

ผลของการวางเรียงตัวของแผ่นเกราะต่อประสิทธิภาพการกันกระสุน

เพชร เจียรนัยศิลาวงศ์^{1*} และ บัณฑิต พิงสาระ^{1,2}

วันที่รับ 28 กรกฎาคม 2563 วันที่แก้ไข 13 สิงหาคม 2563 วันที่ตอบรับ 27 สิงหาคม 2563

บทคัดย่อ

แผ่นเกราะกันกระสุนเหล็กกล้าสามารถสร้างมาเป็นแผ่นชั้นเดียวหรือหลายชั้นซ้อนกันได้ ซึ่งการจัดวางชั้นย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพการกันกระสุนของแผ่นเกราะ งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ผลของการเรียงตัวของแผ่นเกราะต่อประสิทธิภาพการกันกระสุน โดยแผ่นเกราะที่ศึกษาคือ แผ่นเหล็กกล้าประเภท Armox500T และใช้การทดสอบยิงด้วยกระสุนตามมาตรฐาน National Institute of Justice (NIJ) ระดับ 3 ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเสียรูปของแผ่นเหล็ก ซึ่งเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้สอบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการยิงด้วยกระสุนจริง โดยผลของการคำนวณในแบบจำลองให้ความหนาหลังการเสียรูปและขนาดของรูเจาะทะลุของแผ่นเกราะที่มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบ แบบจำลองที่ถูกสอบเทียบถูกนำไปปรับเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการวางเรียงของแผ่นเกราะและผลของความหนาของแผ่นเกราะ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าแผ่นเกราะที่ทำจากเหล็กกล้าสองชั้นมีความสามารถในการลดพลังงานการกระแทกของกระสุนได้มากกว่าเหล็กกล้าชั้นเดียวที่ความหนาเท่ากัน เพราะแผ่นบางสามารถโค้งได้มากกว่า และเสียรูปมากกว่าด้วย

คำสำคัญ: แผ่นเกราะ, Armox500T, มาตรฐาน NIJ, การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

* ผู้แต่ง, อีเมล: petch.j@eng.kmutnb.ac.th

Effects of Layer Arrangements on Bullet Protection Capability of Armor Plate

Petch Jearanaisilawong^{1*} and Bundit Phungsara²

Received 28 July 2020, Revised 13 August 2020, Accepted 27 August 2020

Abstract

High strength steel bulletproof plate can be made into single- or multiple-layered plate. The layer arrangement clearly influences the protection capability of the entire plate. This project aims to analyze the effect of layer arrangement on the protection capability of armour plate. An ArmoX500T plate was selected as the representative material. It was tested according to National Institute of Justice (NIJ) threat level 3. Experimental results demonstrated underlying deformation mechanisms of steel plate that served as validating data for a finite element model. The model was shown to correctly predict the deformed thickness and the penetrated hole of the steel plate. This validated model was modified to investigate the effects of arrangement and thickness of layers. The analysis showed that the double-layered plate is able to dissipate the impact energy of the bullet more than the single layer counterpart with the same total thickness because the thinner plates were bent out of the original shape, consuming greater impact energy and resulting in a larger deformation.

Keywords: Armour plate, ArmoX500T, NIJ standard, Finite element simulation

¹ Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

² Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University

* Corresponding author, E-mail: petch.j@eng.kmutnb.ac.th

1. บทนำ

วัสดุที่นำมาใช้เป็นแผ่นเกราะกันกระสุนหรือตัวถังของยานเกราะมักเป็นเหล็กกล้าตระกูล Rolled Homogeneous Armor (RHA) อย่างไรก็ตามการออกแบบแผ่นเกราะสำหรับกันกระสุนต้องคำนึงถึงความหนาที่เหมาะสม หรือการผสมด้วยวัสดุประเภทอื่นที่ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการกันกระสุน โดยมีปัจจัยรอง คือ น้ำหนักของแผ่นเกราะ และราคาของแผ่นเกราะที่พิจารณา นอกจากนี้ประสิทธิภาพของแผ่นเกราะยังขึ้นอยู่กับช่องว่างระหว่างแผ่น หรือวิธีการจับยึดในกรณีที่เป็นวัสดุผสมด้วยการวิเคราะห์ผลของการวางตัวของแผ่นเกราะมักใช้วิธีการทดสอบการยิง ซึ่งมีราคาสูง และใช้เวลานาน เพราะวัสดุที่ใช้เป็นแผ่นเกราะมักเป็นสินค้าควบคุมและมีผู้จำหน่ายน้อยราย รวมถึงกระบวนการจัดหาที่มีความซับซ้อน การใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผ่นเกราะจึงเป็นที่นิยมในงานวิจัย โดยแบบจำลองที่ใช้ต้องมีการสอบเทียบกับผลการทดสอบที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำแบบจำลองไปใช้ในการทำนายผลต่างได้ เมื่อได้ผลการวิเคราะห์แล้วจึงนำไปสร้างต้นแบบแผ่นเกราะและทำการทดสอบจริงเพื่อยืนยันผลการทดสอบ

การศึกษาพฤติกรรมของแผ่นเกราะหลายชั้นและช่องว่างระหว่างแผ่นเกราะ เน้นไปที่การเรียงตัวของแผ่นโลหะ โดยมีผลงานที่เกี่ยวข้องในด้านของการทดสอบอย่างเดียว [1-4] สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาผลของการเรียงตัวของแผ่นเกราะ [5-6] ทั้งทดสอบ และสร้างแบบจำลองประกอบกัน [7-10] หรือ การวิเคราะห์และสร้างสมการเพื่ออธิบายพฤติกรรมการกระแทกของกระสุน [11-12] เป็นที่น่าสนใจว่า ผลของการศึกษามีความแตกต่างกัน

ในแง่ของความสามารถในการป้องกันของการใช้แผ่นเกราะหลายชั้นเทียบกับแผ่นที่หนาหนึ่งชั้นที่ทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน และมีความหนาเท่ากัน โดย [1-2, 4-7, 12] พบว่าแผ่นเกราะเนื้อเดียวสามารถต้านการกระสุนได้ดีกว่าแผ่นเกราะหลายชั้นที่ความหนารวมเท่ากัน ในขณะที่ [3, 8-9] พบว่าการใช้แผ่นเกราะหลายชั้นจะดีกว่าการใช้แผ่นเกราะเนื้อเดียวที่ความหนารวมเท่ากัน ส่วน Ben-Dor et al. [11] ที่วิเคราะห์ความต้านทานการกระแทกของวัสดุเหนียวด้วยตัวกระแทกที่หัวแหลม และหัวเป็นรูปโคน สรุปว่าความสามารถในการต้านทานของแผ่นเกราะไม่ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการเรียงของแผ่น หรือขนาดของช่องว่างระหว่างแผ่น

จากผลการศึกษานี้ที่ไม่สอดคล้องกัน เพราะว่าการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันทั้งในแง่ประเภทของหัวกระสุน ความเร็วในการเข้าปะทะ พฤติกรรมการเสียหายแตกหักของแผ่นเกราะ สมมติฐานที่ใช้ในการสร้างความสัมพันธ์ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นเกราะ และพฤติกรรมการเสียหายของแผ่นเกราะ

เมื่อผลการศึกษาที่มีความขัดแย้งกัน ทำให้การประยุกต์ใช้ทฤษฎีในการออกแบบแผ่นเกราะมีความหลากหลายและขึ้นกับลักษณะเฉพาะของกระสุนที่ต้องการป้องกัน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การศึกษาลักษณะของการเรียงตัว หรือช่องว่างระหว่างแผ่นเกราะ โดยแบบจำลองจะสร้างขึ้นมาเพื่อเลียนแบบชิ้นงานจริง จากนั้นจึงใช้สมบัติวัสดุและเทคนิคการจำลองในการวิเคราะห์ผลของการเรียงตัวของแผ่นเกราะ

2. วัสดุที่ใช้ศึกษา

แผ่นเกราะโลหะที่ใช้เป็นตัวอย่างทำจาก ArmoX500T สองแผ่นที่มีช่องว่างระหว่างกลางยึดมุมสี่มุมด้วยน็อต เหล็ก แต่ละแผ่นมีความหนา 6.5 mm และเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 300 mm ส่วนช่องว่างขนาด 5 mm ระหว่างแผ่นแสดงผลของช่องว่างระหว่างแผ่นเกราะ ตัวอย่างชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างแผ่นเกราะสองชิ้น

3. วิธีการทดลอง

การทดสอบการยิงด้วยกระสุนจริงทำที่โรงงานทดสอบวัตถุระเบิดทหาร จังหวัดนครสวรรค์ ตามมาตรฐาน NIJ level III โดยใช้ลูกกระสุนสองแบบคือ 5.56x45mm M193 และ 7.62M80 โดยมีสภาวะการทดสอบตามตารางที่ 1

การทดสอบแผ่นเกราะตัวอย่าง ใช้วิธีการยิงด้วยกระสุน 7.62M80 จำนวน 2 ตำแหน่งต่อชิ้นงาน และ 5.56x45mm M193 จำนวน 3 ตำแหน่งต่อชิ้นงาน เพื่อศึกษาถึงผลการป้องกันของกระสุนแต่ละประเภทตามรูปที่ 2

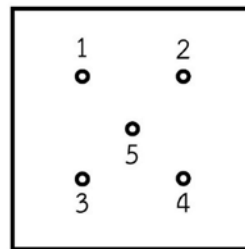
การจับยึดชิ้นงานไปตามมาตรฐานของ NIJ โดยยึดแผ่นเกราะด้วยสายรัดขอบเข้ากับโครงจับยึดด้านหลังโครงจับยึดเป็น Witness Plate ที่แสดงให้เห็นถึงการทะลุของแผ่นเกราะ

ตารางที่ 1 สภาวะการทดสอบยิงตาม NIJ level 3

ประเภทกระสุน	5.56x45 M193	7.62M80
น้ำหนักกระสุน [grains/grams]	55/3.63*	148/9.66**
ระยะทดสอบ [m]	2.5	2.5
ระยะห่างลำกล้องกับชิ้นงาน [m]	15	15
ความเร็วในการทดสอบ [m/s]	970 ± 12	847 ± 9.1
พลังงานจลน์ [J]	3415	6930

* FMJ-copper boat tail with lead core

** FMJ-gilding metal clad steel with boat tail and lead core



- นัดที่ 1: 7.62mm M80
- นัดที่ 2: 7.62mm M80
- นัดที่ 3: 5.56x45mm M193
- นัดที่ 4: 5.56x45mm M193
- นัดที่ 5: 5.56x45mm M193

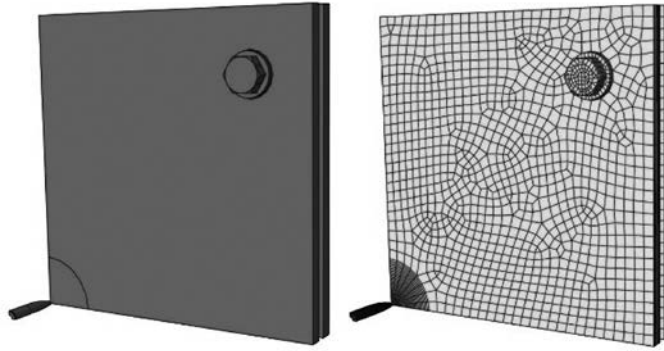
ด้านหน้าแผ่นเกราะ

รูปที่ 2 วิธีการยิงทดสอบแผ่นเกราะตัวอย่าง

4. การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการกระแทก

4.1 แบบจำลองการยิงแผ่นเกราะ

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิจัยนี้ถูกสร้างด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูป ABAQUS โดยการขึ้นรูปแผ่นเกราะและกระสุนตามขนาดจริง เนื่องจากชิ้นงานมีความสมมาตรจึงกำหนดให้จำลองเฉพาะ ¼ ของแผ่นเกราะและกระสุนดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แบบจำลองหนึ่งในสี่ของแผ่นเกราะกับกระสุน 7.62M80

ปลอกและแกนของกระสุนแบ่งด้วยเมชขนาด 0.5 mm และเพิ่มความละเอียดให้กับส่วนหัวกระสุนถึง 0.1 mm ส่วนของแผ่นเกราะตรงกลางใช้เมชขนาด 5 mm ส่วนขอบและตรงตำแหน่งที่กระสุนเข้าปะทะมีความละเอียด 1 mm เมชที่ใช้เป็นแบบรูปลี่เหลี่ยมหกหน้า (Hexahedron - Hex) ชนิด First Order Reduced Integration และใช้ตัวเลือกการควบคุมการบิดเบือนเอลิเมนต์แบบ Orthogonal Kinematic Split และ Enhanced Hourglass Control เพื่อเพิ่มความเสถียรของการคำนวณ และส่วนตรงปลายแหลม เช่น หัวกระสุน จะเป็นเอลิเมนต์แบบลิ้ม (Wedge) แบบ Second Order Full Integration เอลิเมนต์ทั้งสองประเภทสามารถถูกลบได้ด้วย Element Deletion = Yes

การคำนวณพฤติกรรมการกระแทกใช้วิธีคำนวณแบบ ABAQUS/Explicit ทั้งนี้เนื่องจากเอลิเมนต์ภายใต้การกระแทกมีการเสียรูปสูงจึงมีการเลือกใช้การปรับเมชแบบ Adaptive Meshing ซึ่งเป็นการพยายามตีเมชใหม่ในทุกช่วงเวลาการคำนวณเพื่อไม่ให้เอลิเมนต์เกิดการบิดเบี้ยวเกินไป และทำให้การคำนวณมีความเสถียรมากขึ้น ส่วนสมบัติของวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองเป็นไปตามตารางที่ 2

ผิวสัมผัสระหว่างหัวกระสุนและแผ่นเกราะถูกกำหนดให้เป็นการสัมผัสแบบไม่ทะลุ (Hard Contact) ด้วยวิธีการคำนวณแบบ Kinematic Constraint ซึ่งจะให้การควบคุมการสัมผัสที่แม่นยำกว่าวิธีการคำนวณในรูปแบบอื่น และกำหนดให้ผิวสัมผัสเป็นแบบไม่มีแรงเสียดทาน (Frictionless) เพราะการเจาะทะลุของกระสุนไม่มีการไถล ในส่วนของผิวสัมผัสของชิ้นส่วนภายใน เช่น ผิวสัมผัสระหว่างเนื้อกับแผ่นเกราะจะถูกทำให้เป็นผิวสัมผัสแบบผูกติดกัน (Tie) ไม่สามารถแยกจากกันได้ ในส่วนของสภาวะขอบที่ขอบรอยตัดแผ่น 1/4 ถูกกำหนดให้เป็นสภาวะขอบสมมาตร (Symmetry Boundary) ส่วนความเร็วของกระสุนป็นกำหนดเป็น Predefined Field ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณ

4.2 การจำลองรูปแบบการวางเรียงแผ่นเกราะ

หลังจากได้แบบจำลองที่สอบเทียบแล้วจึงกำหนดแบบจำลองเพิ่มเติมเพื่อศึกษาผลของความหนาของแผ่นและช่องว่างระหว่างแผ่นเกราะต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานการกระแทก โดยกำหนดให้แผ่นเกราะมีขนาดเท่ากับ 300x300 mm²

ตารางที่ 2 สมบัติวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง

ชิ้นงาน	วัสดุ	แบบจำลองวัสดุ	แบบจำลองความเสียหาย
แผ่นเกราะ	Armox 500T [13]	Johnson-Cook Hardening	Johnson-Cook Damage
น็อต	Steel	Elastic model	$E=200 \text{ GPa } \nu 0.3$
ปลอกกระสุน	Copper [14]	Johnson-Cook Hardening	Johnson-Cook Damage
แกนกระสุน	Lead [15]	Johnson-Cook Hardening	Johnson-Cook Damage

โดยสร้างแบบจำลองขนาด 1/4 ของแผ่น ยิงด้วยกระสุน 5.56x45 M193 ตรงกลางแผ่นด้วยความเร็ว 900 m/s การศึกษาแบ่งออกเป็นประเภท

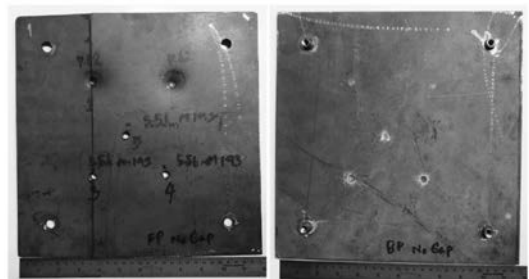
- แผ่น Armox หนา 2 mm 2 แผ่นวางซ้อนกันโดยไม่ยึดติด (2+2 mm)
- แผ่น Armox หนา 3 mm 2 แผ่นวางซ้อนกันโดยไม่ยึดติด (3+3 mm)
- แผ่น Armox หนา 4 mm (4 mm)
- แผ่น Armox หนา 5 mm (5 mm)
- แผ่น Armox หนา 6 mm (6 mm)

5. ผลการทดลอง

5.1 ผลของการทดสอบยิงแผ่นเกราะ

ผลการทดสอบการยิงของกระสุนทั้งห้าชนิด ผลปรากฏว่ากระสุน 7.62x51 mm ไม่ทะลุแผ่นเกราะชั้นแรก และกระสุน 5.56x45 mm ทะลุแผ่นเกราะชั้นแรกแต่ถูกหยุดโดยแผ่นเกราะในชั้นที่สอง จึงสามารถสรุปได้ว่าแผ่นเหล็ก Armox500T ชั้นเดียว

สามารถป้องกันกระสุนประเภท 7.62M80 ได้ แต่ไม่สามารถป้องกันกระสุนประเภท 5.56x45 mm M183 ได้ เมื่อพิจารณาลักษณะการเสีรูของกระสุนทั้งสองประเภทบนแผ่นเหล็ก Armox500T ด้านหน้าของชิ้นงานในรูปที่ 4 พบว่า รอยยุบที่เกิดจากกระสุน 7.62M80 มีลักษณะกระจายออกเป็นวงกว้างแต่ไม่ทะลุ ลักษณะเป็นการบานออก (Petal) แบบการชนด้วยวัสดุปลายทู่ ในขณะที่กระสุน 5.56x45 M193 เป็นรูขนาดเล็กและทะลุเข้าไปในเนื้อเหล็ก ลักษณะของรูไม่กระจายออก เป็นการฉีกขาดของเนื้อวัสดุโดยการทะลุทะลวงของหัวกระสุน (Piercing)



รูปที่ 4 ด้านหน้าของแผ่นเกราะ (ซ้าย) แผ่นหน้า (ขวา) แผ่นหลัง

เมื่อพิจารณาลักษณะการเสียรูปของแผ่นหน้า พบว่าลักษณะรอยยุบที่เกิดขึ้นของ 7.62M80 มีลักษณะแบนเนื่องจากสัมผัสแนบกันกับแผ่นหลัง ส่วนลักษณะของรอยฉีกขาดที่เกิดจากการทะลุของ 5.56x45mm M193 มีลักษณะเป็นรอยกระแทก

เมื่อศึกษาภาพตัดขวางของแผ่นด้านหน้าของ ชิ้นงานที่ 1 ในรูปที่ 5 พบว่า รอยยุบตัวที่เกิดจาก กระสุน 7.62M80 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.617 mm และทำให้แผ่นเหล็กทั้งแผ่นโก่งออกไปจากระนาบเป็นขนาดทั้งหมด 7.533 mm ส่วนตัว แผ่นเหล็กยังมีความหนาลดลง ณ ตำแหน่งที่ยิง เหลือเพียง 4.878 mm ทั้งที่กระสุน 7.62M80 มีเส้นผ่านศูนย์กลางหัวกระสุนเท่ากับ 7.82 mm ในขณะที่รอย ทะลุที่เกิดจากกระสุน 5.56x45 mm M193 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.465 mm เมื่อเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวกระสุนขนาด 5.70 mm และขอบของแผ่นบานออก ณ ตำแหน่งที่กระสุนทะลุ

จากผลการทดสอบจะสังเกตได้ว่ากระสุน 7.62M80 ทำให้แผ่นเหล็ก Armox500T เสียรูปแบบ การกระจายของหัวกระสุน (Petal) แต่ไม่ทะลุ ในขณะที่กระสุน 5.56x45 mm M193 ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า และมีพลังงานจลน์น้อยกว่า แต่สามารถทะลุแผ่นเหล็ก ชั้นแรกเข้าไปได้ และมีลักษณะการเสียรูปเป็นการ ฉีกแนวทะลุ (Shear-dominated Piercing) ดังนั้น ลักษณะหัวกระสุนและความเร็วในการเข้ากระแทก มีผลต่อการทำลายเกราะ

5.2 ผลของการจำลองการยิงแผ่นเกราะ

รูปแบบความเสียหายของแผ่นเกราะตัวอย่าง เมื่อกระสุนถูกทำลายลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลการ ทดสอบในรูปที่ 6 การเปรียบเทียบขนาดการเสียรูป ของแผ่นเหล็กเป็นไปตามตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบ

แสดงให้เห็นว่าลักษณะการเสียรูปของวัสดุในแบบ จำลองมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบเชิงตัวเลข การเสียรูปของแผ่น เกราะในกรณีของ 7.62M80 ในแบบจำลองยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ โดยเฉพาะส่วนของระยะยุบ ของแผ่นเกราะซึ่งในแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าผล การทดสอบ ซึ่งเป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อน ในค่าคงที่ของแบบจำลองวัสดุของแผ่นเกราะ ทำให้ การกระจายของพลังงานกระสุนในแผ่นเกราะต่ำกว่าความเป็นจริง

ส่วนขนาดรูของแผ่นเกราะจากกระสุน 5.56x45 mm M193 อยู่ในขนาดที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ ขนาดของรูที่เจาะทะลุส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของ เอลิเมนต์ที่ใช้ เมื่อพิจารณาลักษณะการเสียรูปและ ขนาดของการเสียรูปที่สอดคล้องกันระหว่างผลการ ทดสอบและแบบจำลอง จึงสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบ การจำลองแผ่นเกราะนี้มีความน่าเชื่อถือ และสามารถ นำไปขยายผลต่อได้

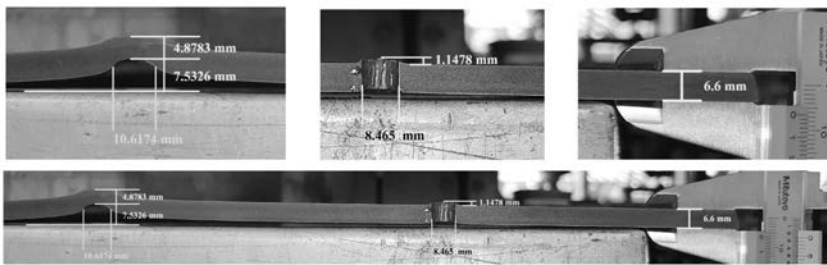
5.3 ผลของการจำลองรูปแบบการวางเรียงแผ่นเกราะ

ผลของแบบจำลองที่ศึกษารูปแบบการวาง เรียงแผ่นเกราะคือ กระสุนเจาะทะลุแผ่นเกราะใน ทุกกรณี โดยรูปที่ 7 แสดงตัวอย่างของแบบจำลองที่ใช้ รูปซ้ายเป็นการจำลองแบบสองแผ่นหนา 3 mm รูปกลางเป็นการกระจายของคลื่นความเค้นที่เกิด จากการกระแทกทางด้านหน้าของแผ่น และรูปขวา เป็นการทะลุของแผ่นเกราะ

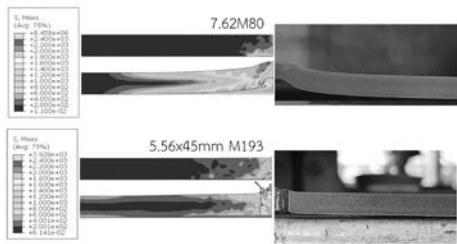
ผลการคำนวณสรุปอยู่ในลักษณะของความเร็ วกระสุนต่อความเร็วเริ่มต้นและพลังงานจลน์ของระบบ เทียบกับพลังงานจลน์เริ่มต้นในรูปที่ 8

ตารางที่ 3 ขนาดการเสียรูปของแผ่นเหล็กตามการทดลองเทียบกับผลการคำนวณจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

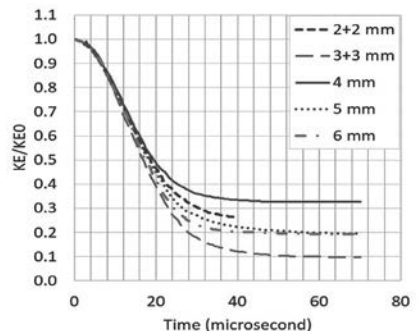
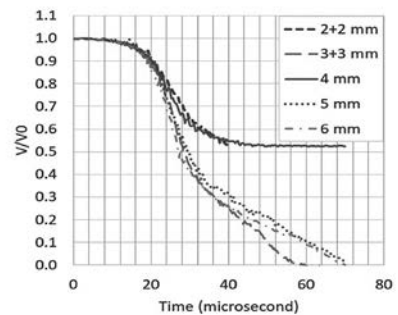
ผลจากการยิงด้วยกระสุน 7.62M80			
	ผลการทดสอบ	ผลการจำลอง	ความคลาดเคลื่อน (%)
ระยะยุบด้านหน้าแผ่น (mm)	7.533	5.167	-31.4
ความหนาของแผ่นหลังยิง(mm)	4.878	4.786	-1.88
ผลจากการยิงด้วยกระสุน 5.56x45mm M193			
ขนาดรูกระสุน (mm)	8.465	8.582	+1.36



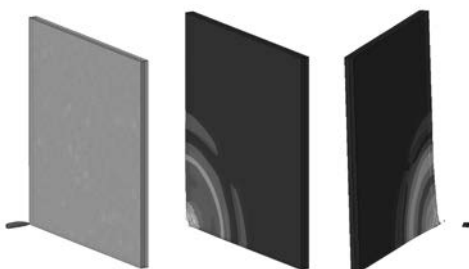
รูปที่ 5 ภาพตัดขวางของแผ่นเกราะตามแนวกระสุน



รูปที่ 6 การเสียรูปของแผ่นเกราะในแบบจำลองเทียบกับผลการทดสอบ



รูปที่ 8 (บน) การเปลี่ยนแปลงความเร็วของกระสุน และ (ล่าง) พลังงานจลน์ของกระสุน



รูปที่ 7 ผลการจำลองผลของความหนาของแผ่น Armox ตัวอย่างกรณี 3+3 mm (ซ้าย) ก่อนยิง (กลาง) หลังยิงทะลุด้านหน้า (ขวา) หลังยิงทะลุด้านหลัง

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า แผ่นเกราะที่หนากว่าสามารถรับพลังงานการกระแทกได้สูงกว่า ซึ่งพบได้จากพลังงานจลน์ของระบบของแผ่น 6 mm ลดลงไปมากกว่าพลังงานจลน์ของแผ่น 4 mm ในขณะที่แผ่นเกราะแบบแผ่นบางสองชั้นรับพลังงานการกระแทกได้สูงกว่าแผ่นเกราะที่มีความหนาเท่ากัน เช่น แผ่นเกราะหนา 3 mm สองแผ่นวางซ้อนกัน รับพลังงานได้มากกว่า 6 mm แผ่นเดียว เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลการคำนวณอย่างละเอียด พบว่าพลังงานการกระแทกของกระสุนถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ พลังงานที่ใช้ในการพังทลายของแผ่นเกราะและพลังงานที่ทำให้วัตถุเสีรูรูปการโค้งงอกนอกระนาบของแผ่นเกราะบางเกิดได้มากกว่าแผ่นเกราะหนา หมายถึงพลังงานการกระแทกที่แผ่นบางสองแผ่นรับได้มากกว่าแผ่นหนาขนาดเท่ากันแผ่นเดียว เพราะพลังงานการกระแทกของกระสุนบางส่วนถูกแบ่งไปเป็นการเสีรูรูปแบบโค้ง

อย่างไรก็ตาม การโค้งงอกนอกระนาบของแผ่นเกราะบางหมายถึงระยะที่กระสุนสามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ซึ่งในความเป็นจริงอาจเกิดอันตรายต่อวัตถุที่อยู่หลังแผ่นเกราะได้ ความหนาที่เหมาะสมของแผ่นเกราะจึงต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่แผ่นเกราะดูดซับ และระยะการเสีรูรูปของแผ่นเกราะไปพร้อมกัน

6. บทสรุป

การวางเรียงตัวของแผ่นเกราะส่งผลถึงประสิทธิภาพการป้องกันกระสุน โดยการทดสอบแผ่นเกราะ Armox500T ตามมาตรฐาน NIJ level 3 พบว่าแผ่นเกราะหนาขนาด 6.5 mm สามารถกัน

กระสุน 7.62M80 ได้ แต่กัน 5.56x45 mm M193 ไม่ได้ ผลการทดสอบถูกนำไปสร้างเป็นแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อสอบเทียบผลการจำลองให้ใกล้เคียงกับผลการทดสอบแล้วแบบจำลองถูกนำไปปรับเพื่อวิเคราะห์ผลของความหนาของแผ่นเกราะ โดยผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าแผ่นบางหลายชั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าแผ่นหนาแผ่นเดียว เพราะสามารถเสีรูรูปได้มากกว่า ในขณะที่เดียวกันขนาดของการเสีรูรูปของแผ่นบางหลายชั้นก็สูงกว่าด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ กระทรวงกลาโหม ภายใต้สัญญาเลขที่ 620203

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Alavi Nia, A., Hoseini, G.R. "Experimental study of perforation of multi-layered target by hemispherical-nosed projectiles", *Materials and Design*, 32, 2011, pp. 1057-1065.
- [2] Almohandes, A.A., Abdel-Kader, M.S., Eleiche, A.M. "Experimental investigation of the ballistic resistance of steel-fiberglass reinforced polyester laminated plates", *Composites Part B: Engineering*, 27(5), 1996, pp. 447-458.
- [3] Corran, R.S.J., Shadbolt, P.J., Ruiz, C. "Impact loading of plates – an experimental investigation", *International Journal of Impact Engineering*, 1(1), 1983, pp. 3-22.
- [4] Gupta, N.K., Madhu, V. "An experimental study of normal and oblique impact of

hard-core projectile on single and layered plates”, International Journal of Impact Engineering, 19(97), 1997, pp. 395-414.

[5] Palta, E., Gutowski, M., Fang, H.B. “A numerical study of steel and hybrid armor plates under ballistic impacts”, International Journal of Solids and Structures, 136-137 (2018), pp. 279-294.

[6] Zukas, J.A., Scheffler, D.R. “Impact effects in multilayered plates”, International Journal of Solids and Structures, 38, 2001, pp. 3321-3328.

[7] Holmen, J.K., Solberg, J.K., Hopperstad, O.S., Borvik, T. “Ballistic impact of layered and case-hardened steel plates”, International Journal of Impact Engineering, 110, 2017, pp. 4-14.

[8] Liu, J.F., Long, Y., Ji, C., Liu, Q., Zhong, M.S., Ge, S. “Ballistic performance study on the composite structures of multi-layered targets subjected to high velocity impact by copper EFP”, Composite Structures, 184, 2018, pp. 484-496.

[9] Liu, J.F., Long, Y., Ji, C., Liu, Q., Zhong, M.S., Zhou, Y. “Influence of layer number and air gap on the ballistic performance of multi-layered targets subjected to high velocity impact by copper EFP”, International Journal of Impact Engineering, 112, 2018, pp. 52-65.

[10] Serjouei, A., Gour, G., Zhang, X.F., Idapalapati, S., Tan, G.E.B. “On improving ballistic limit of bi-layer ceramic-metal armor”, International Journal of Impact Engineering, 105, 2017, pp. 54-67.

[11] Ben-dor, G., Dubinsky, A., Elperin, T. “On the ballistic resistance of multi-layered targets with air gaps”, International Journal of Solids and Structures, 35(23), 1998, pp. 3097-3103.

[12] Elek, P., Jaramaz, S., Mickovic, D. “Modeling of perforation of plates and multi-layered metallic targets”, International Journal of Solids and Structures, 42, 2005, pp. 1209-1224.

[13] Iqbal, M.A., Senthil, K., Sharma, P., Gupta, N.K. “An investigation of the constitutive behavior of Armox 500T steel and armor piercing incendiary projectile material” International Journal of Impact Engineering, 2016, pp. 146-164.

[14] ABAQUS Documentation, Simulia.

[15] Adam, B (2003). “Simulation of ballistic impacts on armored civil vehicles” Master Thesis, Eindhoven University of Technology, The Netherlands.