (ตามเข็มนาฬิกา)
- c: ค้างที่มุมสูงสุด 2 นาที
- d: หมุนกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้น
- e: กลับสู่ตำแหน่ง 0 องศา



รูปที่ 11 กราฟแสดงผลการวัดการทดสอบการหมุนในตั้ง



รูปที่ 12 กราฟแสดงผลการวัดการทดสอบการหมุนในราบ

4. ผลการจำลอง

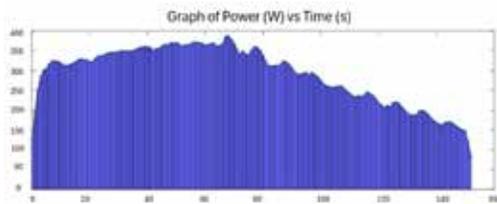
นำข้อมูลการทดลองจริงใช้ในกระบวนการวิเคราะห์และจำลองผลด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการคำนวณค่าพลังงานในระบบไฟฟ้า โดยใช้หลักการคำนวณพื้นฐานจากสมการที่ (1) โดยข้อมูลจากการทดลองที่ได้จะอยู่ในรูปของกราฟกระแสไฟฟ้าตามช่วงเวลาซึ่งค่าพลังงานรวมของระบบในแต่ละกรณีสามารถหาค่าได้จาก พื้นที่ใต้กราฟ (Area Under Curve) ซึ่งแทนค่าพลังงานทั้งหมดที่ถูกใช้ในเวลานั้น

จำลองสถานการณ์การรบ (Combat Operation Scenario) ซึ่งเป็นกรณีที่ครอบคลุมการขับเคลื่อนแท่นยิงของระบบควบคุมทั้งในแนวราบ (Azimuth) และแนวตั้ง (Elevation) อย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงการใช้งานระบบไฟฟ้าในการควบคุมการทำงานแท่นยิงจรวดจริงในสนามรบดังแสดงในรูปที่ 13

ผลการวิเคราะห์และคำนวณด้วยพบว่า พลังงานรวมที่ใช้หนึ่งรอบการทำงานของระบบควบคุมการตั้งมุมยิงมีค่าเท่ากับ 44,191 วัตต์ - วินาที (W-s) หรือ 12.3 วัตต์ - ชั่วโมง (Wh) ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญและจำเป็นเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบและเลือกสมรรถนะของแบตเตอรี่ให้สามารถรองรับการทำงานของระบบควบคุมการตั้งมุมยิงในกรณีที่ต้องใช้งานในโหมดเจ็บบ (ไมส์ตาร์ตเครื่องยนต์)

กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Power) ที่ระบบใช้ระหว่างการดำเนินงานอยู่ที่ 385 วัตต์ (W) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบขนาดของสายไฟและระบบแหล่งจ่ายไฟ (Power Source) ให้สามารถรองรับภาระกรรมได้อย่างปลอดภัยและมีเสถียรภาพ

จากผลการทดลองและคำนวณดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่า ระบบไฟฟ้าทางทหารที่ได้รับการออกแบบ (Designed Vetronics System) สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง และวงจรไฟฟ้าได้รับการออกแบบให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานจริง นอกจากนี้ระบบยังสามารถใช้งานในการกิจทางยุทธวิธีที่มีความเจ็บในการปฏิบัติภารกิจได้ ส่งผลต่อความได้เปรียบในการรบ



รูปที่ 13 การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้า

$$\text{Total power} = \frac{44,191W}{S} = \frac{44,191W}{3600hr} = 12.3 \text{ Watt/hr}$$

$$\text{Maximum power} = 385 \text{ Watt}$$

5. บทสรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบควบคุมแท่นยิงจรวดระบบควบคุมการยิงจรวดอัตโนมัติที่ติดตั้งบนรถฐานยิงจรวดหลายลำกล้องแบบ จลก.31 (Type 85) โดยมุ่งเน้นการศึกษาการใช้พลังงานจริงจากการวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าและการจำลองข้อมูลเพื่อนำผลลัพธ์ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้า (Electrical Power Distribution System) ให้สามารถรองรับภารกิจทางทหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

- ค่าความแม่นยำของมุลยเฉลี่ยสูงสุดที่ 43.5 Mil. (ขึ้นกับระนาบของพื้น)
- ค่าความแม่นยำของมุลยที่อยู่ในเกณฑ์แม่นยำ
- กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้สำหรับการหมุนแท่นยิง 400 วัตต์
- การใช้พลังงานรวมในสถานการณ์การรบต่อหนึ่งรอบการยิงทั้งหมด 12.3 วัตต์-ชั่วโมง (Wh)
- เมื่อพิจารณาที่ระบบแบตเตอรี่ 1 ชุด 24V 75ah ซึ่งคิดเป็น 1800 Wh ทำให้ระบบสามารถใช้งานต่อเนื่องในโหมดเงียบ (ไม่สตาร์ทเครื่องยนต์) ได้ยาวนานสูงสุดถึง 146 ครั้ง ภายใต้ความจุของแบตเตอรี่ที่ออกแบบไว้ตามค่าพลังงานที่คำนวณได้

ผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและปรับแต่งระบบพลังงานของระบบไฟฟ้าหลักของรถฐานยิงจรวดหลายลำกล้องแบบ จลก.31 (Type 85) เพื่อให้สามารถรองรับภารกิจเฉพาะทาง เช่น ภารกิจที่ต้องการความเงียบสูงสุด และยังสามารถต่อยอดไปสู่การพัฒนาขบวนรบสมัยใหม่ที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานไฟฟ้าที่มีความเหมาะสมต่อภารกิจทางทหารยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์สำหรับการวัดและเก็บข้อมูลจากการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Threepopnartkul and A. Ridluan, "Load analysis and structural improvement of the tracked armored vehicle," in *Proc. Int. Conf. on Engineering, Technology, and Innovative Cultural and Applied Sciences (ITETICAS)*, Tokyo, Japan, Jun. 2017,.
- [2] I. Elamvazuthi, M. K. A. Ahamed Khan, S. B. B. Shaari, R. Sinnadurai, and M. Amudha, "Electrical power consumption monitoring using a real-time system," in *Proc. 2012 IEEE Conf. Sustainable Utilization and Develop. in Eng. and Technol. (STUDENT)*, Kuala Lumpur, Malaysia, Oct. 6-9, 2012, pp. 295-298.
- [3] F. Kaytez, M. C. Taplamacioglu, E. Cam, and F. Hardalac, "Forecasting electricity consumption: A comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 67, pp. 431-438, May 2015.
- [4] P. Puaspis and A. Ridluan, "Validation of HVAC system simulation for armored vehicle," *Int. J. Ind. Electron. Electr. Eng.*, vol. 6, no. 11, pp. 32-34, Nov. 2018.