

การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

ในการค้นคว้าวิจัยทางทหาร

กรณีศึกษาเรื่องการใช้รถเกราะที่มีพื้นสองชั้น

บทคัดย่อ

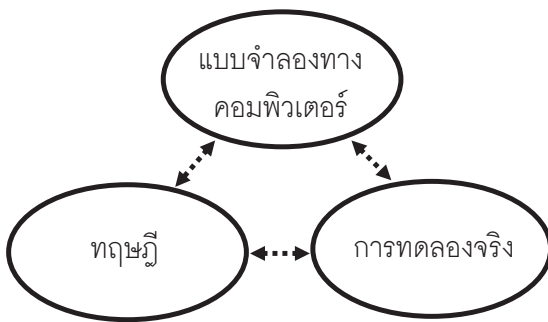
ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาทั้งด้านซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ไปอย่างรวดเร็ว ระบบการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์มีความทันสมัยมากขึ้นกว่าเดิม สามารถใช้ในการประมวลผลแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ ในขณะเดียวกันต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทำการทดลองจริงมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการค้นคว้าวิจัยทางทหาร การทดลองหรือทดสอบอาวุธยุทโธปกรณ์มีราคาสูงมาก ตัวอย่างเช่น ในการออกแบบโครงสร้างรถเกราะให้สามารถทนแรงระเบิดได้ บริษัทผู้ผลิตไม่สามารถที่จะทำการทดสอบโดยใช้รถเกราะจำนวนมากได้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จึงได้เข้ามามีบทบาทในการค้นคว้าวิจัยเช่นเดียวกับการทดลองจริงและทฤษฎี การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ทำให้ลดจำนวนการทดลองจริง ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายและเวลาในการออกแบบ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ศึกษาการทดลองจริงในกรณีที่การวัดค่าต่างๆ ทำได้ยาก บทความนี้นำเสนอกรณีศึกษาการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการค้นคว้าวิจัยทางทหารในเรื่องการใช้รถเกราะที่มีพื้นสองชั้นโดยใช้โปรแกรมออดิตาไดน์ (AUTODYN) ผลปรากฏว่าโครงสร้างของพื้นรถเกราะสองชั้นมีการเสียรูปน้อยกว่ารถเกราะชั้นเดียว ทั้งนี้การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้นไม่สามารถที่จะนำมาใช้แทนที่การทดลองจริง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและต้องมีการทดลองจริงเพื่อที่จะสนับสนุนแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ให้มีความสมบูรณ์ใกล้เคียงกับความเป็นจริงให้มากที่สุด

Keywords : Numerical simulation, blast, structure, AUTODYN, military research

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้มีการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มาใช้ในการศึกษาค้นคว้าวิจัยในด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทางทหาร เนื่องจากระบบการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์มีความทันสมัยมากขึ้น ในขณะเดียวกันต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทำการทดลองจริงมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ทำให้ลดจำนวนการทดลองจริง ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายและเวลาในการออกแบบ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ศึกษาการทดลองจริงในกรณีที่มีการวัดค่าต่างๆ ทำได้ยาก การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จำเป็นที่จะต้องใช้ทฤษฎีของสมการต่างๆ เพื่อกำกับให้แบบจำลองเป็นไปตามทฤษฎีจริง และต้องมีการเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงเพื่อทดสอบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มีความใกล้เคียงกับการทดลองจริง ในทางกลับกัน แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาปรับปรุงทฤษฎีและออกแบบการทดลองจริงทั้งนี้สามารถแสดงความสัมพันธ์ของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์กับทฤษฎีและการทดลองจริงได้

ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ทฤษฎี และการทดลองจริง

บทความนี้ นำเสนอเรื่องการใช้รหัสเกราะที่มีพื้นสองชั้น มาเป็นกรณีศึกษาการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการค้นคว้าวิจัยทางทหาร โดยใช้โปรแกรมออดิไดนา (AUTODYN) เพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อดีข้อเสียของการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ และเป็นการแสดงผลการค้นคว้าวิจัยอีกด้วย

2. ทฤษฎี

โปรแกรมออดิไดนา (1) เป็นโปรแกรมไฮโดรโคด (hydrocode program) ที่ออกแบบมาเป็นพิเศษสำหรับสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อใช้แก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเหลวและก๊าซ ซึ่งพบในเรื่องที่เกี่ยวกับระเบิดและเครื่องกระสุน โดยโปรแกรมออดิไดนาได้รวมเอาพรีโปรเซสเซอร์ (pre-processor) และโพสต์โปรเซสเซอร์ (post processor) เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อให้ง่ายต่อการใช้ ทั้งยังสามารถใช้แก้ปัญหาโดยใช้วิธีต่างๆ เช่น ลากรานจ์ (Lagrange) และ ออยเลอร์ (Euler) ในโมเดลเดียวกัน (2) ได้บรรยายว่าโดยทั่วไปแล้ว การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้นมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newtonian laws of motion) ในรูปแบบของสมการการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน (conservation of mass, momentum and energy), สมการสถานะ (equation of state) และสมการแสดงคุณลักษณะของวัสดุ (constitutive model) นอกจากนี้อาจมีสมการอื่นๆ อีกเพื่อช่วยในการแก้ปัญหา เช่น สมการเทนเซอร์ความเค้น (stress tensor equation) การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์วิเคราะห์เชิงตัวเลขเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน เพราะมีตัวแปรจำนวนมาก การแก้สมการด้วยวิธีการปกติทั่วไปทำได้ยาก

ในบทความนี้ ได้ใช้สมการก๊าซอุดมคติบรรยายลักษณะของอากาศดังนี้

$$p = (\gamma - 1)\rho e + p_{shift} \quad (1)$$

โดยที่ p เป็นค่าความดัน, γ เป็นค่าคงที่อาเดียบาติก, สำหรับอากาศที่มีลักษณะเป็นก๊าซอุดมคติ มีค่าประมาณ 1.4, ρ เป็นค่าความหนาแน่น, p_{shift} เป็นค่าความดันที่ทำให้ความดันเริ่มต้นเป็นค่าศูนย์

e เป็นค่าพลังงานภายในเฉพาะ:

$$e = c_v T \quad (2)$$

โดยค่าคงที่ c_v เป็นค่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่

ในส่วนของการเปิดนั้นได้ใช้สมการโจนส์ วิลคินส์ และลี (Jones-Wilkins-Lee (JWL) equation) บรรยายลักษณะดังนี้

$$p = A \left(1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right) e^{-R_1 V} + B \left(1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right) e^{-R_2 V} + \frac{\omega E}{V} \quad (3)$$

โดยที่ A, B, R_1, R_2, ω เป็นค่าคงที่ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันในระเบิดแต่ละชนิด V เป็นค่าปริมาตรสัมพันธ์หรือค่าขยายตัวของระเบิด (relative volume or the expansion of the explosive product) และ E เป็นค่าพลังงานจุดระเบิดต่อปริมาตรเริ่มต้น (detonation energy per initial unit volume) ในโปรแกรมออตโตดายน์ ค่าต่างๆ เหล่านี้ได้มาจาก (3) ซึ่งได้รวบรวมมาจากการทดลอง

บทความนี้ได้ใช้สมการจอห์นสันและคูก (Johnson and Cook) (4) บรรยายลักษณะของเหล็กกล้าที่ใช้ในรถเกราะ (RHA steel) เป็นฟังก์ชันของความเครียดพลาสติก (plastic strain) อัตราความเครียดพลาสติก (plastic strain rate) และอุณหภูมิ (temperature) ดังนี้:

$$\sigma_y = [A + B * (\epsilon_p)^n] * [1 + C * \ln(\dot{\epsilon}^*)] * [1 - (T^*)^m] \quad (4)$$

โดยที่ A, B, C , and n เป็นค่าคงที่, ϵ_p เป็นค่าความเครียดพลาสติกที่มีประสิทธิภาพ (effective plastic strain), $\dot{\epsilon}^*$ เป็นค่าอัตราความเครียดพลาสติกที่เป็นกลาง (normalised plastic strain rate), และ T^* เป็นค่าอุณหภูมิ (homologous temperature)

$$\dot{\epsilon}^* = \frac{\dot{\epsilon}_p}{\dot{\epsilon}_0} \text{ for } \dot{\epsilon}_0 = 1/s \quad (5)$$

$$T^* = \frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \quad (6)$$

ค่าต่างๆ ของเหล็กกล้าที่ใช้ในรถเกราะ (RHA steel) มาจาก (5) แสดงอยู่ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเหล็กกล้า RHA ที่ใช้ในสมการจอห์นสันและคูก

ตัวแปร	ค่าของตัวแปร
A	1225 MPa
B	1575 MPa
n	0.768
C	0.0049
m	1.09
T_m	1783 K

ส่วนสมการความวิบัติ (failure model) พิจารณาจากค่าที่มากที่สุดของความเครียดหลักและความเค้นหลักในแรงดึงและแรงฉีก (principal stress and strain in tensile and shear modes) โดยได้ใช้ค่าจาก (6), ดังที่แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเครียดหลักและความเค้นหลักในแรงดึงและแรงฉีกของเหล็กกล้า RHA

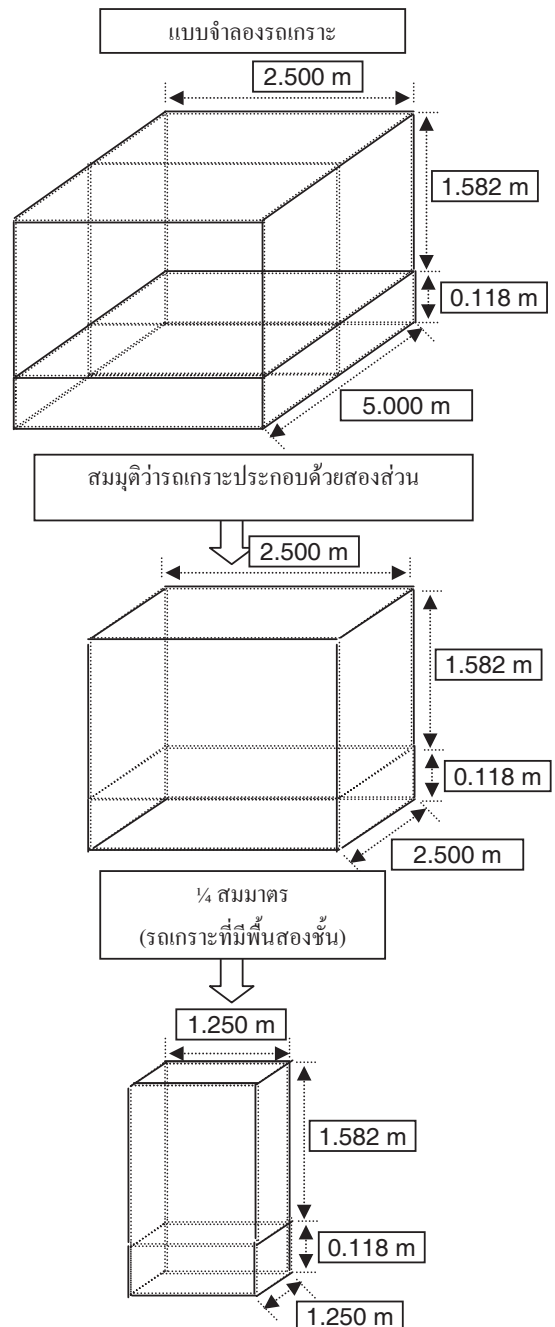
ตัวแปร	ค่าของตัวแปร
σ_{fail}	3800 MPa
ε_{fail}	50%

3. วิธีการ

ในบทความนี้จะทำการศึกษากฎนี้ตัวอย่างการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการเปรียบเทียบระหว่างรถเกราะที่มีพื้นชั้นเดียวกับรถเกราะที่มีพื้นสองชั้นว่ารูปแบบใดจะมีการเสียรูปความเร็วและความเร่งของพื้นรถเกราะน้อยกว่ากัน ในกรณีที่พื้นทั้งสองของรถเกราะสองชั้นไม่ได้กระทบกัน

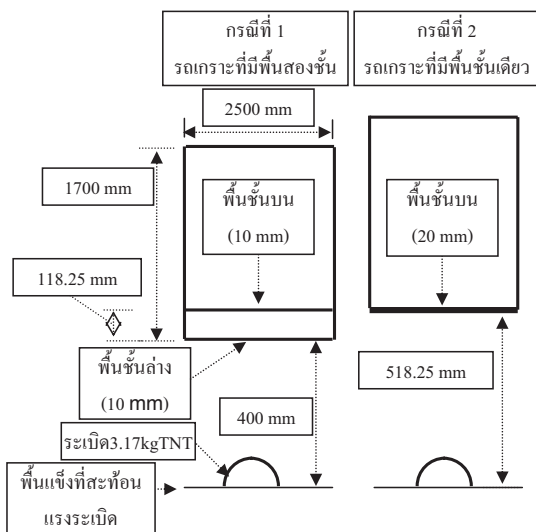
ในขั้นตอนแรกจะเป็นการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นของรถเกราะ จากนั้นจะนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งโดยปกติแล้ว ข้อมูลเกี่ยวกับขนาด รูปร่าง ลักษณะต่างๆ ของรถเกราะจะเป็นความลับของบริษัทผู้ผลิต บทความนี้สมมุติให้รถเกราะมีรูปทรงเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม มีเฉพาะโครงสร้างตัวรถ โดยไม่มีส่วนประกอบของระบบกันสะเทือน ช่วงล่าง เครื่องยนต์ ฯลฯ และประกอบกันด้วยการเชื่อมถาวร (rigid joint) จากการศึกษา ขนาดของรถเกราะใน (7) พบว่า มีขนาดกว้าง 2.5 - 3.5 m, ยาว 5 - 8.5 m, และสูง 1.7 m โดยประมาณ เพื่อให้การประเมินผลมีประสิทธิภาพและไม่ใช้เวลานานจนเกินไป ในบทความนี้ได้ใช้ 2.5 x 5 m เป็น

ขนาดของรถเกราะโดยแบ่งเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน ในหนึ่งส่วนนั้นแบบจำลองของรถเกราะถูกสร้างขึ้นโดยมีลักษณะ 1/4 ของรถเกราะเนื่องจากการสมมาตร ดังที่แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพสเก็ทแสดงขนาดของรถเกราะที่ใช้ในการทดลอง

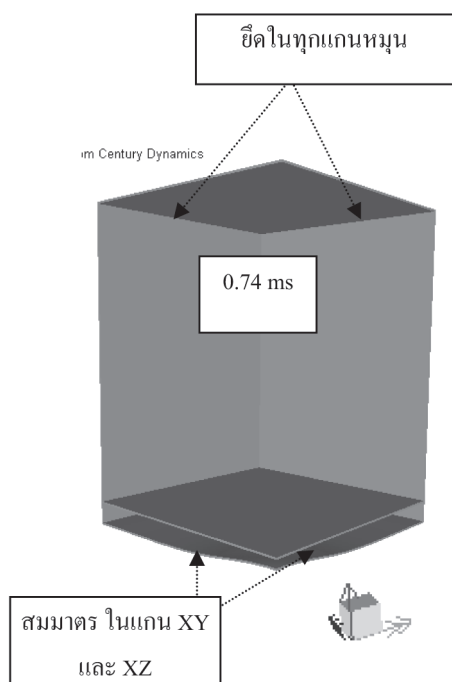
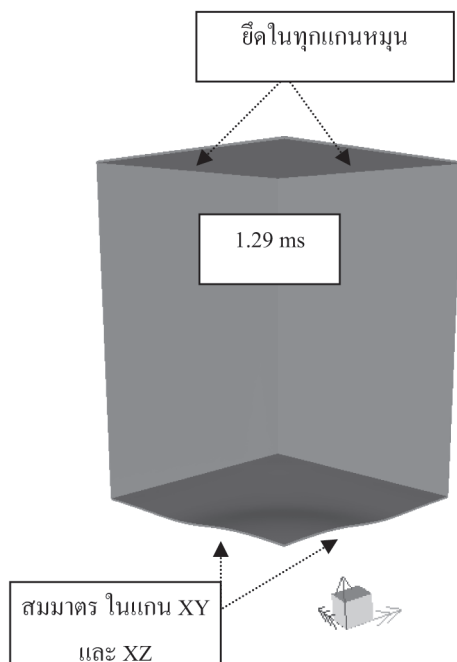
(7) ระบุว่า รถถัง T-62 มีพื้นหนา 20 mm Leopard 1 มีพื้นหนา 15 mm และ BTR-60P APC มีพื้นหนา 5 mm บทความนี้จะสมมุติว่า ความหนาของโครงสร้างรถเกราะทั้งหมด (ยกเว้น พื้น) มีขนาด 10 mm ความหนาของพื้นรถเกราะสองชั้นมีขนาดชั้นละ 10 mm และความหนาของพื้นรถเกราะชั้นเดียว มีขนาด 20 mm ทั้งนี้ระยะระหว่างพื้นทั้งสองชั้นของรถเกราะที่มีพื้นสองชั้น สมมุติให้เป็น 118 mm ดังรูปที่ 3 บทความนี้จะสมมุติให้ระเบิดที่ใช้เป็นดินระเบิดทีเอ็นที (TNT) รูปทรงครึ่งวงกลม น้ำหนัก 3.17 kg ไม่มีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น กลไกการระเบิด ฝาครอบ ฯลฯ โดยให้ระเบิดบนพื้นจำลองที่มีการสะท้อนอย่างเต็มที่ ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของระเบิดกับโครงสร้างรถเกราะเป็นไปตามที่แสดงในรูปที่ 3



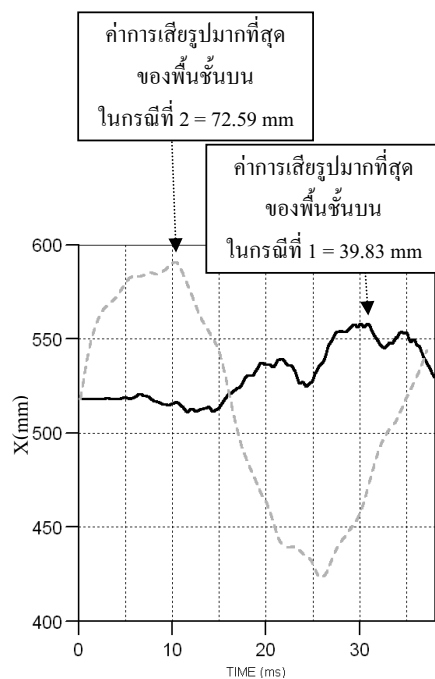
รูปที่ 3 แสดงแบบของ กรณีที่ 1 และ 2

สำหรับขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้น เริ่มจากการหาค่าต่างๆ ของระเบิดโดยการออกแบบใน AUTODYN 2D แล้วทำการรีแมพ (remap) ลงบน AUTODYN 3D จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยให้อยู่ในอีเลอร์เอเลเมนต์ (Eulerian elements) แทนอากาศ และเชลล์เอเลเมนต์ (shell elements) แทนโครงสร้างของรถเกราะ จากการวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของเอเลเมนต์ (element) ของโครงสร้างของรถเกราะและอากาศ พบว่า ควรมีขนาด 10 mm และ 9 mm ตามลำดับเพื่อให้สามารถประเมินผลได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในระยะเวลาที่เหมาะสม ส่วนบนของโครงสร้างของรถเกราะถูกยึดให้อยู่กับที่ในทุกแกน (fixed in all degrees of freedom) และตั้งค่าให้อากาศสามารถเคลื่อนที่ออกจากด้านนอกสุดของโมเดลทุกด้าน ยกเว้นด้านที่ใกล้กับระเบิดที่สุด สำหรับวิธีการที่ใช้นี้ ได้มีการเปรียบเทียบกับผลการทดลองของแผ่นเหล็กเดี่ยวต่อการระเบิด ใน (8) พบว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันกับผลการทดลอง

4. ผลการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

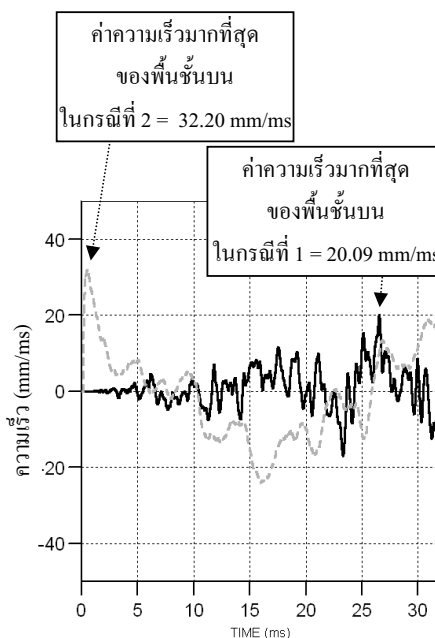


รูปที่ 4 แบบจำลองคอมพิวเตอร์ในกรณีที่ 1 และ 2

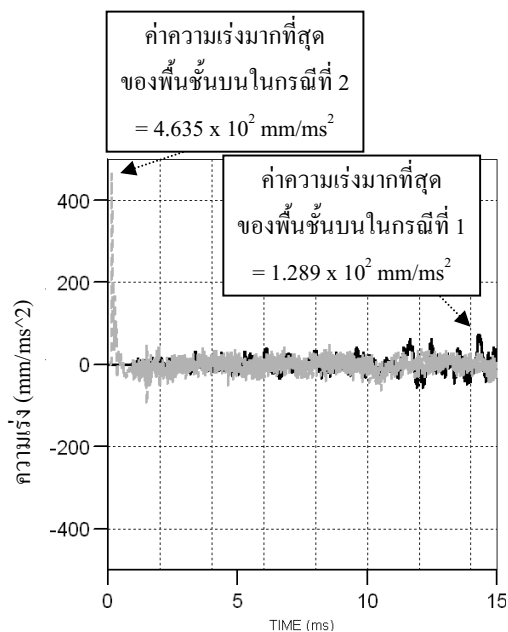


รูปที่ 5 ค่าการเสียรูปของพื้นชั้นบนในกรณีที่ 1 และ 2

หมายเหตุ: ค่าการเสียรูปวัดจากตำแหน่งจริงของมาตรวัด



รูปที่ 6 ค่าความเร็วของพื้นชั้นบน ในกรณีที่ 1 และ 2



รูปที่ 7 ค่าความเร่งของพื้นชั้นบน ในกรณีที่ 1 และ 2

5. การอภิปรายผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบผลของพื้นชั้นบน ของรถเกราะที่มีพื้นสองชั้นกับรถเกราะที่มีพื้นชั้นเดียว โดยควบคุมให้มวลทั้งหมดเท่ากัน ระยะระหว่างระเบิดกับพื้นชั้นบนเท่ากัน และน้ำหนักของระเบิดเท่ากัน พบว่าค่าที่เสียรูปมากที่สุด ค่าความเร็วมากที่สุด และค่าความเร่งมากที่สุด ในรูปที่ 5, 6 และ 7 ของรถเกราะที่มีพื้นสองชั้น (กรณีที่ 1) ลดลงไป 45%, 38% และ 72% เมื่อเปรียบเทียบกับรถเกราะที่มีพื้นชั้นเดียว (กรณีที่ 2) โดยคาดว่าผลที่แตกต่างกันนั้นเกิดจากการที่พื้นชั้นบนของรถเกราะที่มีพื้นสองชั้น ได้รับแรงอัดอากาศทางอ้อมจากการเคลื่อนที่เข้าหากันของพื้นรถเกราะทั้งสองแผ่น โดยไม่ได้รับแรงระเบิดโดยตรงเหมือนกับพื้นชั้นบนของรถเกราะที่มีพื้นชั้นเดียว นอกจากนี้ พื้นชั้นบนยังทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเสริมความแข็งแรงของโครงสร้าง (stiffener) ให้กับโครงสร้างของรถเกราะ ทำให้

ผลของการเปรียบเทียบ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความเร่งของพื้นชั้นบนลดลง

ผลของการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ในกรณีศึกษาที่ได้แสดงมาในบทความนี้ ทำให้ทราบว่า ผลของการใช้โครงสร้างรถเกราะที่มีพื้นสองชั้นทำให้ค่าการเสียรูป ความเร็ว และความเร่งลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างรถเกราะที่มีพื้นชั้นเดียว ในกรณีที่พื้นทั้งสองชั้นของรถเกราะที่มีพื้นสองชั้นไม่ได้กระทบกัน เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการทำทดลองจริง ที่มีราคาสูงมาก ทั้งค่าใช้จ่ายในการจัดหาโครงสร้างรถเกราะ เครื่องมือวัดต่างๆ บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญ ฯลฯ และเวลาในการเตรียมการทดลองจริง อย่างไรก็ตาม จุดประสงค์ของการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้น เพื่อเป็นการลดจำนวนการทดลองจริง ไม่ใช่แทนการทดลองจริงทั้งหมด เนื่องจากการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้นมีการใช้การสมมุติต่างๆ อยู่พอสมควร เช่น การสมมุติว่าโครงสร้างรถเกราะยึดติดกันอย่างสมบูรณ์ แต่ในความเป็นจริงแล้ว โครงสร้างเหล่านี้ยึดติดกันด้วยการเชื่อม ทำให้ความแข็งแรงของเหล็กลดลง

6. ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้ได้แสดงผลของการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการเปรียบเทียบรถเกราะที่มีพื้นสองชั้นและชั้นเดียว ผลปรากฏว่ารถเกราะที่มีพื้นสองชั้นมีการเสียรูป ความเร็ว และความเร่ง ของพื้นรถเกราะน้อยกว่ารถเกราะที่มีพื้นชั้นเดียวโดยได้มีการใช้ทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ และวิธีการสร้างได้มีการเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงมาแล้ว ทั้งนี้อาจมีการค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติมในการเปลี่ยนรูปทรงของพื้นรถเกราะสองชั้นเป็นรูปตัววีที่โค้งงอในมุมที่ต่างๆ กัน รูปทรงโค้งที่

ความโค้งต่างๆ กัน และรูปทรงอื่นๆ นอกจากนี้ อาจมีการทดลองใส่วัสดุต่างๆ เข้าไปในช่องว่างของพื้นทั้งสองแผ่น เพื่อศึกษาว่าจะสามารถลดค่าการเสียรูป ความเร็ว และความเร่งของพื้นรถเกราะได้ดีเพียงไร

เอกสารอ้างอิง

- (1) CENTURY DYNAMICS. (2003) AUTODYN theory manual revision 4.3. California, USA.
- (2) COLIN, G. S.. (2002) An introduction to hydrocode modelling, unpublished lecture notes. Arizona, USA: The University of Arizona, August 2002.
- (3) DOBRATZ, B.M., and CRAWFORD, P.C.. (1985) LLNL explosive handbook: Properties of chemical explosives and explosive simulants. Technical report UCRL-52997. California, USA: Lawrence Livermore National Laboratory, January 1985.
- (4) JOHNSON, G., and COOK, G.. (1983) A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures. In: 7th International Symposium on Ballistics. Hague, Netherlands, April 1983.
- (5) GRAY III, G. T., et al, (1994) Constitutive equations for annealed metals under compression at high strain rates and high temperatures. LA-12669-MS. New Mexico, USA: Los Alamos National Laboratory, January 1994.
- (6) RIEDEL, W., WEBER, K., WICKLEIN, M., THOMA, K., and FARBER, J., (2004.) Reduction of fragment effects behind layered armour experimental and numerical analysis. In: 21st International Symposium on Ballistics, Adelaide, Australia: 19 - 23 April 2004.
- (7) FOSS, C. F. ed., (2000) Jane's armour and artillery: 2000 - 2001. Great Britain: Jane's Information Group Limited. Also available at: <URL: <http://jaa.janes.com>.
- (8) SHOWICHEN, A., et al., (2005) Simulation of plate structures subjected to Anti-tank mines. Journal of Battlefield Technology. 8, 1 (March 2005), 1-7.