

Prediction of A Passenger Injury in the Truck Compartment During Accident
การคาดการณ์อันตรายที่เกิดขึ้นกับผู้โดยสารเมื่อรถบรรทุกประสบอุบัติเหตุ

สังจาทิพย์ ทศนีย์พันธ์ุ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปวีณ อารยางกูร, นิตดา วิมลทรัพย์สิน

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถ. พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร. 66(2) 942-8566-70 โทรสาร 66(2) 9405414 E-mail: feng.cnc@std.cpc.ku.ac.th

บทคัดย่อ

รถบรรทุกขนาดเล็กหรือรถปิกอัพมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย มักถูกนำมาใช้เพื่อบรรทุกผู้โดยสาร ซึ่งเป็นการผิดวัตถุประสงค์ของการใช้งาน คือใช้สำหรับบรรทุกสิ่งของและสัมภาระ บทความนี้ได้นำเสนอการบาดเจ็บ ที่อาจเกิดขึ้นกับผู้โดยสารซึ่งนั่งอยู่ที่กระบะท้ายรถ เมื่อประสบอุบัติเหตุ โดยการใช้โปรแกรมจำลองการเคลื่อนไหว ซึ่งโปรแกรมนี้สามารถใช้ได้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล รูปแบบจำลองของผู้โดยสารหลายๆแบบได้นำเสนอเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องแม่นยำ และเวลาในการประมวลผล ตำแหน่งและท่าทางของผู้โดยสารบนรถกระบะจะถูกนำมาศึกษาในการชนหลายระดับขั้นของความรุนแรง ทั้งด้านหน้าและด้านหลังของรถกระบะ ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงเป็นกราฟให้เห็นเป็นลำดับภาพต่อภาพและเวลาที่ผู้โดยสารได้รับแรงกระแทก

Abstract

Small trucks or Pick-Up trucks are popular in Thailand and misused by carrying passengers instead. This paper presents the injury, which will occur for a passenger sitting freely on the floor of the truck compartment of a small truck. The accident was simulated by using a dynamic simulation software running on a personal computer. Various models of the body were used to determine the optimization of accuracy and computing time. The locations on the truck and posture of the passenger were studied with various degree of collision at the front and back of the truck. The results were present graphically as a frame by frame basic and at critical frames.

1. บทนำ

เนื่องจากรถบรรทุกขนาดเล็ก หรือรถปิกอัพเป็นพาหนะที่ได้รับความนิยมและมีจำนวนผู้ครอบครองจำนวนมาก โดยจุดประสงค์ของพาหนะประเภทนี้เพื่อใช้สำหรับบรรทุกสิ่งของ แต่ในหลายโอกาสผู้ครอบครองหรือผู้ขับขี่รถจะใช้บรรทุกผู้โดยสารบริเวณกระบะท้าย โดยผู้

โดยสารไม่มีที่นั่ง เข็มขัดนิรภัย หลังคาและผนังด้านข้าง เหมือนรถโดยสารบุคคลทั่วไป ดังนั้นถ้ามีอุบัติเหตุผู้โดยสารที่โดยสารบนกระบะท้ายจึงกระเด็นจากที่นั่ง ได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิตได้

มาตรการหนึ่งในการเฝ้าระวังชักชวนไม่ให้ใช้ในการบรรทุกผู้โดยสารเพื่อลดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุบนท้องถนนได้โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการเกิดอุบัติเหตุของผู้โดยสารที่นั่งคนเดียวบนกระบะท้ายโดยไม่มีเข็มขัดนิรภัย ที่หลายอัตราความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุ เนื่องจากแบบจำลองของร่างกายมนุษย์มีความซับซ้อนสูงซึ่งเป็นผลให้ใช้เวลาในการประมวลผลที่นาน ดังนั้นการศึกษาแบบจำลองของร่างกายของผู้โดยสาร จากรูปแบบต่างๆ จะช่วยให้สามารถศึกษาหลากหลายกรณีของอุบัติเหตุได้ในระยะเวลาที่สั้น การเลือกใช้แบบจำลองที่เหมาะสม จึงเป็นการทำให้ผลการวิเคราะห์เป็นที่ยอมรับได้ ในขณะที่สามารถลดเวลาการประมวลผลให้สั้นลง

2. ทฤษฎี

การศึกษาทางด้านชีวกลไกมักจะใช้การสร้างแบบจำลองอย่างง่าย ในการศึกษาลักษณะท่าทางของมนุษย์และใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์คำนวณ หนึ่งในแบบจำลองพื้นฐานที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายจะเป็นแบบจำลองซึ่งใช้การเชื่อมต่อกันของวัตถุแข็งเกร็งแทนส่วนต่างๆของร่างกายมนุษย์ (เปรียบเสมือนข้อต่อต่างๆของกลไกเครื่องจักรกล) แล้วกำหนดเงื่อนไขต่างๆ และแรงกระทำภายนอกหรือโมเมนต์ แล้วจึงทำการคำนวณโดยโปรแกรมสำเร็จรูป (โปรแกรม Working Model Motion) ซึ่งใช้การอินทิเกรตในการคำนวณหาตำแหน่งและความเร็วของวัตถุ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี Kutta-Merson Integration

2.1 Kutta-Merson Integration

Kutta-Merson Integration เป็นหลักการอินทิเกรตที่ให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าจริงและเป็นวิธีการที่ค่อนข้างรวดเร็ว วิธีการในการแก้ปัญหามสมการเชิงอนุพันธ์ของ Kutta-Merson มีรูปแบบสมการดังนี้

$$y_0 = y(t) \quad (1)$$

$$y_1 = y_0 + \frac{1}{3}hf(y_0, t) \quad (2)$$

$$y_2 = y_0 + \frac{1}{6}hf(y_0, t) + \frac{1}{6}hf(y_1, t + \frac{1}{3}h) \quad (3)$$

$$y_3 = y_0 + \frac{1}{8}hf(y_0, t) + \frac{3}{8}hf(y_2, t + \frac{1}{3}h) \quad (4)$$

$$y_4 = y_0 + \frac{1}{6}hf(y_0, t) - \frac{3}{2}hf(y_2, t + \frac{1}{3}h) + 2hf(y_3, t + \frac{1}{2}h) \quad (5)$$

$$y_5 = y_0 + \frac{1}{6}hf(y_0, t) + \frac{2}{3}hf(y_3, t + \frac{1}{2}h) + \frac{1}{6}(y_4, t + h) \quad (6)$$

โดยค่าประมาณความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ

$$\frac{1}{5}|y_4 - y_5| \quad (7)$$

2.2 Coefficient of Restitution (e)

Coefficient of Restitution เป็นการวัดค่าความยืดหยุ่นเนื่องจากการชนของวัตถุ 2 ชิ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นค่าที่บ่งถึงพลังงานจลน์ของวัตถุที่ยังคงอยู่หลังเกิดการชนโดย ค่า e จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 สำหรับการชนที่มีความยืดหยุ่นสมบูรณ์จะมีค่า e เท่ากับ 1 และถ้าเป็นการชนที่ไม่มีความยืดหยุ่นจะมีค่า e เท่ากับ 0

นิยามของ e คืออัตราส่วนระหว่างผลต่างของความเร็วของวัตถุทั้งสองหลังการชน กับผลต่างของความเร็วของวัตถุทั้งสองก่อนการชน

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_2 - u_1} \quad (8)$$

e Coefficient of Restitution

u_1 ความเร็วเชิงเส้นของวัตถุชิ้นที่ 1 ก่อนการชน

u_2 ความเร็วเชิงเส้นของวัตถุชิ้นที่ 2 ก่อนการชน

v_1 ความเร็วเชิงเส้นของวัตถุชิ้นที่ 1 หลังการชน

v_2 ความเร็วเชิงเส้นของวัตถุชิ้นที่ 2 หลังการชน

2.3 กฎการเคลื่อนที่

จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันเมื่อมวล M ได้รับแรงกระทำ จะเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งค่าหนึ่ง กำหนดให้แรงที่กระทำแทนด้วย F มวลแทนด้วย M และความเร็วของมวลแทนด้วย V ดังนั้นจากกฎของนิวตัน จะได้ว่า

$$F = \frac{d(MV)}{dt} = M \frac{dV}{dt} + V \frac{dM}{dt} \quad (9)$$

สำหรับเครื่องจักรกลทั่วไปค่าของมวลจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ทำให้ค่า $\frac{dM}{dt} = 0$

ดังนั้นจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันสำหรับชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลพบว่า

$$F = M \frac{dV}{dt} = Ma \quad (10)$$

2.4 Normal Range of Motion

Normal Range of Motion เป็นค่าปกติของการเคลื่อนไหวของข้อต่างๆของร่างกายมนุษย์ ซึ่งร่างกายมนุษย์ปกติไม่สามารถเคลื่อนไหวได้เกินไปจากค่าเหล่านี้ เนื่องจากโครงสร้างของร่างกายประกอบด้วย กระดูก เอ็นยึดกระดูก (Ligament) และเอ็นยึดกล้ามเนื้อกระดูก (Tendon) ข้อต่อที่สำคัญและได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Normal Range of Motion

	Flexion-Extension (degree)	Lateral-Flexion (degree)	Rotation (degree)
Neck			
- Occipital- atlantal joint	25	5	5
- Atlanto-axial joint	20	5	40

	Abduction (degree)	Adduction (degree)	Flexion (degree)
Shoulder	170-180	45	170-180
Elbow	0	0	145-155
Hip	45	20-30	120-130
Knee	0	0	135-145

	Extension (degree)	External Rotation (degree)	Internal Rotation (degree)
Shoulder	50-60	80-90	70-80
Elbow	0	90 (Supination)	90 (Pronation)
Hip	10-20	40-50	35-45
Knee	0	0	0

3. อุปกรณ์

3.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหน่วยประมวลผลกลาง Pentium III ความเร็ว 450 MHz RAM 128 KB

3.2 โปรแกรม Working Model Motion Version 5.0

3.3 โปรแกรม Pro/Engineer Version 19

4. วิธีการจำลอง

- 4.1 สร้างแบบจำลองของรถบรรทุก และผู้โดยสาร โดยใช้โปรแกรม Pro/Engineer สร้างเป็น Solid Model แล้วจึงแปลงเป็นไฟล์ STL (Stereolithography) แล้วส่งไปกำหนดเงื่อนไข และวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Working Model Motion 5.0
- 4.2 แบบจำลองรถบรรทุกมีขนาดความกว้างยาวของกระบะท้ายเท่ากับ 164x179.5 เมตร และหลังของแบบจำลองตั้งฉากกับพื้นของกระบะท้ายรถ น้ำหนักของรถ 1,150 กิโลกรัม
- 4.3 แบบจำลองผู้โดยสารเริ่มพิจารณาจากรูปทรงง่าย ๆ แล้วจึงค่อยๆพัฒนาให้มีจำนวนชิ้นส่วนและจุดหมุนเพิ่มขึ้น ให้ความใกล้เคียงมนุษย์มากขึ้น ซึ่งแบบจะลองผู้โดยสารที่ได้ทำการทดลองได้นี้
 - 4.3.1 แบบจำลอง A มวลทรงสี่เหลี่ยม น้ำหนัก 65 กิโลกรัม
 - 4.3.2 แบบจำลอง B มวลรูปตัว L น้ำหนัก 65 กิโลกรัม
 - 4.3.3 แบบจำลอง C ประกอบด้วย 2 มวลคือ ศีรษะ-ลำตัว และท่อนขา มีจุดหมุน 1 จุด น้ำหนัก 65 กิโลกรัม
 - 4.3.4 แบบจำลอง D ประกอบด้วย 3 มวลคือ ศีรษะ ลำตัว และท่อนขา มีจุดหมุน 2 จุด น้ำหนัก 65 กิโลกรัม
 - 4.3.5 แบบจำลอง E ประกอบด้วย 3 มวลคือ ศีรษะ-ลำตัว ท่อนขาช่วงบน และท่อนขาช่วงล่าง มีจุดหมุน 2 จุด น้ำหนัก 65 กิโลกรัม
 - 4.3.6 แบบจำลอง F ประกอบด้วย 4 มวลคือ ศีรษะ ลำตัว ท่อนขาช่วงบน และท่อนขาช่วงล่าง มีจุดหมุน 3 จุด น้ำหนัก 65 กิโลกรัม
 - 4.3.7 แบบจำลอง G ประกอบด้วย 6 มวลคือ ศีรษะ ลำตัว ท่อนแขน 2 ท่อน ท่อนขาช่วงบน และท่อนขาช่วงล่าง โดยมีจุดหมุน 5 จุด น้ำหนัก 65 กิโลกรัม
 - 4.3.8 แบบจำลอง H ประกอบด้วย 10 มวลคือ ศีรษะ ลำตัว ท่อนแขนช่วงบน 2 ท่อน ท่อนแขนช่วงล่าง 2 ท่อน ท่อนขาช่วงบน 2 ท่อน และท่อนขาช่วงล่าง 2 ท่อน โดยมีจุดหมุน 9 จุด น้ำหนัก 65 กิโลกรัม โดยถ่วงน้ำหนักของอวัยวะต่างๆ ตามค่าของ Braune และ Fischer [1] ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปอร์เซนต์น้ำหนักของส่วนต่างๆของร่างกาย

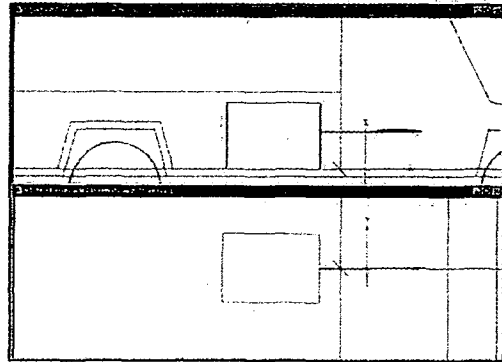
Segment	Percentages
Head	7.06
Trunk	42.7
Upper arm (2)	6.72
Forearm with Hand (2)	6.24
Thigh (2)	23.16
Calf (lower leg) with Foot (2)	14.12

- 4.4 ทดสอบความแม่นยำของโปรแกรม Working Model Motion โดยการตั้งค่า Sampling Rate ไว้ที่ 2000 Hz แล้วจึงทำการปรับค่า Integration Time Step, t_i ให้ลดลงแล้วทำการ Run จนได้ค่า t_i ที่เหมาะสม

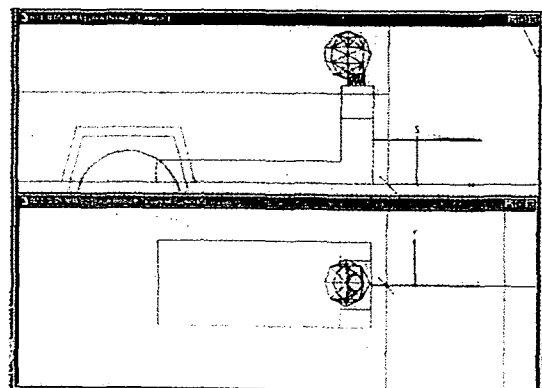
- 4.5 ทำการทดสอบแบบจำลองผู้โดยสารเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า e เพื่อเลือกค่า e ที่เหมาะสม โดยการศึกษาจากลักษณะการเคลื่อนไหวของแบบจำลองผู้โดยสารเมื่อเกิดการชน ว่าที่ค่า e เท่าใดที่มีความใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด
- 4.6 กำหนดคุณสมบัติของแบบจำลอง เช่น น้ำหนัก ขนาด และคุณสมบัติของจุดหมุน
- 4.7 กำหนดเงื่อนไขต่างๆได้แก่ ความเร็วของรถ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และค่า e
- 4.8 เก็บข้อมูลของแบบจำลองของผู้โดยสารแบบต่างๆ โดยการปรับค่าตัวแปรให้ได้ตามที่ทำการทดลองและเลือกไว้

5. ผลการจำลอง

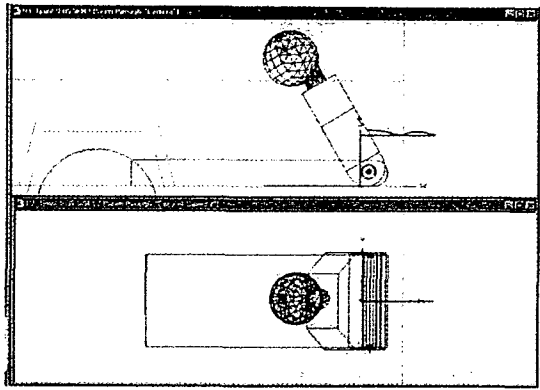
- 5.1 การทดสอบเบื้องต้นสำหรับค่า Coefficient of Restitution (e) จะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.05 และใช้ค่า Integration Time Step (t_i) เท่ากับ 125 μ sec
- 5.2 จากการจำลองการปะทะด้านหน้าโดยมีมุมชนทำมุม 90 องศากับระนาบของตัวรถบรรทุก (ระนาบ y-z) โดยทุกกรณีจะเกิดการเคลื่อนที่ของตัวรถบรรทุกหลังเกิดการชนในแกน z เพียง 12 mm ซึ่งประมาณได้ว่า การเคลื่อนที่ภายหลังอยู่ในแนวเส้นตรง บนระนาบ ขนานกับพื้นถนน แบบจำลองรูปร่างต่างๆ ได้ทำการบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของผู้โดยสารไว้ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 1 ถึง รูปที่ 8



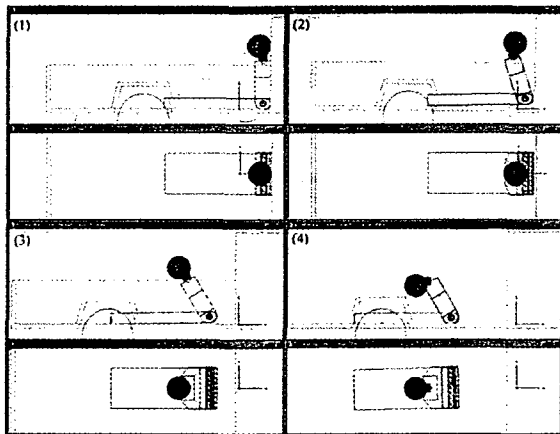
รูปที่ 1 แบบจำลอง A (วิวด้านข้าง x-z และด้านบน x-y) ที่เวลา 0.32 วินาที ความเร็วรถ 25 m/s



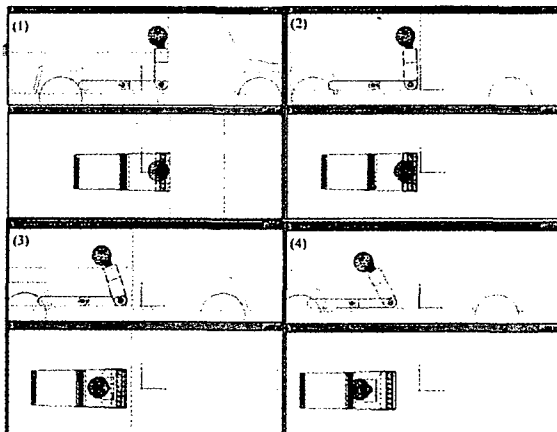
รูปที่ 2 แบบจำลอง B ที่เวลา 0.52 วินาที ความเร็วรถ 25 m/s



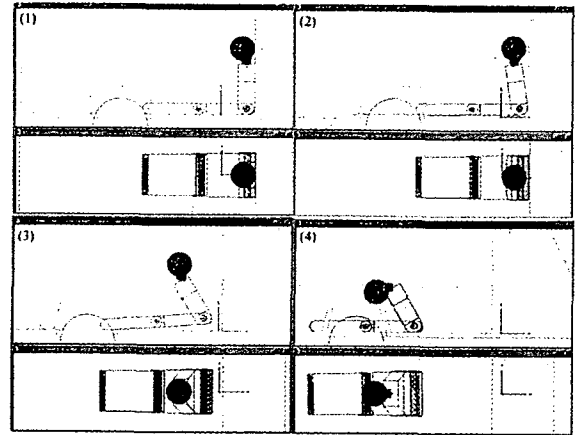
รูปที่ 3 แบบจำลอง C ที่เวลา 0.38 วินาที ความเร็ว 25 m/s



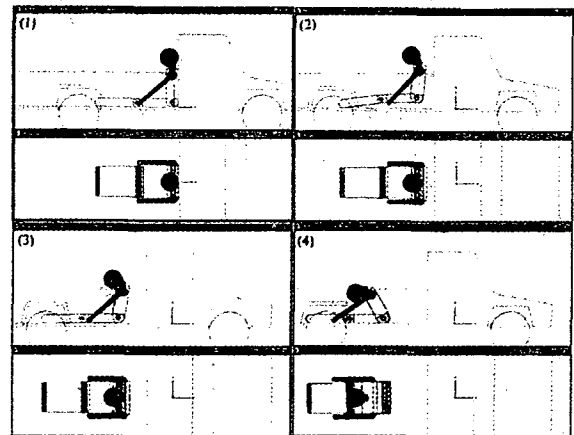
รูปที่ 4 แบบจำลอง D ที่เวลา 0.012, 0.075, 0.20 และ 0.35 วินาที ตามลำดับ ความเร็ว 25 m/s



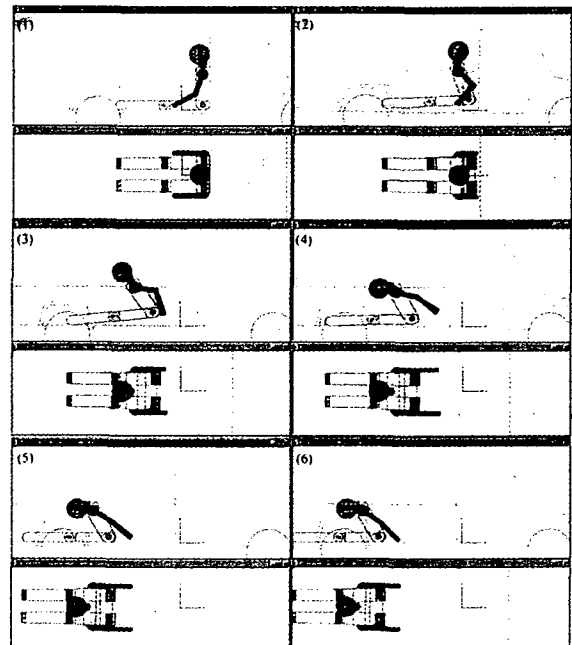
รูปที่ 5 แบบจำลอง E ที่เวลา 0.012, 0.15, 0.25 และ 0.35 วินาที ตามลำดับ ความเร็ว 25 m/s



รูปที่ 6 แบบจำลอง F ที่เวลา 0.012, 0.045, 0.15 และ 0.55 วินาที ตามลำดับ ความเร็ว 25 m/s



รูปที่ 7 แบบจำลอง G ที่เวลา 0.012, 0.10, 0.25 และ 0.45 วินาที ตามลำดับ ความเร็ว 25 m/s

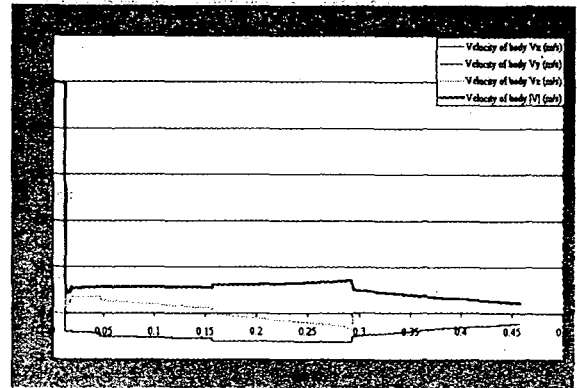


รูปที่ 8 แบบจำลอง H ที่เวลา 0.012, 0.075, 0.20, 0.28, 0.36 และ 0.45 วินาที ตามลำดับ ความเร็ว 25 m/s

5.3 สรุปเวลาในการประมวลผล ของแบบจำลองต่างๆ ได้ดังแสดงใน ตารางที่ 3

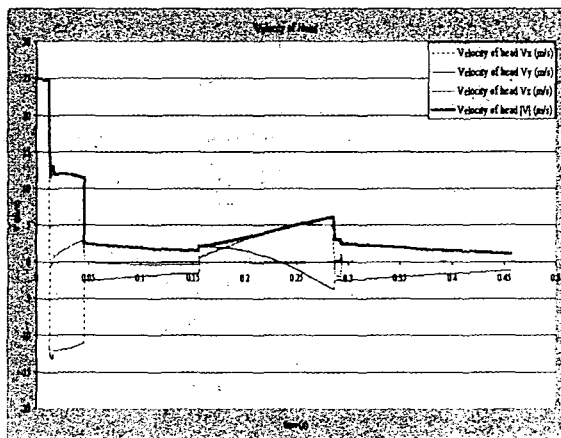
ตารางที่ 3 Processing times for each model

Model	All frame	Process time (s)
A	657	233.2544
B	707	265.125
C	720	364.0449
D	872	403.348
E	1152	490.2128
F	1087	536.7901
G	1340	668.7616
H	1177	1362.842

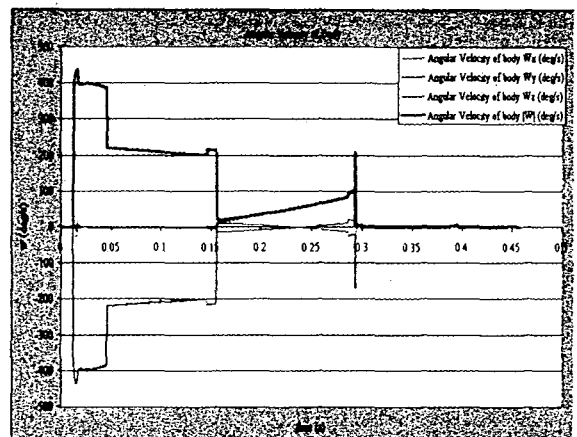


รูปที่ 11 ความเร็วในทิศทาง x,y,z และผลลัพธ์ของความเร็ของลำตัวของผู้โดยสารแบบจำลอง H

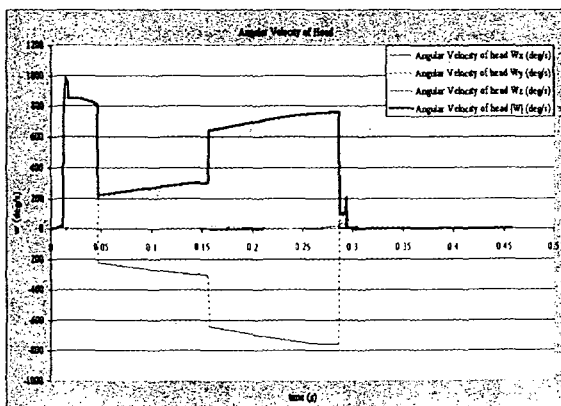
5.4 การจำลองการปะทะจากด้านหน้าของผู้โดยสารแบบจำลอง H ที่ความเร็วขณะปะทะ 25 m/s ได้บันทึกผลของความเร็และความเร็วเชิงมุมที่ศีรษะ และลำตัว ได้ผลดังรูปที่ 9 ถึง รูปที่12 และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ส่วนคอ ในรูปที่ 13



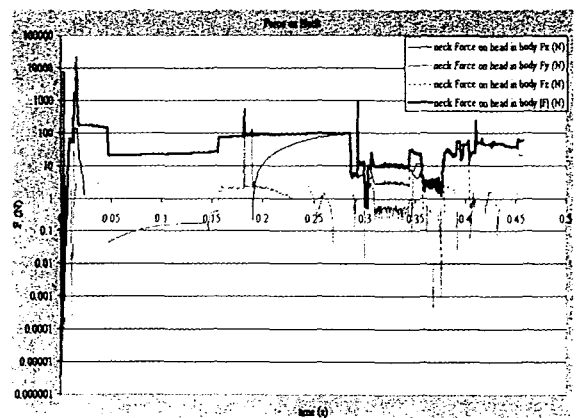
รูปที่ 9 ความเร็วในทิศทาง x,y,z และผลลัพธ์ของความเร็ของศีรษะของผู้โดยสารแบบจำลอง H



รูปที่ 12 ความเร็วเชิงมุมรอบแกน x,y,z และผลลัพธ์ของความเร็เชิงมุม ของลำตัวของผู้โดยสารแบบจำลอง H



รูปที่ 10 ความเร็วเชิงมุมรอบแกน x,y,z และผลลัพธ์ของความเร็เชิงมุมของศีรษะของผู้โดยสารแบบจำลอง H

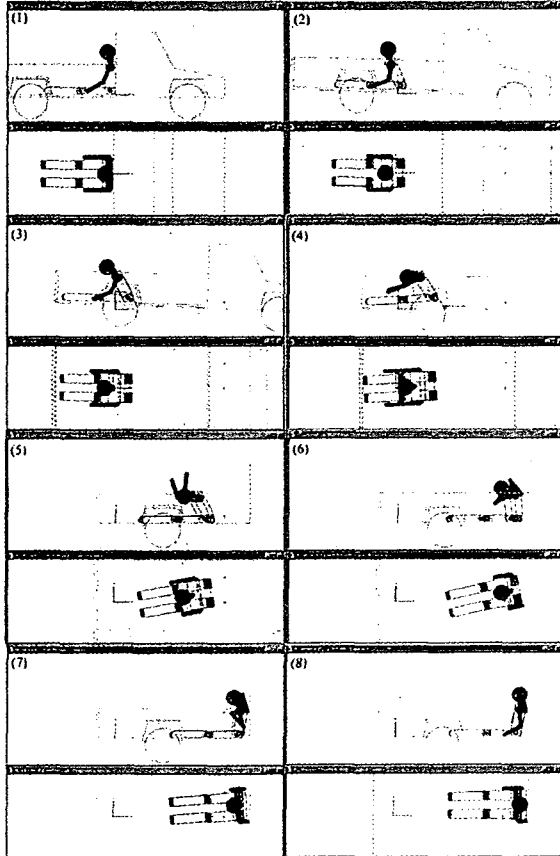


รูปที่ 13 แรงในทิศทาง x,y,z และผลลัพธ์ของแรงที่เกิดขึ้นกับคอของผู้โดยสารแบบจำลอง H

กราฟที่ได้ จะมีลักษณะเป็นกราฟที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอยู่หลายจุด แต่จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วแต่ละจุดนี้เกิดขึ้นพร้อมกัน ในทุกๆกราฟ สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนี้เกิดขึ้นจาก การกระทบของอวัยวะ

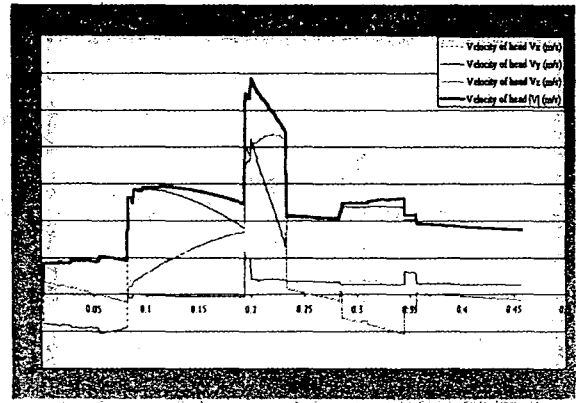
โค้งก็ตาม กับพื้นรถ ซึ่งจะส่งผลมายังอวัยวะอื่นๆ ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว และความเร็วเชิงมุมตามไปด้วย นอกจากนี้การหมุนของอวัยวะที่ถึงขีดจำกัดที่กำหนดไว้ ก็ยังเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของกราฟอีกด้วย

5.5 การจำลองการปะทะจากด้านท้ายโดยการปะทะทำมุม 90 องศา กับระนาบของตัวรถบรรทุก(ระนาบ y-z) ของแบบจำลอง H ได้แสดงผลการบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของผู้โดยสารดังรูปที่ 14

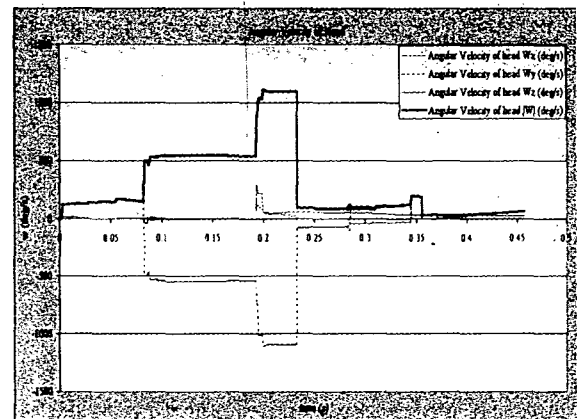


รูปที่ 14 ภาพการเคลื่อนที่ของผู้โดยสารแบบจำลอง H (วิวด้านข้างและด้านบน) จากการปะทะจากด้านท้ายที่เวลา 0.0025, 0.0075, 0.17, 0.25, 0.45, 0.60, 0.70 และ 0.85 วินาที ตามลำดับ ความเร็วรถ 25 m/s

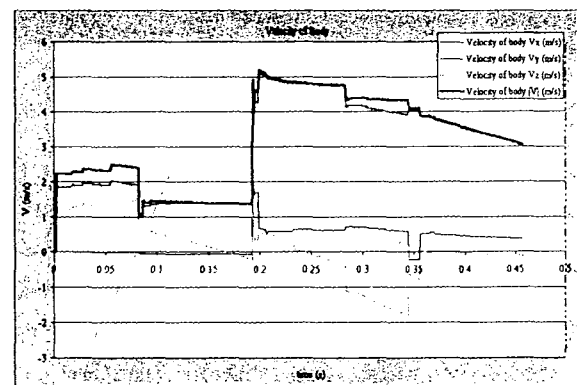
5.6 ค่าความเร็ว และความเร็วเชิงมุมของคอและลำตัวจากการปะทะด้านท้าย ได้แสดงผลในรูปที่ 15 ถึง 18 และแรง และ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ส่วนคอ ดังรูปที่ 19 โดยมีความเร็วของรถที่ปะทะด้านท้าย 25 m/s ทำมุม 90 องศา กับระนาบ y-z



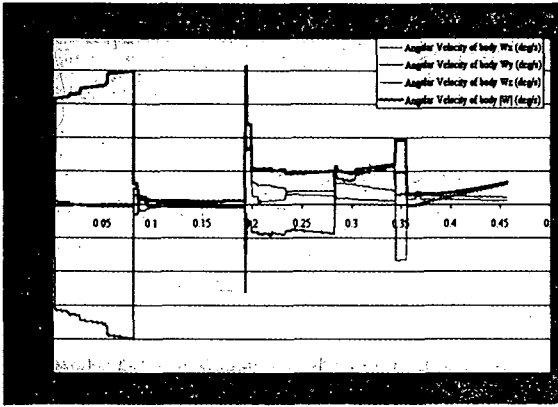
รูปที่ 15 ความเร็วในทิศทาง x,y,z และผลลัพธ์ของความเร็วยังศีรษะของผู้โดยสารแบบจำลอง H



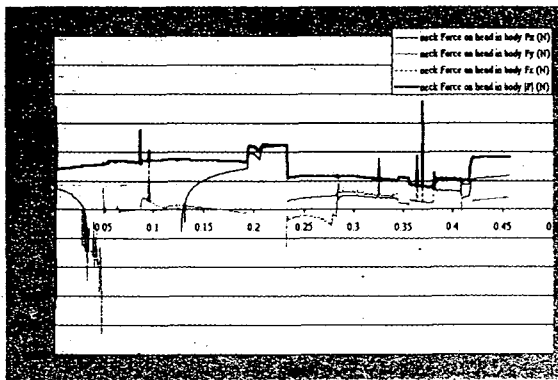
รูปที่ 16 ความเร็วเชิงมุมรอบแกน x,y,z และผลลัพธ์ของความเร็วยังมุมของศีรษะของผู้โดยสารแบบจำลอง H



รูปที่ 17 ความเร็วในทิศทาง x,y,z และผลลัพธ์ของความเร็วยังลำตัวของผู้โดยสารแบบจำลอง H



รูปที่ 18 ความเร็วเชิงมุมรอบแกน x,y,z และผลลัพธ์ของความเร็วจาลองของผู้โดยสารแบบจำลอง H



รูปที่ 19 แรงในทิศทาง x,y,z และผลลัพธ์ของแรงที่เกิดขึ้นที่ส่วนคอของผู้โดยสารแบบจำลอง H

6. สรุปและวิจารณ์ผล

ผลการจำลองการชนด้านหน้าด้วยแบบจำลองของผู้โดยสารรูปทรงต่างๆกันมีดังนี้

6.1 จะพบว่า ลักษณะของการสะท้อนกลับของผู้โดยสารที่นั่งอยู่ท้ายรถบรรทุกในแบบจำลอง A ถึง C จะมีลักษณะที่เหมือนกันซึ่งสังเกตได้จากกราฟการเคลื่อนที่ของแบบจำลองโดยพิกัด x-z หรือด้านข้าง (รูปที่ 1 ถึง 3) ในภาพจะแสดงจุดเริ่มต้นที่รถเริ่มเคลื่อนที่ดังแสดงใน เมื่อเกิดการชน แบบจำลองผู้โดยสารจะถูกแรงกระทำทางด้านหลังกับผนังของรถและเกิดการสะท้อนขึ้นจากรถเล็กน้อย แต่การเคลื่อนที่ที่ยังคงอยู่ในระนาบเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของรถ สำหรับแบบจำลอง D ถึง F และ H จะมีลักษณะเหมือนกัน คือ โหลจะเคลื่อนที่ออกจากผนังของรถก่อน ยกเว้น แบบจำลอง G ที่สะโพกจะเคลื่อนที่ออกมาก่อน โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า Tolerance ที่ใช้ในการคำนวณซึ่งมีผลกระทบทำให้ตำแหน่งของ ตัว ขา และศีรษะ ที่ได้ในการคำนวณที่ค่า แตกต่างกันสำหรับผู้โดยสารที่จำลอง รูปร่างเหมือนคนจริง(H) มีลักษณะการเคลื่อนที่ไม่ต่างจากแบบจำลองอื่นนัก และจากการจำลองการชน ไม่มีแบบไหนที่ผู้โดยสารจะกระเด็น

ออกนอกรถ แสดงว่าผู้โดยสารที่นั่งอยู่ในลักษณะนี้จะไม่กระเด็นออกนอกรถ เมื่อเกิดอุบัติเหตุจากการปะทะด้านหน้าขึ้น

6.2 สำหรับการชนจากด้านหน้าและด้านหลัง พบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วของทั้งศีรษะ และลำตัว ที่เกิดขึ้นในการชนด้านหน้ามีมากกว่าการชนด้านหลัง โดยที่การเปลี่ยนแปลงความเร็วของศีรษะและลำตัวของแบบจำลองเมื่อเกิดการชนด้านหน้ามีค่า 26,200 m/s ต่อวินาที และ 44,840 m/s ต่อวินาที ตามลำดับ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงความเร็วของศีรษะและลำตัวของแบบจำลองเมื่อเกิดการชนด้านหลังมีค่า 5,968 m/s ต่อวินาที และ 7,040 m/s ต่อวินาที ตามลำดับ จึงเป็นผลให้แรงที่เกิดขึ้นกับคอของการชนด้านหน้ามีค่ามากกว่าการชนจากด้านหลัง และจากค่าดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงพลังงานที่เกิดขึ้น ที่สามารถทำให้อวัยวะส่วนนั้นๆ ของร่างกายได้รับบาดเจ็บอย่างรุนแรงได้

6.3 จากการจำลองอุบัติเหตุในงานวิจัยนี้ แสดงถึงความง่ายในการทำนาย เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น แต่ผลการทำนายที่ได้ ยังมีความผิดพลาดจากความเป็นจริง เพราะโปรแกรมที่ใช้ กำหนดให้มวลของผู้โดยสารเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) เท่านั้น ซึ่งต่างจากสภาพทางกายภาพของทั้งคนและรถจริงๆ โดยการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องรวมการวิเคราะห์ทั้งทางด้าน Kinematic และ Finite Element Analysis แต่ในงานวิจัยนี้ได้ทำการลดขนาดคุณลักษณะของวัตถุ โดยปรับค่า Coefficient of Restitution, e ให้ใกล้เคียงกับการเป็นวัตถุยืดหยุ่นมากที่สุดแทน ให้ได้ผลใกล้เคียงจากความเป็นจริงมากที่สุด โดยข้อมูล จากผลการทดสอบจากอุปกรณ์จริง ยังมีได้นำมาใช้เปรียบเทียบ เนื่องจากการทดลองนั้นกระทำได้ยาก ใช้ค่าใช้จ่ายสูงทั้งยังเกิดความเสียหายอีกด้วย และการชนที่เกิดขึ้นในแบบจำลองเป็นการชนที่ทำมุม 90 องศากระนาบของตัวรถบรรทุก(ระนาบ y-z) ซึ่งในความเป็นจริงนั้นจะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก

6.4 การจำลองข้อต่อที่คอ และสะโพกไม่สามารถจำลองให้เหมือนของมนุษย์ได้ เนื่องจากข้อต่อทั้งสองควรเป็นแบบ Ball-Socket หรือ Spherical Joint ซึ่งในการจำลอง โปรแกรมที่ใช้จะไม่สามารถกำหนดขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดของการเคลื่อนที่ได้ จึงทำให้จำเป็นต้องใช้ Revolute Joint จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ลำบากในการจำลองให้เหมือนร่างกายมนุษย์ได้

6.5 การทำนายให้ได้ค่าถูกต้องมากยิ่งขึ้นขึ้นอยู่กับได้โดยการปรับค่า Tolerance ให้มีค่าน้อยลง หรืออีกทางหนึ่งคือ ลดค่า Integration steps ให้น้อยลง แต่วิธีการดังกล่าวจะทำให้เสียเวลาในการคำนวณมากขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องใช้ความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถสูงขึ้นเป็นเงาตามตัว

6.6 งานวิจัยนี้นอกจากจะนำเสนอในเรื่องของการจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงบนคอมพิวเตอร์โดยจำลองผู้โดยสารเป็น Rigid Body แล้ว ยังแสดงให้เห็นถึง แนวโน้มในการใช้คอมพิวเตอร์ เพื่อการพัฒนาความสามารถของมนุษย์ในการค้นหาข้อมูลบางอย่างที่ยากต่อการทดสอบจริง เช่น ต้องแลกกับความเสียหาย อันตราย ความเสียหาย งบประมาณและเวลา

เอกสารอ้างอิง

1. Marlene J. Adrian, D.P.E., John M. Cooper, Fd.D.
Biomechanics of Human Movement :Brown & Benchmark
Publishers,1989
2. *MSC/Working Model User's Manual* :The Mac Neal-
Schwendler,1999
3. Joseph Hamill, Ph.D., Kathleen M. Knutzen. *Biomechanical
Basis of Human Movement* :Williams&Wilkins,1995
4. <http://www.krev.com>