

การวิจัยและออกแบบยานเกราะล้อ 4x4 อเนกประสงค์

กฤษณ์ ตรีภวนาถกุล¹ ชานนทร์ เล็กอึ้ง^{1*}
เกียรติศักดิ์ เพ็ชรเมธี¹ อรรถพล เจริญผล¹ และ วรณชพัฒน์ ฤทธิ์เลื่อน¹

วันที่รับ 3 พฤษภาคม 2567 วันที่แก้ไข 30 กรกฎาคม 2567 วันตอบรับ 29 สิงหาคม 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยและออกแบบยานเกราะล้อ 4x4 อเนกประสงค์ มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนายานเกราะล้อ 4x4 ตามความต้องการของกองทัพ ด้วยระเบียบวิธีทางวิศวกรรมศาสตร์ที่เป็นระบบ โดยเริ่มจากการรวบรวมความต้องการของหน่วยผู้ใช้งานและออกแบบตามความต้องการ ดำเนินการวิเคราะห์สมรรถนะทางพลศาสตร์หรือการขับเคลื่อน (Vehicle Dynamics Performance) และสมรรถนะในการป้องกันตนเอง (Protection Performance) เมื่อผลการวิเคราะห์ตรงตามข้อกำหนดที่ตั้งไว้ จึงดำเนินการออกแบบและพัฒนาส่วนประกอบต่าง ๆ ในระบบย่อย แล้วนำมาประกอบเป็นยานเกราะล้อ 4x4 อเนกประสงค์ ที่สมบูรณ์ จากนั้นทำการพิสูจน์และทวนสอบ (Verification) ด้วยการทดสอบในสนามทดสอบเฉพาะทางและการทดสอบคุณลักษณะเฉพาะการใช้งาน เพื่อให้มั่นใจว่ายานเกราะล้อ 4x4 อเนกประสงค์ มีคุณลักษณะเฉพาะในการใช้งานเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ เพื่อให้ระบบมีความสมบูรณ์ (Validation) ผลการทดสอบพบว่า ยานเกราะล้อ 4x4 อเนกประสงค์ สามารถปฏิบัติภารกิจเป็นไปตามความต้องการและมีสมรรถนะการใช้งานทั่วไปที่มีความทันสมัยและมีประสิทธิภาพดี สามารถใช้ยานเกราะล้อ 4x4 อเนกประสงค์ ในพื้นที่ภูมิประเทศที่ทุรกันดารได้เป็นอย่างดี มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวก ข้างง่าย ช่วงล่างนิ่มนวล สามารถลำเลียงพลและทำความเร็วได้ดีตรงตามความต้องการของผู้ใช้

คำสำคัญ : ยานเกราะล้อ 4x4, การป้องกันกระสุน, ยานเกราะอเนกประสงค์

¹ ส่วนงานวิศวกรรมยานรบ, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: chanon.l@dti.or.th,

Research and Design of Multi - purposed 4x4 Wheeled Armored Vehicle

Krit Threepopnartkul¹ Chanon Lekthamrong^{1*}

Kiattisak Phetmeesri¹ Attapon Charoenpon¹ and Watchaphat Ridluan¹

Received 3 May 2024, Revised 30 July 2024, Accepted 29 August 2024

Abstract

The research and design of the 4x4 multi-purpose wheeled armored vehicle focused on developing a vehicle to the needs of the Army using a systematic engineering approach. The project began with the collection of user requirements, followed by design and analysis of vehicle dynamics and protection performance. Upon meeting the specified criteria, subsystems were designed, developed, and assembled into a complete vehicle. Verification involved specialized field tests and functional evaluations to ensure the vehicle met defined operational standards. The results confirmed that the 4x4 multi-purpose wheeled armored vehicle fulfilled mission requirements, exhibiting modern and efficient performance. It proved to be well-suited for rugged terrains, equipped with user-friendly features, smooth suspension, capable of transporting personnel and achieving desired speeds as specified by the users.

Keywords : Armour vehicle 4x4, Ballistic protection, Multi - purposed vehicle

¹ Military Vehicle Division, Defence Technology Institute

* Corresponding author, E-mail: chanon.l@dti.or.th

1. บทนำ

งานวิจัยนี้จะเป็นการมุ่งเน้นการวิจัยและพัฒนายานเกราะล้ออย่าง 4x4 อเนกประสงค์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำองค์ความรู้การออกแบบ การวิจัย และการพัฒนาเทคโนโลยียานเกราะล้ออย่าง 8x8 มาใช้ในการวิจัยและพัฒนาสมรรถนะยานเกราะล้ออย่าง 4x4 อเนกประสงค์ที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ และเกิดเครือข่ายความร่วมมือด้านการพัฒนาและส่งเสริมสร้างศักยภาพการวิจัยในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ นำไปสู่การพัฒนาความร่วมมือระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) และบริษัทผู้ร่วมทุน คือ บริษัท ชัยเสรีเมท์ทอลแอนด์รีเบอรั จำกัด

ยานเกราะล้ออย่าง 4x4 อเนกประสงค์เป็นยานพาหนะช่วยรบขับเคลื่อน 4 ล้อ ที่มีความคล่องแคล่ว ในการเคลื่อนที่ทั้งบนทางราบและทางในภูมิประเทศ สามารถใช้ปฏิบัติการกิจในพื้นที่ทุรกันดารได้ดี ใช้ได้หลากหลายภารกิจ ตลอดจนการนำมาใช้ลำเลียงขนส่งเจ้าหน้าที่หน่วยทหารปฏิบัติการพิเศษเพื่อขยายขีดความสามารถในการป้องกันรักษาและแก้ไขปัญหาในการผลประโยชน์ของชาติในพื้นที่ภูมิภาคต่าง ๆ ตามยุทธศาสตร์ชาติสามารถลำเลียงกำลังพลพร้อมอาวุธประจำกายและสัมภาระที่จำเป็น

งานวิจัยฉบับนี้แบ่งเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 จะกล่าวถึงความเป็นมา จากนั้นส่วนที่ 2 จะเป็นการทบทวนวรรณกรรม ในส่วนที่ 3 นำเสนอผลการวิจัยและพัฒนา ซึ่งเป็นการประยุกต์ทฤษฎีการออกแบบเพื่อศึกษาและปรับปรุงสมรรถนะระบบยานเกราะล้ออย่าง 4x4 อเนกประสงค์ ผลการทดสอบจะกล่าวถึงในส่วนที่ 4 และในส่วนสุดท้ายของงานวิจัยเป็นการสรุปผลการศึกษาค้นคว้าวิจัย

2. การทบทวนวรรณกรรม

ที่ผ่านมาในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับยานเกราะล้ออย่างเป็นขั้นความลับทางการทหาร จึงไม่มีการเผยแพร่อย่างแพร่หลาย โดยที่ผ่านมานั้นการวิจัยและพัฒนายานเกราะล้ออย่างที่ได้รับการตีพิมพ์เป็นเพียงบทความวิชาการที่มุ่งเน้นถึงการประยุกต์ใช้การจัดทำแบบจำลอง และการจำลองผลเชิงตัวเลขที่ใช้ในกระบวนการออกแบบ การวิจัยและพัฒนายานเกราะล้ออย่าง นำเสนอโดย M. Hoenlinger และคณะ [1]

เพื่อให้กระบวนการการออกแบบ วิจัย พัฒนา และการทดสอบ ตลอดจนการเตรียมการยานเกราะล้ออย่าง 8x8 เป็นมาตรฐาน สทป. จึงได้ริเริ่มประยุกต์ใช้กระบวนการวงจรการจัดการผลิตภัณฑ์ (Product Lifecycle Management) นำเสนอในรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยและพัฒนาความร่วมมือยานเกราะล้ออย่างสำหรับปฏิบัติการกิจของหน่วยบัญชาการนาวิกโยธิน (นย.) [2] และรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยและพัฒนาความร่วมมือยานเกราะล้ออย่าง 8x8 (ลำเลียงพล) [3]

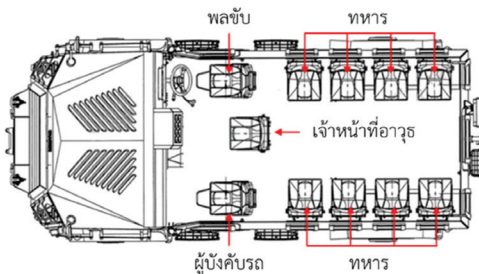
3. ผลการวิจัยและพัฒนา

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการวิจัย ออกแบบและพัฒนายานเกราะล้ออย่าง 4x4 อเนกประสงค์ ให้เป็นไปตามความต้องการของกองทัพ โดยยานเกราะล้ออย่าง 4x4 อเนกประสงค์มีความต้องการให้สามารถบรรทุกกำลังพลได้รวม 11 นาย มีอำนาจการยิงโดยติดตั้งระบบอาวุธขนาด 7.62 มิลลิเมตร (มม.) สามารถทำงานแบบอัตโนมัติที่ทันสมัย ติดตั้งระบบวิทยุสื่อสารทางทหารตามมาตรฐานที่กองทัพใช้งาน และมีความสามารถป้องกันอันตรายจากการถูกยิงโจมตีจากทางด้านข้างได้สูงสุดตามมาตรฐาน NATO STANAG ระดับ 2 และสามารถป้องกันแรงระเบิด

จากทางด้านล่างตามมาตรฐาน NATO STANAG ระดับ 2a และ 2b [4] มีความสามารถในการเคลื่อนที่บนบกได้ตามมาตรฐาน และได้ติดตั้งระบบจำเป็นต่อความปลอดภัยของกำลังพล

3.1 การจัดวางพื้นที่ภายในระบบตัวถัง (Space Management)

การพิจารณาตัวถังและโครงสร้างนั้นคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น แนวคิดในการจัดวางผู้โดยสารภายในยานเกราะและการจัดวางอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถตลอดจนการพิจารณาความอยู่รอดของยานเกราะ ล้อยาง เป็นต้น เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ยานเกราะล้อยาง 4x4 อเนกประสงค์สามารถบรรจุพลขับ 1 คน ผู้บังคับรถ 1 คน เจ้าหน้าที่อาวุธ 1 คน และพลรบ 8 คน โดยศึกษาการจัดวางเรียงพลขับ 1 คน ผู้บังคับรถ 1 คน เจ้าหน้าที่อาวุธ 1 คน และทหาร 8 คน เป็นไปตามรูปที่ 1 โดยการจัดเรียงเก้าอี้ของทหารมีลักษณะแบบเดียวกับการจัดเรียงเก้าอี้ของยานเกราะล้อยาง 8x8 ของ สทป. ทำให้การเข้าออกตัวยานเกราะล้อยาง 4x4 อเนกประสงค์สามารถเข้าและออกได้ง่าย สะดวก และคล่องแคล่วกว่า



รูปที่ 1 การจัดเรียงเก้าอี้สำหรับพลขับ 1 คน ผู้บังคับรถ 1 คน เจ้าหน้าที่อาวุธ 1 คน และทหาร 8 คน

3.2 การป้องกันกระสุน

การป้องกันขีปนาวุธหรือกระสุนนั้น เป็นการศึกษาด้านพฤติกรรมของการกระแทก (Impact) มีการเกี่ยวข้องกับหลายแขนงวิชา อย่างวัตถุที่กระแทกด้วยความเร็วต่ำกว่า 2 เมตร/วินาที (m/s) อาจพิจารณาเป็นพฤติกรรมในรูปแบบของพลศาสตร์ในโครงสร้าง (Structural Dynamic) ที่ทำให้เกิดเพียงหลุมกด (Indentation) เพียงเล็กน้อย

ผลงานวิจัยที่ได้พัฒนาสมการอธิบายการทำนายความหนาของแผ่นเกราะ เอกสาร UFC4-023-07 [5] ได้แสดงสมการที่ใช้ในการคำนวณหาความหนาของแผ่นเหล็กสำหรับป้องกันการเจาะทะลุของกระสุน

$$T = D \left(\frac{V m^{0.5} \cos^{0.8}(\theta)}{1.125 D^{1.5} \log_{10}(BHN)} \right)^{1.25} \quad (1)$$

โดยที่

T คือ ความหนาของแผ่นเหล็กที่ไม่ทำให้เกิด Perforation ในหน่วย มม.

V คือ ความเร็วของหัวกระสุนในหน่วย m/s

m คือ มวลของหัวกระสุนในหน่วย กก.

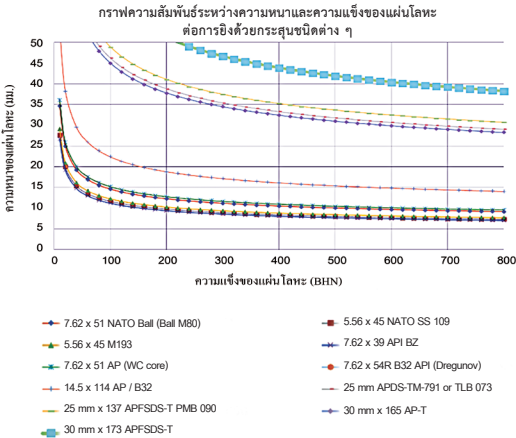
θ คือ มุมตกกระทบของกระสุนในหน่วย องศา

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกระสุนในหน่วย มม.

BHN คือ ความแข็งบริเนลล์ของตัวแผ่นโลหะ

จากสมการที่ (1) สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของแผ่นเกราะเหล็กและความหนาของแผ่นเกราะเหล็กที่ต้องใช้ในแต่ละชนิดของกระสุนปืนได้ การทำนายการยิงด้วยกระสุนปืนตามมาตรฐาน STANAG 4569 [5] ใส่แผ่นเกราะเหล็ก Armox500t ด้วยสมการที่ (1) สามารถทำนาย

ความหนาของแผ่นเหล็กอย่างน้อย 7 มม. สำหรับการยิงกระสุนตามมาตรฐาน STANAG 4569 ระดับ 1 และ 2 ส่วนการยิงกระสุนตามมาตรฐาน STANAG 4569 ระดับ 3 และ 4 สามารถทำนายความหนาของแผ่นเหล็กอย่างน้อย 10 มม. และ 15 มม. ตามลำดับ และการยิงกระสุนตามมาตรฐาน STANAG 4569 ระดับ 5 และ 6 นั้นต้องการความหนาของแผ่นเหล็กอย่างน้อย 34 มม. และ 43 มม. ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การทำนายการยิงด้วยกระสุนปืนตามมาตรฐาน STANAG 4569 ใส่แผ่นเกราะเหล็ก ArmoX500t ด้วยสมการที่ (1)

การทำนายด้วยการจำลองการยิงกระสุนใส่แผ่นเกราะด้วยกระสุนขนาด 14.5 มม. (STANAG ระดับ 4) ใส่แผ่นเกราะ ArmoX500t ที่ความหนา 10, 15, 20 และ 25 มม. ตามลำดับ (มุมยิง 0 องศา เป็นมุมยิงที่มีแรงกระทำของกระสุนต่อแผ่นเกราะมากที่สุด และน้อยสุดที่ 45 องศา) ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3 ที่ความหนา 10 มม. กระสุนสามารถเจาะทะลุแผ่นเกราะได้ ส่วนความหนาที่ 15, 20 และ 25 มม. กระสุนไม่สามารถเจาะทะลุแผ่นเกราะได้ แต่จะเกิด Perforation หรือการโป่งพองด้านหลังของแผ่นเกราะ ถึงแม้ว่าความหนา 15 มม. สามารถทนต่อการเจาะทะลุได้แต่เกิดการโป่งพองด้านหลังแผ่นเกราะสูง ส่วนที่ความหนา 25 มม. มีการเกิดการโป่งพองที่ต่ำกว่า ดังนั้นในเบื้องต้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแผ่นเกราะ ArmoX500t สามารถทนต่อกระสุนขนาด 14.5 มม. ตามมาตรฐาน STANAG 4569 นั้น ควรมีความหนาอยู่ที่ 25 มม. โดยมุมยิง 0

จะเป็นมุมยิงที่สร้างความเสียหายได้มากที่สุด (Severe Case) และมุมยิง 45 เป็นมุมที่สร้างความเสียหายได้น้อยที่สุด

ความหนา	10	15	20	25
มุมยิง 0	 ทะลุ	 โป่งพอง	 โป่งพอง	 ไม่ทะลุ
มุมยิง 45	 ทะลุ	 ไม่ทะลุ	 ไม่ทะลุ	

รูปที่ 3 การจำลองการยิงด้วยกระสุนปืนขนาด 14.5 มม. ตามมาตรฐาน STANAG 4569 ใส่แผ่นเกราะเหล็ก ArmoX500t ที่ความหนาต่าง ๆ

เมื่อเทียบผลการจำลองการยิงด้วยกระสุนปืนขนาด 14.5 มม. กับผลการทำนายจากสมการที่ 2 แล้ว พบว่ามีค่าแตกต่างกัน โดยผลการจำลองในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าแผ่นเกราะ ArmoX500t ที่สามารถทนต่อกระสุนปืนขนาด 14.5 มม. ต้องมีค่าเท่ากับ 25 มม. ซึ่งพิจารณาการโป่งพองด้านหลังของแผ่นเกราะด้วย ส่วนสมการที่ (1) นั้นให้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งได้ความหนาที่ 15 มม. ดังนั้นเมื่อพิจารณาเป็นสัดส่วนที่ต้องเพิ่มเติมเข้าไปในการทำนายความหนาของแผ่นเกราะที่กระสุนระดับอื่น ๆ จึงหาได้จากสมการที่ (2)

$$Z = \frac{t_{numerical}}{t_{Analytical}} = \frac{25}{15} = 1.67 \quad (2)$$

โดยที่

Z คือ ตัวคูณปรับแก้ความหนาเกราะ

$t_{numerical}$ คือ ความหนาเกราะที่ได้จากการโปรแกรมจำลองโดยได้ผลในรูปที่ 3

$t_{analytical}$ คือ ความหนาเกราะที่ได้จากทฤษฎี โดยได้ผลในรูปที่ 2

เบื้องต้นจะนำค่าสัดส่วน 1.67 นี้ไปใช้ในการคำนวณความหนาแนะนำสำหรับแผ่นเกราะในการป้องกันกระสุนปืนตามมาตรฐาน STANAG 4569 ดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับยานเกราะที่ต้องการทนทานต่อกระสุนปืนตามมาตรฐาน STANAG 4569 ระดับ 2 นั้น ที่แผ่นเกราะเหล็ก ArmoX500t ควรมีความหนาอย่างน้อย 12 มม.

ตารางที่ 1 ความหนาที่ออกแบบสำหรับแผ่นเกราะในการป้องกันกระสุนปืนตามมาตรฐาน STANAG 4569

STANAG LV	ความหนาตามสมการที่ (1)	ความหนาที่พิจารณาการโป่งพอง (ความหนาที่ใช้ในการออกแบบ)
I	7	12
II	7	12
III	10	17
IV	15	25
V	34	57
VI	43	72

3.3 การวิเคราะห์สมรรถนะการเคลื่อนที่

เพื่อให้การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของยานเกราะทำได้ง่าย สมมติฐานหนึ่งที่จะต้องพิจารณาคือเรื่องของระบบมวลยานเกราะ ทั้งนี้ เนื่องจากรถยนต์ประกอบไปด้วยส่วนประกอบย่อยจำนวนมาก โดยปกติการพิจารณาระบบมวลในการศึกษาพลศาสตร์ของยานยนต์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ มวลรวมทั้งคันและมวลรวมแยกระหว่างตัวรถยนต์และระบบกันสะเทือน โดยระบบมวลรวมทั้งคันพิจารณาระบบมวลทุกส่วนประกอบของรถยนต์ ให้เป็นมวลเดียวกัน (Lumped Mass) โดยตำแหน่งมวลจะอยู่ที่จุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงของรถยนต์ (Center of Gravity: CG) สมมติฐานดังกล่าวเหมาะกับการศึกษาการตอบสนองของรถยนต์ต่อแรงกระทำต่าง ๆ

สำหรับระบบมวลรวมแยกระหว่างตัวรถยนต์และระบบกันสะเทือนพิจารณาระบบมวลทุกส่วนประกอบของรถยนต์ ตั้งแต่ส่วนของสปริงขึ้นไป (รวมมวลของสปริง) เป็นหนึ่งหน่วยมวล โดยจะเรียกว่า มวลที่ถูกแขวน (Sprung Mass) และพิจารณาระบบมวลของทุกส่วนประกอบของรถยนต์ ตั้งแต่ส่วนของสปริงลงมารวมถึงล้อรถยนต์ เรียกว่า มวลที่ไม่ถูกแขวน (Unsprung Mass) โดยมวลทั้งสองส่วนจะอยู่ที่ตำแหน่งของจุด CG ของส่วนประกอบแต่ละกลุ่ม สมมติฐานนี้เหมาะกับการศึกษาการตอบสนองของรถยนต์และคุณภาพการขับขี่ (Ride Quality)

หลักการขับเคลื่อนของยานยนต์อาศัยการส่งกำลังของเครื่องยนต์ ผ่านระบบส่งกำลังสู่เพลาขับเคลื่อนและส่งกำลังสู่ล้อ ไม่ว่าจะเป็นล้อหน้าล้อหลัง หรือทั้งสี่ล้อ โดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นถนนที่มากพอ แรงขับเคลื่อนก็จะสามารถส่งผ่านล้อสู่พื้นถนนและผลักดันให้ยานยนต์เคลื่อนที่ไปได้ ในขณะที่การส่งกำลังผ่านระบบส่งกำลังไม่มีความสมบูรณ์ 100% เนื่องจากความสูญเสียในระบบส่งกำลัง แรงขับเคลื่อนของยานยนต์ที่กำลังจะเคลื่อนที่นั้นจะต้องมีค่ามากกว่าเพียงพอที่จะเอาชนะมวลของรถเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ และในขณะที่เคลื่อนที่ไปแล้วต้องมีค่ามากพอที่จะชนะแรงต้านทานการเคลื่อนที่ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อให้รถสามารถดำรงสภาวะเคลื่อนที่ได้อยู่ได้ [6]

หากจะอธิบายการขับเคลื่อนของยานเกราะล้อ 4x4 อเนกประสงค์สามารถอธิบายได้ด้วยกฎข้อที่สองของนิวตัน (Newton's 2nd Law of Motion) ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$\sum F = Ma \quad (3)$$

โดยที่

$\sum F$ คือ ผลรวมของแรงที่มีผลกระทบต่อยานเกราะ

M คือ มวลของยานเกราะ

a คือ อัตราเร่งของยานเกราะ

ซึ่งในส่วนของแรงนั้น จะประกอบไปด้วยผลต่างของแรงขับเคลื่อนกับแรงต้านทาน ในเบื้องต้นนี้จะกำหนดตามสมการที่ (4)

$$\sum F_{drive} - \sum F_{resistance} = Ma \quad (4)$$

โดยที่

$\sum F_{drive}$ คือ ผลรวมแรงขับเคลื่อนยานเกราะ

$\sum F_{resistance}$ คือ ผลรวมแรงต้านทานยานเกราะ

M คือ มวลของยานเกราะ

a คือ อัตราเร่งของยานเกราะ

ดังนั้น จะพบว่า เมื่อ

$\sum F_{drive} = \sum F_{resistance}$ ส่งผลให้ $\sum F = 0$ หมายถึงหยุดนิ่งคือความเร็วคงที่

$\sum F_{drive} > \sum F_{resistance}$ ส่งผลให้ $\sum F > 0$ หมายถึงเร่งมีความเร็ว

$\sum F_{drive} < \sum F_{resistance}$ ส่งผลให้ $\sum F < 0$
หมายถึงรถมีความหน่วง

โดยทั่วไปแล้วยานเกราะล้อยาง 4x4 อเนกประสงค์ จะเกิดสภาวะใดสภาวะหนึ่งในสามอยู่เสมอ ข้อควรระวัง ในการพิจารณา คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงต่าง ๆ โดยเมื่อมีความเร็วคงที่ แรงต่าง ๆ ที่พิจารณาอาจจะ ถือเป็นค่าคงที่ได้เสมอ และในขณะที่การพิจารณา เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ค่าของแรงโดยเฉพาะ แรงต้านทานอาจจะไม่ค่าไม่คงที่และอาจจะไม่เป็น เชิงเส้น ประกอบด้วย แรงต้านทานการหมุนของล้อ (Rolling Resistance: F_R) แรงต้านจากอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics Resistance: F_A) และแรงต้านทางชัน (Gradient Resistance: F_G)

การวิเคราะห์พลศาสตร์ของการเคลื่อนที่ทางตรง เพื่อให้ยานเกราะมีสมรรถนะตามความต้องการ ตามตารางที่ 1 จึงต้องทำการประเมินแรงต้านทานที่ กระทำต่อรถยานเกราะในสภาวะต่าง ๆ เช่น การวิ่ง ด้วยความเร็ว 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง (km/h) การ ไต่ทางลาดชัน หรือระยะเลี้ยวที่กำหนด

การพิจารณาการเลือกเครื่องยนต์ให้มีความกำลัง เพียงพอจากกรณีวิ่งด้วยความเร็ว 100 km/h โดยไม่คิดอัตราทดเกียร์จะต้องใช้กำลังเครื่องยนต์ จากสมการที่ (5) และ (6)

$$P = \frac{FV}{\eta} \quad (5)$$

และ

$$F_w = \frac{T_w}{r_w} \quad (6)$$

หรือเขียนในรูปแบบของทอร์กจะได้ดังสมการที่ (7)

$$T_w = F_w \times r_w \quad (7)$$

โดยที่

P คือ กำลังของเครื่องยนต์ ในหน่วย Watts

F คือ แรงต้านที่กระทำต่อรถ ในหน่วย N

V คือ ความเร็วรถ ในหน่วย m/s

r คือ ระยะของวงล้อ ในหน่วย m

จะเห็นได้ว่าการคำนวณอัตราทดเกียร์ สามารถเปลี่ยนแรงมาเป็นแรงบิดที่เหมาะสมต่อการ ใช้งาน เพื่อที่จะได้เลือกเครื่องยนต์ที่เหมาะสมต่อการ ใช้งานและเป็นการจัดสรรพื้นที่ในห้องเครื่องที่มี อยู่อย่างจำกัด ดังนั้น จึงจะทำการเลือกเครื่องยนต์ที่ มีกำลังอยู่ในช่วง 230 - 320 แรงม้า เพื่อให้ครอบคลุม การทำงานได้ทางลาดชัน 60% และสามารถทำความ เร็วในแนวราบได้ 100 km/h โดยจะทำการเลือก อัตราทดเกียร์และระบบส่งกำลังที่เหมาะสมกับการ ใช้งานควบคู่กันไป

จากการศึกษายานเกราะล้อยาง 4x4 อเนกประสงค์ จะมีระบบส่งกำลังขับเคลื่อน (Driveline) ทำให้มี อัตราทดสูงขึ้น เพื่อความสามารถในการสร้างแรงบิด ให้เพียงพอต่อการใช้งาน โดยทั่วไประบบส่งกำลัง ขับเคลื่อนจะประกอบไปด้วย

ชุดส่งกำลัง (Transfer Case) มีหน้าที่รับแรง ที่มาจากเกียร์และดรอปปอกซ์ (Drop Box) แล้วกระจาย แรงไปยังเพลาดต่าง ๆ ตามที่ต้องการ (ขับเคลื่อน 4 ล้อ ตามโหมดการขับขี่)

เพลาคขับเคลื่อน (Axle) มีหน้าที่รับแรงจาก Transfer Case เพื่อกระจายไปสู่ล้อ และมีระบบ การล็อกดิฟเฟอเรนเชียล (Diff Lock) เพื่อสามารถ กระจายแรงบิดไปที่ล้อทั้งสองข้างได้เท่า ๆ กัน

หมุนวงรอลล้อ (Wheel Hub) มีหน้าที่ส่งผ่าน แรงบิดจากเพลายังล้อ เพื่อใช้ในการขับเคลื่อน โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะมีอัตราทดตามการออกแบบ เพื่อเพิ่มอัตราทดของเกียร์และให้ได้อัตราทด ที่เหมาะสมต่อการใช้งานและพื้นที่การจัดวางอุปกรณ์

ทำการเลือกเครื่องยนต์ซึ่งมีแรงม้า 300 Hp @2,500 RPM (223,800 Watt@261.8 rad/s)

ทำการหาการทำงานจากสเปกเบื้องต้น นำมาหา Engine Performance Curve จากการประมาณค่าด้วยสมการที่ (8) ซึ่งพัฒนาโดย R.N. Jazar ในปี 2008 [7] ดังนี้

$$P_e = f(\omega_e) = \sum_{i=1}^3 P_i \omega_e^i = P_1 \omega_e^1 + P_2 \omega_e^2 + P_3 \omega_e^3 \quad (8)$$

เมื่อ $i = 1, 2, 3$

ป้อนค่าสำหรับเครื่องยนต์ Indirect Injection Diesel

โดยที่

$$P_1 = 0.6 \frac{P_M}{\omega_M} = 512$$

$$P_2 = 1.4 \frac{P_M}{\omega_M^2} = 4.5714$$

$$P_3 = -\frac{P_M}{\omega_M^3} = -0.0125$$

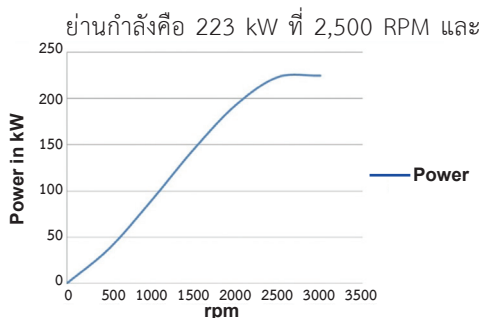
$$P_e = 512.911 \omega_e^1 + 4.5714 \omega_e^2 - 0.0125 \omega_e^3$$

P_M คือ กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ ในหน่วย W

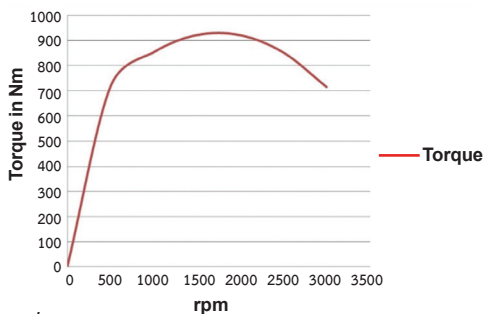
ω_M คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่กำลังสูงสุดในหน่วย rad/s

เมื่อนำสมการที่ได้ไปสร้างกราฟจะได้ดังแสดงใน

รูปที่ 4 (a) และ 4 (b)



รูปที่ 4 (a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเครื่องยนต์ต่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์



รูปที่ 4 (b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดต่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์

แรงบิด 920 ที่รอบ 1,500 RPM (157.07 rad/s)

ทำการคำนวณแรงบิดเมื่อผ่านระบบส่งกำลังโดยสมการคำนวณอัตราทด ดังแสดงในสมการที่ (9)

Axle มี 2 ล้อ ดังนั้น แรงบิดจะถูกแบ่งไปที่ล้อซ้าย

$$N_g = \frac{T_2}{T_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{r_2}{r_1} \quad (9)$$

โดยที่

N_g คือ อัตราทด

T คือ แรงบิด มีหน่วยเป็น Nm

ω คือ ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น rad/s หรือ RPM

N คือ จำนวนฟันเฟือง

r คือ รัศมี มีหน่วยเป็น m

และขออย่างละเอียด ๆ กัน ล้อละ 12,173.53 Nm หรือแรงบิดที่ล้อทั้งระบบ 48,694.162 Nm ซึ่งมากกว่าแรงต้านในการไต่ทางชัน 41.83% (แต่ละล้อ 7,080 Nm ทั้งระบบ 28,321.5 Nm)

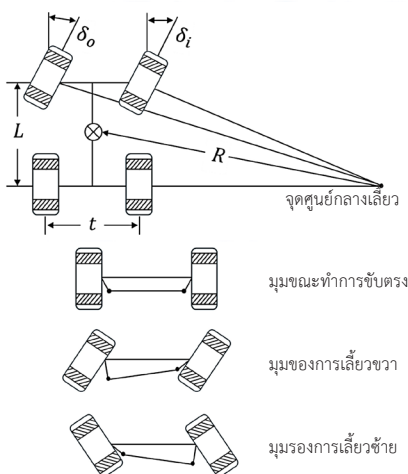
ดังนั้น หากคิดแรงบิดย้อนกลับ โดยใช้เกียร์ 1 ที่มีอัตราทด 3.49 และอัตราทดรวมของระบบ Driveline ที่ 15.1658 รอบการใช้งาน 1,500 RPM เพื่อหากำลังเครื่องยนต์ที่เพียงพอสำหรับการไต่ทางชัน ได้ 122.669 Hp

คำนวณหาความเร็วที่ทำได้ เมื่อใช้เครื่องยนต์ที่ 2,500 rpm และรัศมีล้อที่ 0.540 เมตร (m) (แตกต่างจากการไต่ทางชันเนื่องจากโหมดการขับเคลื่อนแบบ Highway) โดยใช้เกียร์ 6 ที่มีอัตราทด 0.65 และอัตราทดรวมของระบบ Driveline ที่ 6.69 (Transfer Case โหมด Hi) จะได้ความเร็วเท่ากับ 117.03 km/h

การเลือกใช้เครื่องยนต์ที่มีแรงม้า 300 Hp ควบคู่กับเกียร์และระบบส่งกำลังที่มีอัตราทดตามตารางที่ 2 และ 3 สามารถทำให้รถยนต์ไต่ทางลาดชัน 60% ได้ และทำความเร็วสูงสุดได้มากกว่า 100 km/h ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ จะเห็นได้ว่า อัตราทดที่มากถึง 52.90 (Low Mode) ทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดที่มากกว่าแรงต้าน 41.83% ในการไต่ทางลาดชัน และเมื่อปรับอัตราทดชุดส่งกำลัง (Transfer Case) เหลือ 1.09 (Hi Mode) ทำให้รถยนต์สามารถทำความเร็วได้มากกว่า 100 km/h ได้ และจะมีความคล่องตัวสูงในการไต่ทางลาดชันหรือทางภูมิประเทศ เนื่องจากมีแรงบิดอย่างพอเพียง

ระบบบังคับเลี้ยวเป็นระบบสำคัญในการวิเคราะห์พลศาสตร์ของยานยนต์ โดยเป็นระบบที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางและการเคลื่อนที่ของรถยนต์ การวิเคราะห์และการออกแบบระบบบังคับเลี้ยวสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการจลนศาสตร์ (Kinematics) โดยพฤติกรรมของระบบบังคับเลี้ยวจะแตกต่างกันออกไป เนื่องจากการออกแบบและมักจะมีผลต่อการควบคุมทิศทางของรถยนต์ (Handling)

ทั้งนี้ เพื่อให้รถยนต์สามารถเข้าโค้งได้โดยไม่เกิดการลื่นไถล (Skid) ที่ล้อ (ยางถูไปกับพื้นโดยที่ล้อไม่หมุน) และเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติของการเลี้ยว เนื่องจากทรงรูปร่าง (Geometry) ของระบบบังคับ ซึ่งหากผิดเพี้ยนไปจากนี้ก็จะทำให้เกิดความเสียหายกับระบบบังคับเลี้ยวได้ หรือหากบังคับเลี้ยวแล้วองศาของล้อไม่เป็นไปตามนี้ แสดงว่าอาจมีลิงเกจ (Linkage) บางชิ้นส่วนได้รับความเสียหาย โดยในทางทฤษฎีความแตกต่างหรือค่าของมุมการหมุนด้านในและด้านนอก ควรมีค่าเป็นไปตาม Ackerman Steering [6] ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ภาพแสดงมุมการหมุนของล้อด้านในและด้านนอกตามทฤษฎี Ackerman Steering

จากภาพ เมื่อ $R \gg L$

$$\begin{aligned}\delta_o &= \tan^{-1} \left(\frac{L}{R + \frac{t}{2}} \right) \approx \frac{L}{R + \frac{t}{2}} \\ \delta_i &= \tan^{-1} \left(\frac{L}{R - \frac{t}{2}} \right) \approx \frac{L}{R - \frac{t}{2}}\end{aligned}\quad (10)$$

สำหรับมุมที่มีค่าน้อยจะทำให้ $\tan^{-1}(x) \approx x$

โดยที่

δ_o คือ องศาล้อด้านนอก

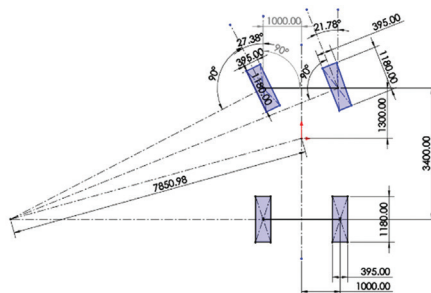
δ_i คือ องศาล้อด้านใน

R คือ รัศมีโค้งที่จุดศูนย์กลางของรถกับวงเลี้ยว

L คือ ระยะห่างฐานล้อของรถโดยวัดที่กึ่งกลางเพลาร่างถึงกึ่งกลางเพลาสุดท้าย

t คือ ระยะที่วัดจากกึ่งกลางล้อซ้ายถึงกึ่งกลางล้อขวา

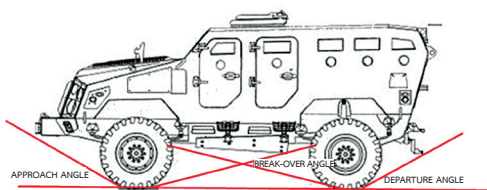
สมมติฐานในการออกแบบต้องการให้ยานเกราะล้อ 4x4 อเนกประสงค์ มีวงเลี้ยวประมาณ 8 เมตร วัดจากจุด CG โดยสมมติให้จุด CG ห่างจากเพลาคู่หน้าเป็นระยะ 1,300 มม. จะต้องออกแบบวงเลี้ยวของล้อด้านในและล้อด้านนอกของเพลาคู่หน้า โดยที่ล้อจะไม่ชนกับตัวถังยานเกราะล้อ 4x4 อเนกประสงค์ จะต้องมีความกว้างอย่างน้อย 27.38 และ 21.78 องศา ตามลำดับตามกฎ Ackerman Steering ดังแสดงในรูปที่ 6



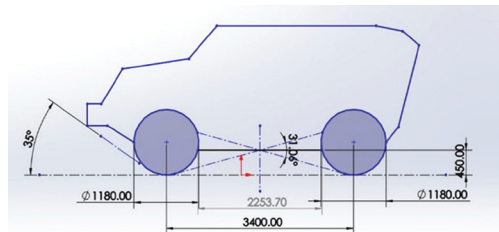
รูปที่ 6 ระยะวงเลี้ยวของรถยานเกราะ ตามกฎ Ackerman Steering

ระยะของฐานวงล้อ (Wheel Base) มีผลต่อขนาดของห้องโดยสารและเสถียรภาพในการขับเคลื่อน การปรับเปลี่ยนระยะห่างของเพลานั้น ส่งผลต่อความสามารถในการขับเคลื่อนในเส้นทางทุรกันดารของรถ (Off Road Capability) เนื่องจากการข้ามสิ่งกีดขวาง นอกจากจะมีแรงเสียดสี (Traction) ระหว่างยางและพื้นถนนเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญแล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ซึ่งจะช่วยให้อานเกราะผ่านสิ่งกีดขวางได้โดยไม่กระแทกครูด หรือติดค้างอยู่ที่สิ่งกีดขวาง ได้แก่ มุมปะทะ (Approach) คือมุมที่วัดจากจุดสัมผัสหน้ายางกับถนน ไปตัดกับขอบของกันชนหน้า หากวัดด้านหลังตัดกับขอบกันชนหลัง เรียกว่า มุมจาก (Departure) โดยจะสามารถรู้ได้จากการออกแบบตัวถังภายนอกให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งาน และมุม Break-over Angle (มุมที่ใช้เพื่อวัดความสูงของพื้นระหว่างล้อกับพื้นของรถ) เป็นมุมที่ใช้สำหรับป้องกันไม่ให้ตัวถังรถติดอยู่ตรงกลางในขณะไต่ขึ้นลงจากทางลาดชันหรือสิ่งกีดขวาง โดยคำนวณจากระยะห่างระหว่างพื้นกับกึ่งกลางของระยะห่างของล้อ ดังแสดงในรูปที่ 7

การกำหนดเรขาคณิต (Geometry) เบื้องต้น โดยให้ความสูงใต้ท้องรถที่ 450 มม. ระยะฐานล้อที่ 3,400 มม. ระยะ Breaker Angle จะอยู่ที่ 31.06 องศา ดังแสดงในรูปที่ 8 ทั้งนี้ การข้ามสิ่งกีดขวางหรือการข้ามคูน้ำจะขึ้นอยู่กับความสูงของสิ่งกีดขวางและความลึกของขอบคูน้ำด้วย



รูปที่ 7 มุมต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ของยานเกราะล้อ 4x4 อเนกประสงค์ สำหรับการข้ามสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 8 รายละเอียดขนาดของระยะ Wheel Base และมุม Break-over Angle ของยานเกราะล้อ 4x4 อเนกประสงค์

ระยะของฐานวงล้อมีผลต่อสมรรถนะของรถยานเกราะ ดังนี้ ระยะฐานวงล้อที่ยาว มีเสถียรภาพมาก เนื่องจากความสูงของ CG ต่ำกว่าระยะฐานวงล้อสั้น แต่ความสามารถในการวิ่งในที่ทุรกันดารจะต่ำ เพราะมุม Break-over Angle น้อย และความคล่องตัวจะต่ำกว่ารถที่มีระยะฐานวงล้อต่ำ ดังนั้น เมื่อยานเกราะลดระยะฐานวงล้อให้สั้นลงจะสามารถข้ามสิ่งกีดขวางได้มากยิ่งขึ้นและมีวงเลี้ยวที่แคบขึ้น แต่ก็สูญเสียความมั่นคงและพื้นที่ภายในตัวรถเช่นกัน ซึ่งการออกแบบต้องคำนึงถึงภารกิจและลักษณะการใช้งานให้เหมาะสม

4. การทดสอบยานเกราะล้อ 4x4 อเนกประสงค์

การทดสอบแบ่งเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพ/สมรรถนะและด้านสภาวะแวดล้อม อ้างอิงตามมาตรฐานยุทธโธปกรณ์ กระทรวงกลาโหม ว่าด้วยรถเกราะล้อ 4x4 (กมย.กท.1/2563) [8] ครอบคลุม 7 หัวข้อ ดังนี้

รายการทดสอบ	เงื่อนไขการทดสอบ
ทดสอบรัศมีวงเลี้ยว	≤14 m
ทดสอบระยะเบรก	≤15, ≤20
ทดสอบข้ามเครื่องกีดขวางสูง	50 cm
ผลการทดสอบได้/ลงลาดชัน	60%
ทดสอบวัดความดังเสียงภายในห้องโดยสาร	≤80 dB (รถไม่เคลื่อนที่) ≤95 dB (รถเคลื่อนที่)
ทดสอบวัดอุณหภูมิภายในห้องโดยสาร	≤27 °C

4.1 ด้านประสิทธิภาพ/สมรรถนะ

4.1.1 การทดสอบบรัคมีวงเลี้ยว

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพความคล่องแคล่วในการเคลื่อนที่ ด้านความกว้างของวงเลี้ยว การทดสอบแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 9

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบบรัคมีวงเลี้ยว

วงเลี้ยว	เกณฑ์ที่กำหนด (m)	ค่าที่วัดได้ (m)
ด้านซ้าย	≤ 14	8.2
ด้านขวา	≤ 14	8.3



รูปที่ 9 การทดสอบบรัคมีวงเลี้ยวด้วยการโรยผงแป้งไว้ด้านข้างล้อตลอด จนทำการเลี้ยวสำเร็จ

4.1.2 การทดสอบระยะเบรก

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบเบรก การทรงตัวของรถขณะเบรก และการยึดเกาะถนนของยาง การทดสอบแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 10

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการวัดระยะเบรกตามความเร็วที่กำหนด

ความเร็ว	เกณฑ์ที่กำหนด (m)	ค่าที่วัดได้ (m)
40 km/h	≤ 15	14.2
60 km/h	≤ 20	18.0



รูปที่ 10 การทดสอบการวัดระยะเบรกของรถ โดยการวิ่งที่ความเร็ว 40 และ 60 km/h แล้วทำการเหยียบเบรก

4.1.3 การข้ามเครื่องกีดขวางสูง

เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ระบบช่วงล่าง ระบบส่งกำลัง ความสมดุลของรถ ประสิทธิภาพของยางรถยนต์ การทดสอบแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 11

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบข้ามเครื่องกีดขวางสูง 50 cm

เกณฑ์ที่กำหนด	ผลการทดสอบ
รถเคลื่อนที่ผ่านไปได้	สามารถผ่านไปได้



รูปที่ 11 การทดสอบข้ามเครื่องกีดขวางสูงที่ความสูง 50 cm โดยรถมีกำลังเพียงพอสามารถผ่านไปได้

4.1.4 การไต่/ลงลาดชัน

เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ระบบช่วงล่าง ระบบส่งกำลัง ความสมดุลของรถ และประสิทธิภาพของยางรถยนต์โดยไม่ได้กำหนดความเร็วที่ใช้ การทดสอบแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 12

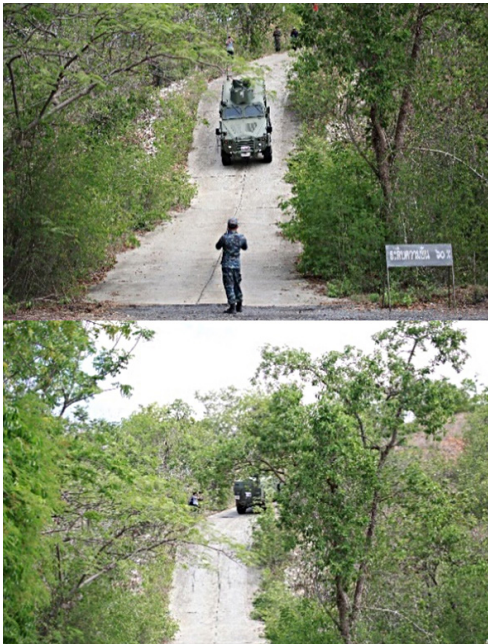
ตารางที่ 5 ผลการทดสอบไต่/ลงลาดชันที่ 60%

เกณฑ์ที่กำหนด	ผลการทดสอบ
รถเคลื่อนที่ผ่านไปได้	สามารถผ่านไปได้

4.2 ด้านสภาวะแวดล้อม

4.2.1 การทดสอบวัดความดังเสียงภายในห้องโดยสาร

เพื่อทดสอบระดับเสียงที่เกิดขึ้นภายในห้องโดยสาร ไม่รบกวนหรือเป็นอันตรายต่อการปฏิบัติงานของพลรบและพลประจำรถขณะทำการปิดประตูโดยสารทั้งหมด การทดสอบแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 13



รูปที่ 12 การทดสอบการไต่/ลงลาดชันที่มีความชัน 60%

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบวัดความดังเสียงภายในห้องโดยสารทั้งรถเคลื่อนที่และไม่เคลื่อนที่

เงื่อนไขของการทดสอบความดังเสียง	เกณฑ์ที่กำหนด (dB (A))	ค่าที่วัดได้ (dB (A))
รถไม่เคลื่อนที่	≤80	71.33
รถเคลื่อนที่	≤95	86.42

4.2.2 การทดสอบวัดอุณหภูมิภายในห้องโดยสาร

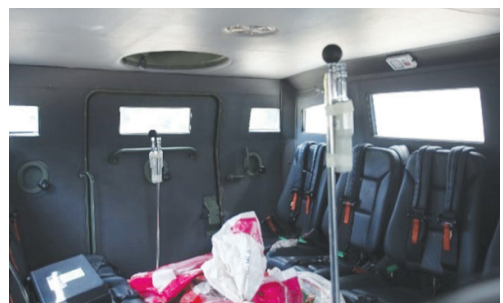
เพื่อทดสอบประสิทธิภาพด้านการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของระบบปรับอากาศขณะปิดประตูยานเกราะล้อยาง 4x4 อเนกประสงค์ ทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 7 และรูปที่ 14

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิภายในห้องโดยสารตามระยะเวลาที่กำหนด

เงื่อนไขของการทดสอบอุณหภูมิ	เกณฑ์ที่กำหนด (°C)	ค่าที่วัดได้ (°C)	หมายเหตุ
30 นาทีแรก	≤27	24.76	อุณหภูมิภายนอก 38.8 °C
1 ชม. 30 นาที		23.64	



รูปที่ 13 การทดสอบวัดความดังเสียงภายในห้องโดยสารโดยการติดอุปกรณ์วัดความดังและทำการวิ่งทดสอบทั้งขณะรถเคลื่อนที่และไม่เคลื่อนที่



รูปที่ 14 การทดสอบวัดอุณหภูมิภายในห้องโดยสารโดยทำการจอดตากแดดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที

5. สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอระเบียบวิธีทางวิศวกรรมศาสตร์ ตรรกะ และเป็นระบบ เพื่อใช้ในการวิจัย ออกแบบ และสร้าง ตลอดจนทดสอบ ยานเกราะล้อยาง 4x4 อเนกประสงค์ โดยคำนึงถึงความต้องการของหน่วยผู้ใช้เป็นสำคัญ สหป. ได้นำกระบวนการวางแผนการจัดการผลิตภัณฑ์และองค์ความรู้ที่ได้มาจากการวิจัยและพัฒนา ยานเกราะล้อยาง 8x8 ประยุกต์ใช้ในการดำเนินกระบวนการวิจัยและพัฒนา ยานเกราะล้อยาง 4x4 อเนกประสงค์ โดยสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) ร่วมกับ บริษัท ซีเอสเอ็มทีเอสแอนดริบบอร์ จำกัด

จากการวิจัยและออกแบบระบบตัวถังและโครงสร้าง และสมรรถนะทางพลศาสตร์ ยานเกราะล้อยาง 4x4 อเนกประสงค์ พบว่า จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ร่วมกับผลการจำลองเชิงตัวเลขในงานวิจัยและพัฒนา ยานเกราะล้อยางสำหรับปฏิบัติการกึ่ง นย. ที่แผ่นเกราะสำหรับสร้างตัวถังต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า 12 มม. สำหรับการป้องกันกระสุนตามมาตรฐาน STANAG 4569 ระดับ 2

การเลือกใช้เครื่องยนต์ซึ่งมีแรงม้า 300 Hp ควบคู่กับเกียร์และระบบส่งกำลังที่มีอัตราทดตามตารางที่ 2 และ 3 สามารถทำให้ยานเกราะล้อยาง 4x4 อเนกประสงค์ ไต่ทางลาดชัน 60% ได้ และทำความเร็วสูงสุดได้มากกว่า 100 km/h ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ จะเห็นได้ว่า อัตราทดรวมของระบบสูงถึง 52.90 (Low Mode) ทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดที่มากกว่าแรงต้าน 41.83% ในการไต่ทางลาดชัน แต่จะมีความเร็วสูงสุดเพียง

51.62 km/h และเมื่อปรับอัตราทด Transfer Case เหลือ 1.09 (Hi Mode) ทำให้ยานเกราะล้อยาง 4x4 อเนกประสงค์ สามารถทำความเร็วได้มากกว่า 100 km/h ได้ และจะมีความคล่องตัวสูงในการไต่ทางลาดชันหรือทางภูมิประเทศ เนื่องจากมีแรงบิดอย่างพอเพียง

ระยะ Wheel Base มีผลต่อสมรรถนะของรถ ยานเกราะ ดังนี้ ระยะ Wheel Base ที่ยาวมีเสถียรภาพมากเนื่องจากความสูงของ CG ต่ำ แต่ความสามารถในการวิ่งในที่ทุรกันดารจะต่ำ เพราะมุม Break-over Angle น้อย และความคล่องตัวจะต่ำกว่ารถที่มี Wheel Base ต่ำ ดังนั้น เมื่อรถ ยานเกราะลดระยะ Wheel Base ให้สั้นลงจะสามารถข้ามสิ่งกีดขวางได้ดีมากยิ่งขึ้น และมีวงเลี้ยวที่แคบขึ้น แต่ก็จะสูญเสียความมั่นคงและพื้นที่ภายในตัวรถเช่นกัน ซึ่งการออกแบบต้องคำนึงถึงภารกิจและลักษณะการใช้งานให้เหมาะสม การกำหนด Geometry เบื้องต้น โดยให้ความสูงใต้ท้องรถที่ 450 มม. ระยะฐานล้อที่ 3,400 มม. มีระยะ Break-over Angle อยู่ที่ 31.06 องศา ทั้งนี้ การข้ามสิ่งกีดขวางหรือการข้ามคูน้ำ จะขึ้นอยู่กับความสูงของสิ่งกีดขวางและความลึกของขอบของคูน้ำด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจากบริษัท ซีเอสเอ็มทีเอสแอนดริบบอร์ จำกัด ซึ่งได้ลงนามบันทึกความเข้าใจด้านการวิจัยและพัฒนา เทคโนโลยีและความร่วมมือในการผลักดันและดำเนินโครงการพัฒนาเทคโนโลยี ยานเกราะล้อยาง 4x4 อเนกประสงค์ เมื่อวันที่ 14 ก.พ. 62 และสำนักปลัดกระทรวงกลาโหมทำการทดสอบต้นแบบ ยานเกราะล้อยาง 4x4 ตามมาตรฐาน

ยุทธโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม ว่าด้วยรถเกราะล้อยาง (กมย.กท. 1/2563) และผ่านการทดสอบตามมาตรฐานดังกล่าว สอดคล้องกับการวิจัยสมรรถนะตั้งต้นและพร้อมที่จะนำงานวิจัยนี้สู่สายการผลิตเชิงอุตสาหกรรมเพื่อส่งมอบให้เหล่าทัพทั้งไทยและนานาชาติ

[7] R. N. Jazar, "Vehicle Dynamics Theory and Application," NY, USA: Springer, 2008.

[8] มาตรฐานยุทธโธปกรณ์กระทรวงกลาโหม ว่าด้วยรถเกราะล้อยาง, คำสั่งกระทรวงกลาโหม (เฉพาะ) ที่ 178/63, พ.ศ. 2563.

7. เอกสารอ้างอิง

[1] M. Hoenlinger, U. Glauch, G. Steger, "Modelling and Simulation in the Design Process of Armored Vehicles," in *RTO AVT Symp.*, Paris, France, Apr. 22 - 25, 2022.

[2] สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ, "รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยและพัฒนา ร่วมยานเกราะล้อยางสำหรับปฏิบัติการกิจของหน่วยบัญชาการนาวิกโยธิน," สทป., ปากเกร็ด, นนทบุรี, ไทย, ก.พ. 2564.

[3] สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ, "รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยและพัฒนา ร่วมยานเกราะล้อยาง 8x8 (ลำเลียงพล)," สทป., ปากเกร็ด, นนทบุรี, ไทย, มี.ค. 2567.

[4] *Protection Levels for Occupants of Logistic and Light Armoured Vehicles*, STANAG 4569, NATO, 2004.

[5] U.S. Army Corp of Engineer, "*Desing to Resist Direct Fire Weapons Effects*," Feb. 1, 2017.

[6] J. - S. Zhao, X. Liu, Z - J. Feng, and J. S. Dai, "Design of an Achermann-type Steering Mechanism," in *Proc. Inst. Mech. Eng. C: J. Mech. Eng. Sci.*, Nov. 2013, pp. 2549 - 2562.