



การดูดซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทกแนวตรง

ENERGY ABSORPTION OF TRUCK 'S FRONT BUMPER

IN DIRECT CRASHING



นายณรงค์ฤทธิ์	รัตนวิโรจน์
นายณัฐวุฒิ	สีตัน
นายศุภชัย	มาตัน

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 21 กค 2554
เลขทะเบียน..... 15554779
เลขเรียกหนังสือ..... มร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๘๔229 ๗

2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ : การดูดซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทก  
 แนวตรง

ผู้ดำเนินโครงการ : นายณรงค์ฤทธิ์ รัตน์วิโรจน์ รหัสนิสิต 49381902  
 : นายฉัฐวุฒิ สีสัน รหัสนิสิต 50383660  
 : นายศุภชัย มาดั้น รหัสนิสิต 50383776

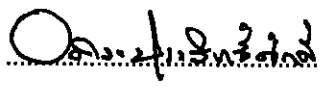
ที่ปรึกษาโครงการ : อาจารย์ช่อศิร ประสิทธิ์ศักดิ์

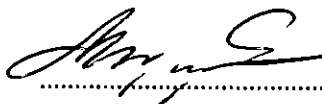
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

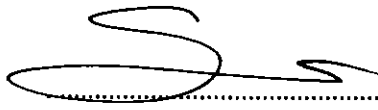
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบรจรัม อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
 ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงการ  
 (อาจารย์ช่อศิร ประสิทธิ์ศักดิ์)

.....กรรมการ  
 (ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ  
 (ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ : การดูซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทก  
แนวตรง

ผู้ดำเนินโครงการ : นายณรงค์ฤทธิ์ รัตนวิโรจน์ รหัสสถิติ 49381902  
: นายณัฐวุฒิ สีตัน รหัสสถิติ 50383660  
: นายสุภชัย มาคั้น รหัสสถิติ 50383776

ที่ปรึกษาโครงการ : อาจารย์อัคริศ ประสิทธิ์ศักดิ์

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2553

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการดูซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทกแนวตรงโดยเป็นการชนกระแทกค่อกำแพงแข็งครึ่ง กันชนรถยนต์บรรทุกที่ศึกษาทำมาจากแผ่นอลูมิเนียมความหนา 3 มิลลิเมตร และมีความเร็วชนกระแทกเป็น 64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การศึกษาถึงการดูซับพลังงานชนกระแทกนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองสภาพการชนกระแทก นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการดูซับพลังงานชนกระแทกเมื่อตัวแปรของการชนกระแทกมีการเปลี่ยนแปลงคือ ความหนาจำนวน 3 ค่า คือ 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร และความเร็วชนกระแทกจำนวน 5 ค่า คือ 51, 58, 64, 70 และ 77 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ผลจากการจำลองสภาพพบว่าการชนกระแทกของกันชนความหนา 3 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นั้นกันชนหน้ามีพลังงานเสียรูปประมาณ 2,850 จูล คิดเป็นความสามารถในการดูซับพลังงานได้ 1.05% เมื่อเทียบกับพลังงานจลน์ของรถยนต์บรรทุกก่อนเกิดการชนกระแทกในการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรการชนกระแทกที่ศึกษาพบว่าความหนาของกันชนมีผลต่อความสามารถในการดูซับพลังงานมากกว่าความเร็วชนกระแทก โดยที่ความสามารถในการดูซับพลังงานชนกระแทกของกันชนจะแปรผันโดยตรงต่อความหนาของกันชนแต่จะแปรผกผันกับความเร็วชนกระแทก

**Project title** : Energy absorption of truck's front bumper in direct crashing  
**Name** : Mr. Narongrit Rattanawiroch Student ID. 49381902  
: Mr. Nattawut Seesan Student ID. 50383660  
: Mr. Supachai Matan Student ID. 50383776  
**Project advisor** : Mr. Adisorn Prasitsak  
**Major** : Mechanical Engineering  
**Department** : Engineering  
**Academic year** : 2010

---

### Abstract

This project studies an energy absorption capacity of a truck's front bumper in direct crashing. The crashing is a frontal collision of a vehicle into a rigid wall. In this project study, the bumper is made from a aluminum sheet of 3 mm thickness and impact to the rigid wall with the 64 km/h of impact velocity. The crashing is studied by using finite element simulation. Moreover, the effects of the thickness and impact velocity on the impact force are also investigated. The bumper thickness is varied to be 1, 2 and 3 mm. and the impact velocity is varied to be 51, 58, 64, 70 and 77 km/h.

The simulation result of the 3 mm bumper thickness with the 64 km/h impact velocity shows that the deformation energy of the bumper is 2,850 Joule. There is 1.05% of energy absorption capacity compare with the kinetic energy of the truck's before impact. The simulation result also shows that the change of thickness affects the energy absorption capacity more than the change of impact velocity. The energy absorption capacity is direct variation to the thickness but inverse variation to the impact velocity.

## กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ อศิธรประสิทธิ์ศักดิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการปริญญานิพนธ์นี้ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์ช่างทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและช่วยในการทดสอบวัสดุเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการทำโครงการปริญญานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนอุปการะด้านการเงินและเป็นกำลังใจให้ในการทำงานจนทำให้โครงการปริญญานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอมอบความดีของโครงการปริญญานิพนธ์นี้เป็นความกตเวทิตาคุณบิดา มารดาและคณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติสืบไป



คณะผู้จัดทำโครงการ  
นายณรงค์ฤทธิ์ รัตนวิโรจน์  
นายณัฐวุฒิ สีตัน  
นายศุภชัย มาคั่น

## สารบัญ

	หน้าที่
ใบรองรับปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
Abstract.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	4
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	4
1.6 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน.....	5
1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน.....	5
1.8 อุปกรณ์ที่ใช้.....	6
1.9 งบประมาณ.....	6
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>7</b>
2.1 ทฤษฎีการกระแทก - สัมผัส.....	7
2.2 พลังงานเครียด.....	13
2.3 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	14
2.4 การวิเคราะห์พลังงานเสีรูปในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	18
2.5 คุณสมบัติวัสดุ.....	19
2.6 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	20

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	22
3.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....	22
3.2 การทดสอบคั้งแผ่นอลูมิเนียม.....	22
3.3 การจำลองสภาพการชนกระแทก.....	23
3.4 การนำเสนอผลการศึกษา.....	23
3.5 การวิเคราะห์และสรุปผลการจำลองสภาพ.....	24
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	25
4.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....	25
4.2 การทดสอบคั้งแผ่นอลูมิเนียม.....	27
4.3 การจำลองสภาพการชนกระแทก.....	32
4.4 ผลการจำลองสภาพการชนกระแทก.....	41
4.5 การวิจารณ์ผลการจำลองสภาพ.....	45
บทที่ 5 การวิเคราะห์และสรุปผล.....	47
5.1 การวิเคราะห์ผลการจำลองสภาพ.....	47
5.2 สรุปผลการศึกษา.....	49
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	49
บรรณานุกรม.....	50
ภาคผนวก ก.....	51
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	59

## สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาและแผนปฏิบัติงานในการดำเนินโครงการ.....	5
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัตินิสัยของอูมูเนียม.....	19
ตารางที่ 4.1 มิตินอกกันชนหน้าตัวอย่าง.....	26
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลรถยนต์บรรทุก.....	26
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลคุณสมบัตินิสัยของแผ่นอูมูเนียม.....	32
ตารางที่ 4.4 รายละเอียดของแบบจำลอง.....	33
ตารางที่ 4.5 คุณสมบัตินิสัยที่เกี่ยวข้องของแบบจำลองกันชน.....	36
ตารางที่ 4.6 ผลงานเสียรูปของกันชนจากการจำลองสภาพ.....	45
ตารางที่ 5.1 ความสามารถในการดูดซับพลังงานชนกระแทกของกันชน.....	48





## สารบัญรูปภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 1.1 แสดงจำนวนรถยนต์ที่จดทะเบียนใหม่ ระหว่างปี พ.ศ. 2542 ถึง 2552.....	1
รูปที่ 1.2 แสดงจำนวนในการเกิดอุบัติเหตุจราจรและความเสียหาย ระหว่างปี พ.ศ. 2548 ถึง 2552.....	2
รูปที่ 1.3 การเกิดอุบัติเหตุการชนกระแทกทางด้านหน้าของรถยนต์.....	3
รูปที่ 2.1 แบบจำลองการสัมผัสกันระหว่างวัตถุ A และ B.....	8
รูปที่ 2.2 เวกเตอร์ในพิกัดเฉพาะที่ $\eta$ สัมผัส $\hat{t}$ ช่างอิงจากผิวหลัก.....	9
รูปที่ 2.3 เวกเตอร์ความเร็วพิจารณา $\eta$ จุดสัมผัส (แสดงโดยแยกจุดสัมผัสออกจากกัน).....	10
รูปที่ 2.4 แท่งตรงได้รับภาระภายนอก $P$ ทำให้ยืดออกเป็นระยะ $dx$ .....	13
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างเอลิเมนต์แบบต่างๆ.....	15
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการแบ่งแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์เล็กๆ.....	15
รูปที่ 2.7 ภาพแสดงผังระดับของความเค้นบนชิ้นงานหนึ่งด้วย โปรแกรมแสดงผล.....	18
รูปที่ 4.1 ลักษณะกันชนหน้ารถยนต์บรรทุก.....	25
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างแผ่นอลูมิเนียม.....	27
รูปที่ 4.3 รูปร่างการจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบดึงแผ่นอลูมิเนียม.....	27
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างทดสอบดึงแผ่นอลูมิเนียม.....	28
รูปที่ 4.5 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบดึงเข้ากับเครื่องทดสอบ.....	28
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการทดสอบดึงจนขาดออกจากกัน.....	29
รูปที่ 4.7 การทดสอบดึงครั้งที่ 1.....	29
รูปที่ 4.8 การทดสอบดึงครั้งที่ 2.....	30
รูปที่ 4.9 การทดสอบดึงครั้งที่ 3.....	30
รูปที่ 4.10 การทดสอบดึงครั้งที่ 4.....	31
รูปที่ 4.11 คู่ลำดับของความเค้นและความเครียดเฉลี่ย.....	31
รูปที่ 4.12 ภาพรวมของแบบจำลอง.....	33
รูปที่ 4.13 การจัดวางตำแหน่งของแบบจำลองทั้ง 3.....	34
รูปที่ 4.14 การสร้างเส้นใน AutoCAD.....	35
รูปที่ 4.15 แบบจำลองที่ถูกแบ่งเอลิเมนต์.....	35

## สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 4.16 ตัวอย่างข้อมูลแบบจำลองสำหรับสร้างไฟล์นำเข้า.....	36
รูปที่ 4.17 การกำหนดคุณสมบัติของแบบจำลองในไฟล์นำเข้า.....	37
รูปที่ 4.18 การกำหนดการบังคับการเคลื่อนที่ในไฟล์นำเข้า.....	38
รูปที่ 4.19 การกำหนดคู่สัมผัสในไฟล์นำเข้า.....	39
รูปที่ 4.20 การกำหนดผลลัพธ์ในไฟล์นำเข้า.....	39
รูปที่ 4.21 การทำงานของ โปรแกรมขณะประมวลผล.....	40
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆของการชนกระแทก ที่ความเร็วทั้ง 5 ค่า ของกันชนความหนา 1 มิลลิเมตร.....	41
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆของการชนกระแทก ที่ความเร็วทั้ง 5 ค่า ของกันชนความหนา 2 มิลลิเมตร.....	42
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆของการชนกระแทก ที่ความเร็วทั้ง 5 ค่า ของกันชนความหนา 3 มิลลิเมตร.....	42
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆ ของการชนกระแทก ของกันชนที่มีความหนาทั้ง 3 ค่า ที่ความเร็วชนกระแทก 51 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	43
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆ ของการชนกระแทก ของกันชนที่มีความหนาทั้ง 3 ค่า ที่ความเร็วชนกระแทก 58 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	43
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆของการชนกระแทก ของกันชนที่มีความหนาทั้ง 3 ค่า ที่ความเร็วชนกระแทก 64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	44
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆของการชนกระแทก ของกันชนที่มีความหนาทั้ง 3 ค่า ที่ความเร็วชนกระแทก 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	44
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆของการชนกระแทก ของกันชนที่มีความหนาทั้ง 3 ค่า ที่ความเร็วชนกระแทก 77 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	45
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงแรงชนกระแทกที่เวลาต่างๆ ของการชนกระแทกที่ความเร็วทั้ง 5 ค่า ของกันชนความหนา 3 มิลลิเมตร.....	48
รูปที่ ก-1 รูปร่างการจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบคิงแผ่นอลูมิเนียม.....	52
รูปที่ ก-2 ตัวอย่างทดสอบคิงแผ่นอลูมิเนียม.....	52
รูปที่ ก-3 ตัวอย่างทดสอบมาตรฐานทั่วไปที่ใช้ในการทดสอบคิง.....	53
รูปที่ ก-4 รูปเครื่องมือทดสอบคิง.....	53

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ ก-5 รูปการทำงานของเครื่องทดสอบดึง.....	53
รูปที่ ก-6 แสดงหน้าจอแสดงผลเวลาเปิดสวิตช์เครื่องทดสอบดึง.....	54
รูปที่ ก-7 แสดงผลเวลาดึงแบบ Graphic Display Mode.....	54
รูปที่ ก-8 การจับชิ้นงานทดสอบด้านบนและด้านล่างเปิดกว้าง.....	55
รูปที่ ก-9 แสดงตำแหน่งของตัวพา (crosshead striker) ประมาณ 1 เซนติเมตร.....	56
รูปที่ ก-10 การจับชิ้นงานทดสอบทั้งด้านล่างและด้านบน.....	56
รูปที่ ก-11 แสดงตัวอย่างทดสอบดึงขณะขาดออกจากกัน.....	57
รูปที่ ก-12 ตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการทดสอบดึงจนขาดออกจากกัน.....	58
รูปที่ ก-13 เครื่องสำหรับพิมพ์ผลการทดสอบแรงดึง.....	58



## สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

$A$	Cross-sectional Area	พื้นที่หน้าตัด
$\underline{B}$	Matrix relating strains to nodal displacements	เมทริกซ์แสดงความสัมพันธ์ -ระหว่างความเครียดและการ -เสวยรูปที่โหนด
$C$	Cosine direction	ทิศทางโคไซน์
$\underline{d}$	global nodal displacement	พิกัดของเอลิเมนต์ การเสวยรูป -ของโหนดในพิกัดรวม
$\underline{d}'$	local nodal displacement	พิกัดของเอลิเมนต์ การเสวยรูป -ของโหนดในพิกัดเฉพาะที่
$\underline{D}$	Matrix relating stresses to strains	เมทริกซ์แสดงความสัมพันธ์ -ระหว่างความเค้นและ -ความเครียด
$E$	Modulus of elasticity	โมดูลัสการยืดหยุ่น
$\underline{f}$	global-coordinate nodal force matrix	เมทริกซ์ของแรงที่โหนดพิกัด -รวม
$\underline{f}'$	local-coordinate nodal force matrix	เมทริกซ์ของแรงที่โหนดพิกัด -เฉพาะที่
$\underline{f}_b$	body force matrix	เมทริกซ์ของแรงเนื่องจาก -มวล
$\underline{f}_h$	heat transfer force matrix	เมทริกซ์ของแรงเนื่องจาก -ความร้อน
$\underline{f}_q$	heat flux force matrix	เมทริกซ์ของปริมาณความ -ร้อน
$\underline{f}_Q$	heat source force matrix	เมทริกซ์ของแหล่งกำเนิด -ความร้อน
$\underline{f}_s$	surface force matrix	เมทริกซ์ของแรงที่ผิว
$\underline{F}$	global-coordinate structure force matrix	เมทริกซ์ของแรงทั้ง -โครงสร้างในพิกัดรวม
$\underline{F}_0$	equivalent force matrix	เมทริกซ์ของแรงเทียบเท่า

### สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

$g$	temperature gradient matrix	เมทริกซ์ของแรงการ -เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
$h$	heat-transfer coefficient	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน -ร้อน
$I$	principal moment of inertia	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่
$J$	Jacobian matrix	เมทริกซ์ของจาโคเบียน
$k$	spring stiffness	-สทิตินสมเมทริกซ์
$\underline{k}$	global-coordinate element stiffness matrix	สทิตินสมเมทริกซ์ของเอลิ -เมนต์ในพิกัดรวม
$\underline{k}'$	local-coordinate stiffness matrix	สทิตินสมเมทริกซ์ของเอลิ -เมนต์ในพิกัดเฉพาะที่
$\underline{K}$	global-coordinate structure stiffness matrix	สทิตินสมเมทริกซ์ของทั้ง -โครงสร้างในพิกัดรวม
$K_x, K_y$	thermal conductivities in x and y directions	ค่าการนำความร้อนใน -แนวแกน x และ y
$N$	shape (interpolation) function matrix	เมทริกซ์ของฟังก์ชันรูปร่าง
$N_i$	shape function	ฟังก์ชันรูปร่าง
$p$	surface pressure	ความดันที่ผิว
$P$	concentrated load	แรงกระทำเป็นจุด
$q$	heat flow per unit area	ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อ -พื้นที่
$Q$	heat source generated per unit volume	ค่าการกำเนิดความร้อนต่อ -ปริมาตร
$R$	residual in Galerkin's integral	เศษของวิธีอินทิเกรตของ -กาเลอร์กิน
$R_b$	body force in the radial direction	แรงเนื่องจากน้ำหนักในแนว -รัศมี
$t$	thickness of a plane element	ความหนาของเอลิเมนต์แบบ -แผ่น

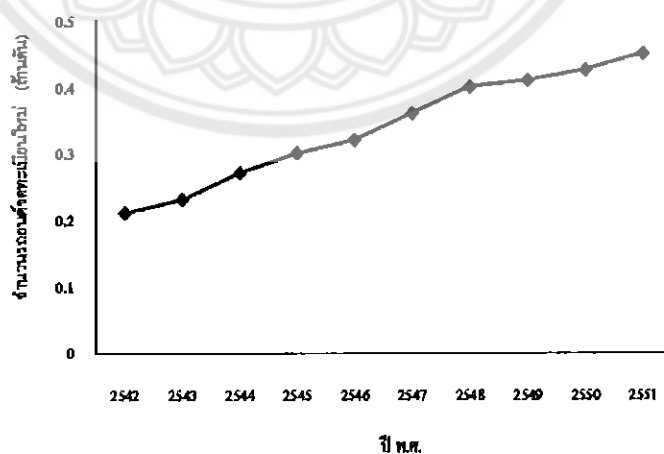
$T$	temperature function	ฟังก์ชันอุณหภูมิ
$T_a$	free-steam temperature	อุณหภูมิของของไหลที่ไหลผ่าน
$U$	strain energy	ค่าพลังงานเครียด
$\Delta U$	change in stored energy	ค่าการเปลี่ยนแปลงของพลังงานเครียด
$X$	body force matrix	เมทริกซ์ของแรงเนื่องจากน้ำหนัก
$\alpha$	coefficient of thermal expansion	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ
$\delta$	spring or bar deformation	การเสียรูปของสปริงหรือแท่งวัสดุ
$\varepsilon$	normal strain	ความเครียด
$\nu$	poisson ratio	อัตราส่วนปัวซอง
$\Pi$	total potential energy	พลังงานศักย์ทั้งหมด
$\Omega$	potential energy of forces	พลังงานศักย์เนื่องจากแรง
$\tau$	shear stress	ความเค้นเฉือน
$\Psi$	general displacement function matrix	เมทริกซ์ของฟังก์ชันการเสียรูปทั่วไป
$'$	local coordinate system matrix	เมทริกซ์พิกัดเฉพาะที่
$-$	global coordinate system matrix	เมทริกซ์พิกัดรวม
$[ ]$	rectangular or a square matrix	เมทริกซ์สี่เหลี่ยม
$\{ \}$	column matrix	เมทริกซ์แถว

## บทที่ 1

### บทนำ

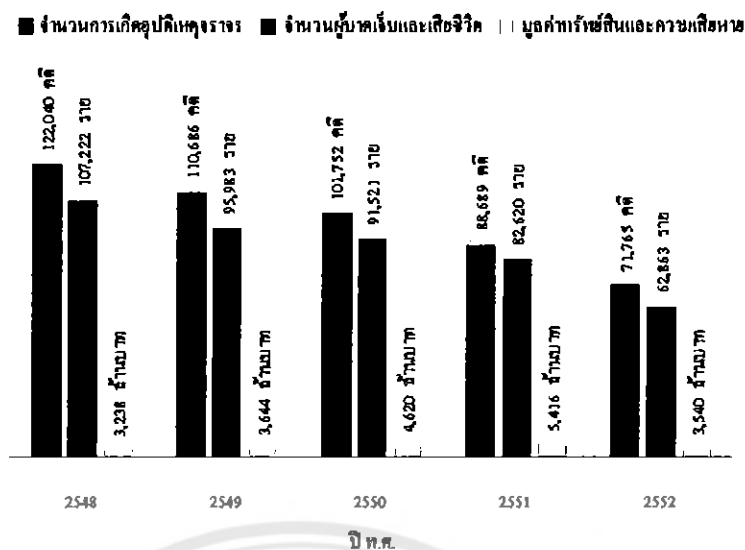
#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันยานพาหนะได้เข้ามามีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตมากขึ้นและความต้องการในการใช้ยานพาหนะในการเดินทางเพื่อทำงานหรือกิจกรรมต่างๆ อาทิ เช่น รถโดยสารประจำทาง รถบรรทุกแบบต่างๆ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ เป็นต้น ซึ่งยานพาหนะแต่ละรูปแบบที่กล่าวมาก็มีความสามารถ สมรรถนะ และความปลอดภัยในการขับขี่ที่แตกต่างกันออกไป ด้วยเหตุที่รถยนต์เป็นยานพาหนะที่มีความสะดวกสบายในการขับขี่และความปลอดภัยสูงกว่ารถจักรยานยนต์ ทำให้รถยนต์ได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้มีปริมาณรถยนต์บนท้องถนนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และในขณะเดียวกันเมื่อมีการใช้ยานพาหนะบนท้องถนนมากขึ้นย่อมก่อให้เกิดอุบัติเหตุทางจราจรเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการขับขี่ยานพาหนะด้วยความประมาทและฝ่าฝืนกฎจราจร จากสถิติจำนวนประชากรของสำนักงานตำรวจแห่งชาติ และจำนวนรถยนต์ที่จดทะเบียนของกรมการขนส่งทางบกพบว่า สถิติดังกล่าวมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2542 ถึงพ.ศ.2551) ซึ่งในรูปที่ 1.1 ได้แสดงจำนวนการจดทะเบียนใหม่ของรถยนต์ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาพบว่าการจดทะเบียนใหม่ของรถยนต์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ในปัจจุบันทั่วทั้งประเทศมีจำนวนรถยนต์ที่มีการจดทะเบียนสะสมรวมกันแล้วมากกว่า 10 ล้านคัน (กรมการขนส่งทางบก, 2551) และเมื่อรวมกับพาหนะอื่นๆ แล้วทำให้มีจำนวนยานพาหนะที่ได้รับการจดทะเบียนสะสมทั่วทั้งประเทศรวมแล้วประมาณ 25 ล้านคัน



รูปที่ 1.1 แสดงจำนวนรถยนต์ที่จดทะเบียนใหม่ ระหว่างปี พ.ศ. 2542 ถึง 2552

ที่มา: สำนักงานตำรวจแห่งชาติ (2552)

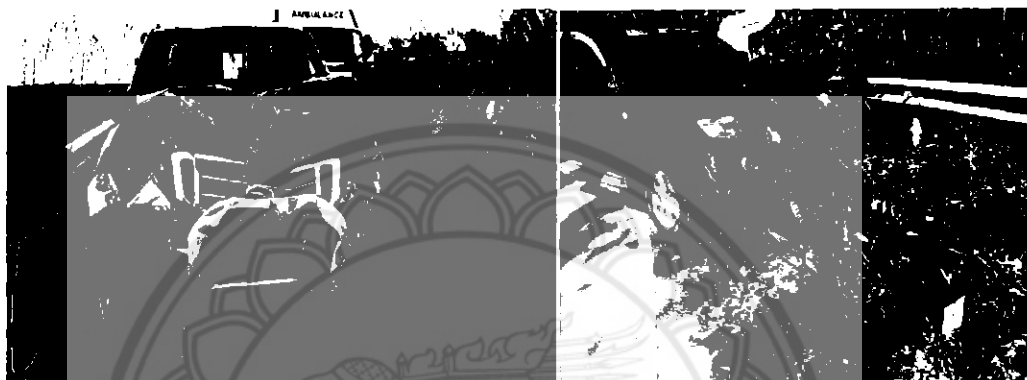


รูปที่ 1.2 แสดงจำนวนในการเกิดอุบัติเหตุจราจรและความเสียหาย  
ระหว่างปี พ.ศ. 2548 ถึง 2552  
ที่มา: สำนักงานตำรวจแห่งชาติ (2552)

ในขณะที่เดียวกันเมื่อมีการใช้ยานพาหนะต่างๆ บนท้องถนนเป็นจำนวนมากจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการจราจรติดขัดตามมา โดยเฉพาะในเขตเมืองหลวงของประเทศ ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุจราจรเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อพิจารณาถึงข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุจราจรในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา ดังแสดงในรูปที่ 1.2 พบว่าในแต่ละปีนั้นมีการเกิดอุบัติเหตุ ผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก และเห็นได้ว่ามีมูลค่าความเสียหายทางด้านทรัพย์สินเป็นจำนวนหลายพันล้านบาทต่อปี โดยเมื่อศึกษาถึงสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุทางจราจรแล้วพบว่าการขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนดเป็นสาเหตุอันดับแรกของสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมดซึ่งคิดเป็น 23% หรือเกือบ 1 ใน 4 ของสถิติทั้งหมด (สำนักงานตำรวจแห่งชาติ, 2552) สาเหตุในลำดับต่อมาได้แก่ การตัดหน้ากระชั้นชิด แข่งฝัดกฎหมาย ฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจร ไม่ให้สัญญาณจอด ชะลอ เลี้ยว ตามกระชั้นชิด ฝ่าฝืนป้ายหยุดมาตรา ไม่ขับรถในช่องซ้ายสุด ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าสาเหตุเหล่านี้ล้วนมีมูลเหตุมาจากผู้ใช้รถใช้ถนนเป็นส่วนใหญ่จะเห็นได้ว่าอุบัติเหตุจราจรที่เกิดขึ้นมีมากมายหลายรูปแบบตามสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งนำมาสู่ความสูญเสียทั้งทางด้านชีวิต ทรัพย์สินและเวลาในการเข้ารับการรักษาพยาบาลหลังจากการเกิดอุบัติเหตุ อีกทั้งยังทำให้ประเทศต้องสูญเสียทรัพยากรบุคคลทั้งผู้เสียชีวิตและผู้พิการ บุคลากรทางการแพทย์ที่ต้องดูแลผู้บาดเจ็บ ดังนั้นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับทางด้านความปลอดภัยและการเกิดอุบัติเหตุของยานพาหนะต่างๆ จึงมีความสำคัญต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์ การศึกษาถึงความปลอดภัยและการเกิดอุบัติเหตุในกรณีของรถยนต์ก่อนข้างได้รับความสนใจจากหลายๆ ฝ่ายเพราะเป็นยานพาหนะที่มีการใช้งานเป็นจำนวนมากและเพื่อเป็นการ



ยกระดับการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์อื่นจะเห็นได้จากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของอุปกรณ์เพิ่มความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่และผู้โดยสารรถยนต์ เช่น ถุงลมนิรภัย ระบบเบรก ABS โครงเหล็กนิรภัย GOA หรือฝากระโปรงหน้าที่สามารถดูดซับแรงกระแทกได้ สำหรับรถยนต์บรรทุกส่วนบุคคลหรือที่เรียกว่า “รถปิกอัพ” หรือ “รถกระบะ” นั้นพบว่า ได้มีการติดตั้งกันชนหน้าเป็นอุปกรณ์เสริมด้วยเหตุผลทั้งเพื่อความสวยงามและป้องกันการกระแทกของตัวถังรถกับวัตถุอื่น นอกจากนี้พบว่าเมื่อรถกระบะเกิดการชนกระแทกที่ด้านหน้าดังรูปที่ 1.3 กันชนหน้าจะมีส่วนสำคัญต่อเหตุการณ์การชนกระแทกเพราะเป็นชิ้นส่วนแรกที่จะสัมผัสเข้ากับวัตถุอื่น



รูปที่ 1.3 การเกิดอุบัติเหตุการชนกระแทกทางด้านหน้าของรถยนต์

แต่จากการทบทวนถึงเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มีการศึกษาถึงการชนกระแทกของกันชนหน้ารถกระบะจึงทำให้ยังขาดข้อมูลสำหรับการพัฒนากันชนหน้าเพื่อให้สามารถลดความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุลงได้ ผู้ดำเนินโครงการจึงจะได้ศึกษาถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกที่เกิดการชนกระแทกทางด้านหน้าในแนวดิ่ง ซึ่งจะช่วยให้ทราบได้ว่าพลังงานที่กระจายไปยังชิ้นส่วนต่างๆ เช่น ตัวถังรถยนต์หรือ โครงสร้างภายในบริเวณที่นั่งของผู้ขับขี่ว่าเป็นอย่างไร ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการศึกษาในส่วนที่เกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างของรถยนต์บรรทุกส่วนบุคคลเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกเมื่อเกิดอุบัติเหตุการชนในลักษณะการชนกระแทกด้านหน้าในแนวดิ่ง

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ความสามารถในการดูดซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกเมื่อเกิดอุบัติเหตุในลักษณะการชนกระแทกด้านหน้าในแนวตรง

1.3.2 การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการพุ่งชนกระแทกและความหนาของกันชน

### 1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

1.4.1 ศึกษาการดูดซับพลังงานชนกระแทกของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทกด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1.4.2 การชนกระแทกเป็นการชนของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในแนวตรงต่อผนังแข็งเกร็ง

1.4.3 กันชนหน้ารถยนต์บรรทุกทำจากอลูมิเนียม

1.4.4 ทำการศึกษาที่ความเร็วชนกระแทกจำนวน 5 ค่า

1.4.5 ทำการศึกษากับความหนาของกันชนจำนวน 3 ค่า

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานของโครงการปริญญาโทขั้นการดูดซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทกแนวตรงนี้เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปด้วยความเรียบร้อยจึงได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานเป็นดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องซึ่งประกอบด้วย ความเร็วชนกระแทก ข้อมูลของกันชนและรถยนต์บรรทุกที่ทำการศึกษา

1.2 ศึกษาการใช้งานของโปรแกรม อาทิเช่น การสร้างข้อมูลป้อนเข้า การนำออกผลลัพธ์ และการกำหนดเงื่อนไขการจำลองสภาพ

2. ทำการทดสอบคิงแผ่นอลูมิเนียม

2.1 จัดเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบคิงตามมาตรฐานการทดสอบคิง

2.2 ทดสอบคิงตามมาตรฐานการทดสอบคิง

2.3 สรุปข้อมูลคุณสมบัติวัสดุจากการทดสอบคิง

### 3. จำลองสภาพการชนกระแทก

3.1 สร้างแบบจำลองของกันชนหน้าและชิ้นส่วนอื่นที่เกี่ยวข้อง รวมถึงกำหนดเงื่อนไขของการจำลองสภาพการชนกระแทก

3.2 ทำการจำลองสภาพการชนกระแทกของแบบจำลองโดยปรับเปลี่ยนตัวแปรที่สนใจในการศึกษาซึ่งประกอบด้วย

3.2.1 เปลี่ยนค่าความเร็วชนกระแทกจำนวน 5 ค่า

3.2.2 เปลี่ยนค่าความหนาของแบบจำลองกันชนจำนวน 3 ค่า

### 4. วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองสภาพ

### 5. จัดทำเล่มปริญญานิพนธ์

## 1.6 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน (Gantt Chart)

โครงการปริญญานิพนธ์การดูดซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทกแนวตรงนี้จะใช้ระยะเวลาดำเนินการทั้งสิ้น 8 เดือนโดยสามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานเป็นดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาและแผนปฏิบัติงานในการดำเนินโครงการ

การดำเนินงาน	2553					2554		
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	←→							
2. ทำการทดสอบดึงโลหะแผ่น (อลูมิเนียม)		←→						
3. จำลองสภาพการชนกระแทก			←→					
4. วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองสภาพ						←→		
5. จัดทำเล่มปริญญานิพนธ์							←→	

## 1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน

โครงการปริญญานิพนธ์การดูดซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทกแนวตรงนี้จะได้ดำเนินการ ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

## 1.8 อุปกรณ์ที่ใช้

โครงการปริญญานิพนธ์การดูดซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทก แนวตรงนี้มีอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินโครงการประกอบด้วย

1.8.1 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลการจำลองสภาพ

1.8.2 เครื่องทดสอบคิงสำหรับการทดสอบคุณสมบัติวัสดุของแผ่นอลูมิเนียม

## 1.9 งบประมาณ

โครงการปริญญานิพนธ์การดูดซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทก แนวตรงนี้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการซึ่งสามารถจำแนกได้คือ

1.9.1 ค่าแผ่นอลูมิเนียมสำหรับการทดสอบคิง	จำนวน 1,000 บาท
1.9.2 ค่าจัดเตรียมชิ้นงานทดสอบคิง	จำนวน 1,000 บาท
1.9.3 ค่าใช้จ่ายจัดทำเล่มปริญญานิพนธ์	จำนวน 1,000 บาท
รวมทั้งสิ้น	3,000 บาท



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการชนกระแทกนั้นค่อนข้างมีความซับซ้อนเนื่องจากปัญหาประเภทนี้ประกอบด้วยพฤติกรรมทางกลศาสตร์หลายประเภทอาทิเช่น การเปลี่ยนตำแหน่งและความเร็ว การถ่ายเทโมเมนตัม ความแข็งแรงของวัสดุ รวมทั้งลักษณะของปัญหาถูกจำแนกให้เป็นแบบขึ้นกับเวลาที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่น้อยมาก (ระดับมิลลิวินาที) ดังนั้นหากวิเคราะห์ปัญหาคด้วยทฤษฎีดั้งเดิม (Classical theory) จะทำให้ไม่สามารถแก้ปัญหามีรูปแบบซับซ้อนได้ อาทิเช่น การออกแบบหัวไม้ตีลูกกอล์ฟ การวิเคราะห์ความเสียหายจากการพุ่งชนของลูกกระสุนปืน หรือการวิเคราะห์ความเสียหายจากอุบัติเหตุรถยนต์ชน ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นเครื่องมือแบบหนึ่งที่ได้รับคความนิยมในการนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมเนื่องจากสามารถวิเคราะห์ปัญหาที่มีรูปแบบที่ซับซ้อนได้และได้ถูกนำมาใช้ในปัญหาชนกระแทกที่มีความซับซ้อนทั้งในด้านของรูปร่าง เงื่อนไขของปัญหา และคุณสมบัติของวัสดุ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาด้านทฤษฎีของการทำปฏิกิริยานี้จึงประกอบด้วยพื้นฐานของทฤษฎีการกระแทก-สัมผัส ทฤษฎีของพลังงานเครียด จากนั้นจึงเป็นการทำความเข้าใจถึงพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สุดท้ายเป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้งาน

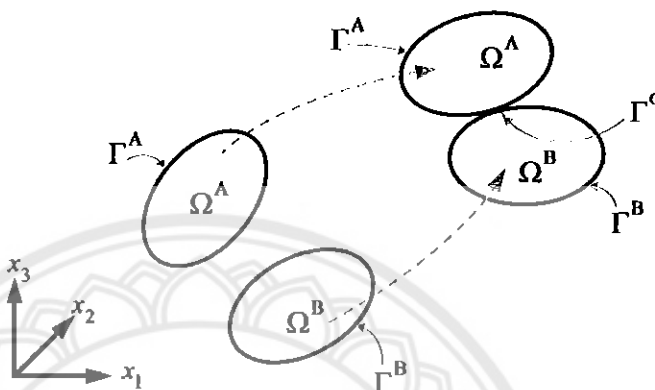
#### 2.1 ทฤษฎีการกระแทก-สัมผัส (Impact-Contact theory)

การกระแทก-สัมผัสเป็นเหตุการณ์ที่มีวัตถุอย่างน้อยสองชิ้นขึ้นไปเคลื่อนที่เข้ามาสัมผัสกันและมีปฏิสัมพันธ์ทางกลระหว่างกันและกัน โดยเมื่อเหตุการณ์กระแทก-สัมผัสสิ้นสุดลงแล้ววัตถุที่อยู่ในเหตุการณ์อาจยังเคลื่อนที่ติดไปด้วยกันหรือเคลื่อนที่แยกออกจากกันได้ การทำความเข้าใจถึงพฤติกรรมการกระแทก-สัมผัสระหว่างวัตถุจะทำให้ทราบถึงปฏิสัมพันธ์ทางกลที่วัตถุทั้งสองมีต่อกันและการตอบสนองของวัตถุที่อยู่ในรูปแบบของการเคลื่อนที่และการเสียรูป

##### 2.1.1 พื้นฐานการกระแทก-สัมผัส

โดยทั่วไปแล้วในเหตุการณ์ที่มีการกระแทก-สัมผัสนั้นอาจมีวัตถุจำนวนหลายชิ้นที่เข้ามาสัมผัสกัน แต่ในการอธิบายขั้นต้นของการกระแทก-สัมผัสจะกล่าวถึงการสัมผัสกันระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น ซึ่งเป็นจำนวนวัตถุที่น้อยที่สุดในการเกิดเหตุการณ์กระแทก-สัมผัส โดยเหตุการณ์จะเริ่มจากวัตถุสองชิ้นเคลื่อนที่เข้ามาชนกระแทกกันซึ่งจุดนี้จะเป็นการเริ่มต้นของการสัมผัส จากนั้นวัตถุทั้งสองจะเคลื่อนที่ติดไปด้วยกันด้วยความเร็วสัมพัทธ์ ในช่วงขณะนี้วัตถุทั้งสองจะมีการถ่ายเทโมเมนตัมให้แก่กันโดยทำให้แรงลัพธ์ที่เกิดจากการสัมผัสกันของวัตถุค่อยๆ เพิ่มขึ้นและทำให้ความเร็วของ

วัตถุทั้งสองเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อการถ่ายเทโมเมนตัมสิ้นสุดลงวัตถุทั้งสองจะเคลื่อนที่แยกออกจากกันด้วยความเร็วที่แตกต่างหรือใกล้เคียงกันขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างวัตถุทั้งสองนี้จะเป็นตัวที่ทำให้วัตถุเกิดการเสีรูปหรืออาจทำให้เกิดความเสียหายและเป็นตัวที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่อีกด้วย ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว เหตุการณ์การชนกระแทกที่เกิดขึ้นตั้งแต่เข้าสู่สัมผัสจนแยกออกจากกันจะใช้ระยะเวลาเพียงไม่กี่ มิลลิวินาที



รูปที่ 2.1 แบบจำลองการสัมผัสกันระหว่างวัตถุ A และ B

จากรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงวัตถุสองชิ้นคือวัตถุ A และ B เคลื่อนที่เข้ามาสัมผัสกันในระวาง 3 มิติ โดยกำหนดให้วัตถุ A และ B มี สัณฐาน (Configuration) เป็น  $\Omega^A$  และ  $\Omega^B$  ตามลำดับ และกำหนดให้วัตถุทั้งสองมีขอบเขต (Boundary) เป็น  $\Gamma^A$  และ  $\Gamma^B$  ตามลำดับ โดยที่  $\Omega^A$  และ  $\Omega^B$  คือ เซตของพิกัด (Coordinate) ต่างๆ ที่กำหนดเป็นรูปร่างของวัตถุ A และ B ตามลำดับ ส่วน  $\Gamma^A$  และ  $\Gamma^B$  คือ เซตของพิกัดต่างๆ ที่อยู่บนพื้นผิว (Surface) หรือขอบ (Edge) ของวัตถุ A และ B ตามลำดับ ทั้งนี้ เซตต่างๆ เหล่านี้อาจเป็นเซตของพิกัดใน 2 หรือ 3 มิติ ก็ได้แล้วแต่ลักษณะของปัญหาที่วิเคราะห์

เมื่อวัตถุทั้งสองเคลื่อนที่เข้ามาสัมผัสกันแล้วบริเวณที่ขอบเขตของวัตถุสัมผัสกันนั้น กำหนดให้เป็น  $\Gamma^C$  โดยความสัมพันธ์ของเซตที่ใช้กำหนดการสัมผัสคือ

$$\Gamma^A \cap \Gamma^B = \Gamma^C \quad (ก)$$

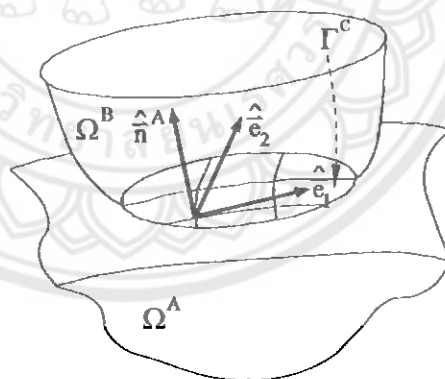
โดยความสัมพันธ์ (ก) หมายความว่าหากมีการสัมผัสเกิดขึ้นแล้ว  $\Gamma^C$  จะเป็นเซตพิกัดของพื้นผิวที่วัตถุ A และ B สัมผัสกันร่วมที่อยู่นบนพื้นผิวทั้งวัตถุ A และ B แต่หาก  $\Gamma^C$  เป็นเซตว่าง (Null set) หมายความว่าไม่มีการสัมผัสเกิดขึ้น

จากข้างต้นจะพบว่า การสัมผัสจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวของวัตถุทั้งสองชิ้นที่สัมผัสกัน ดังนั้น เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการระบุชื่อพื้นผิวที่เกี่ยวข้องจึงกำหนดชื่อเรียกพื้นผิวทั้งสองเสียใหม่ ซึ่งในการวิเคราะห์ปัญหาการกระแทก-สัมผัสนั้น นิยมเรียกเป็น ผิวหลัก (Master surface) และผิวรอง (Slave surface) โดยต่อจากนี้ไปจะกำหนดให้พื้นผิวของวัตถุ A เป็นผิวหลัก ส่วนพื้นผิวของวัตถุ B เป็นผิวรอง สำหรับแนวทางการกำหนดผิวหลักและผิวรองจะได้กล่าวถึงในส่วนต่อไป จากการกำหนดการเรียกชื่อผิวดังกล่าวจึงเพิ่มเติมการเรียกชื่อวัตถุ A และ B เป็น วัตถุหลัก (Master body) และวัตถุรอง (Slave body) ทั้งนี้บริเวณที่ผิวหลักและผิวรองสัมผัสกันซึ่งเรียกว่า ผิวสัมผัส (Contact surface) ในทางกายภาพแล้วผิวสัมผัสนี้อยู่ทั้งที่ผิวหลักและผิวรอง แต่ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ จะกำหนดให้ผิวสัมผัสอยู่บนผิวหลักเพื่อให้การกำหนดเครื่องหมายต่างๆ เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้น  $\Gamma^C$  จึงเป็นเซตของพิกัดของผิวหลักที่สัมผัสกับผิวรอง

เงื่อนไขสำคัญหนึ่งของการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ในปัญหาการกระแทก-สัมผัสคือ วัตถุทั้งสองที่เข้ามาสัมผัสกันจะต้องไม่มีส่วนใดแทงทะลุ (Penetrate) กัน โดยสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้คือ

$$\Omega^A \cap \Omega^B = 0 \quad (ข)$$

ความสัมพันธ์ (ข) นี้ถูกเรียกว่า เงื่อนไขการไม่สามารถแทงทะลุ (Impenetrability)



รูปที่ 2.2 เวกเตอร์ในพิกัดเฉพาะที่ ณ ผิวสัมผัส อ้างอิงจากผิวหลัก

สำหรับการสร้างสมการเพื่อวิเคราะห์ปัญหาการกระแทก-สัมผัสจะอาศัยการสร้างเวกเตอร์ในพิกัดเฉพาะที่ (Local coordinate) ณ บริเวณผิวสัมผัส ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งตัวกำหนด (Notation) ต่างๆ ที่กล่าวถึงต่อไปนี้เป็นการอ้างอิงจากวัตถุหลัก โดยที่จุดต่างๆ บนผิวสัมผัสจะสามารถสร้างเวกเตอร์สัมผัสหนึ่งหน่วยให้เป็น  $\hat{e}_1$  และ  $\hat{e}_2$  สำหรับเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วยคือ  $\hat{n}^A$  โดยที่

$$\hat{n}^A = \hat{e}_1 \times \hat{e}_2 \quad (1)$$

ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ผิวรองก็จะมีเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตั้งฉากคือ

$$\hat{n}^B = -\hat{n}^A \quad (2)$$

ขณะวัตถุทั้งสองเคลื่อนมาสัมผัสกันนั้น เมื่อพิจารณา ณ จุดที่วัตถุทั้งสองสัมผัสกันจะมี ความเร็วที่เกี่ยวข้อง คือ ความเร็วของวัตถุหลัก ( $\vec{v}^A$ ) ความเร็วของวัตถุรอง ( $\vec{v}^B$ ) และความเร็วสัมผัส ( $\vec{\gamma}$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยความเร็วของวัตถุหลักและวัตถุรอง เป็นดังสมการ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$\vec{v}^A = v_N^A \hat{n}^A + v_1^A \hat{e}_1 + v_2^A \hat{e}_2 = v_N^A \hat{n}^A + \vec{v}_T^A \quad (3)$$

$$\vec{v}^B = v_N^B \hat{n}^B + v_1^B \hat{e}_1 + v_2^B \hat{e}_2 = -v_N^B \hat{n}^A + \vec{v}_T^B \quad (4)$$



รูปที่ 2.3 เวกเตอร์ความเร็วพิจารณา ณ จุดสัมผัส (แสดงโดยแยกจุดสัมผัสออกจากกัน)

สำหรับความเร็วสัมผัสประกอบด้วยความเร็วสัมผัสตั้งฉาก (Normal relative velocity,  $\gamma_N$ ) และความเร็วสัมผัสสัมผัส (Tangential relative velocity,  $\gamma_T$ ) โดยเวกเตอร์ของความเร็วทั้งสองเป็นตามสมการ (5) และ (6) ตามลำดับ

$$\vec{\gamma}_N = \gamma_N \hat{n}^A = ((\vec{v}^A - \vec{v}^B) \cdot \hat{n}^A) \hat{n}^A \quad (5)$$

$$\vec{\gamma}_T = (\gamma_T)_1 \hat{e}_1 + (\gamma_T)_2 \hat{e}_2 = \vec{v}_T^A - \vec{v}_T^B \quad (6)$$



โดยที่ความเร็วสัมพัทธ์ซึ่งจะถูกนำไปใช้พิจารณาการเกิดการสัมผัสระหว่างวัตถุทั้งสองในหัวข้อเงื่อนไขการไม่สามารถแทงทะลุ ส่วนความเร็วสัมพัทธ์สัมผัสจะถูกนำไปใช้พิจารณาการเกิดความเสียดทานที่ผิวสัมผัส

สำหรับแรงที่บริเวณผิวสัมผัสจะวิเคราะห์โดยอาศัยการลาก (Traction) ที่ถูกกำหนดด้วยความเค้นคอดี (Cauchy stress) ซึ่งเวกเตอร์การลาก (Traction vector) ที่บริเวณผิวสัมผัสของวัตถุสามารถเขียนในแบบของดัชนี (Index) ได้ตามสมการ (7)

$$t_i = \sigma_{ij} n_j \quad (7)$$

โดยที่ ดัชนี  $i$  และ  $j$  เป็นตัวระบุแกนซึ่งกระจายเป็น 1, 2, และ 3 สำหรับปัญหาใน 3 มิติ

$t_i$  คือ การลากในแต่ละแกน

$\sigma_{ij}$  คือ ความเค้นคอดีในแต่ละแกน

$n_j$  คือ เวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วยในแต่ละแกน ณ จุดที่พิจารณา

ทั้งนี้เวกเตอร์การลากสามารถแยกได้เป็นการลากตั้งฉาก (Normal traction,  $t_N$ ) และการลากสัมผัส (Tangential traction,  $t_T$ ) ซึ่งการลากตั้งฉากสามารถเขียนในรูปเวกเตอร์ได้เป็น

$$\vec{t}_N = t_N \hat{n} \quad (8)$$

สำหรับการลากสัมผัสสามารถเขียนในรูปของเวกเตอร์ได้เป็น

$$\vec{t}_T = \vec{t} - \vec{t}_N \quad (9)$$

ซึ่งการลากสัมผัสนี้จะถูกนำไปใช้ร่วมกับความเร็วสัมพัทธ์สัมผัสในการพิจารณาในหัวข้อของแบบจำลองความเสียดทาน

### 2.1.2 เงื่อนไขการสัมผัส (Contact condition)

ในการพิจารณาปัญหากระทบกันด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์นั้นจำเป็นต้องสร้างเงื่อนไขการสัมผัสขึ้นมาช่วยในการกำหนดให้ทราบว่าเกิดการสัมผัสขึ้นในขณะใด โดยที่เงื่อนไขการสัมผัสที่กำหนดขึ้นนี้ประกอบด้วย

### ก. เงื่อนไขการไม่สามารถแทงทะลุ

ในสถานะที่มีการสัมผัสเกิดขึ้นนั้นเงื่อนไขข้อหนึ่งก็คือวัตถุทั้งสองจะต้องไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งแทงทะลุระหว่างกันซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์ของเซตพิกัดรูปร่างของวัตถุ A และ B ได้ตามความสัมพันธ์ (๗) ดังแสดงข้างต้น แต่ทั้งนี้ความสัมพันธ์ (๗) ซึ่งอยู่ในรูปความสัมพันธ์ของเซตนั้น ไม่สามารถนำมาเขียนให้อยู่ในเทอมของการขจัด จึงต้องนำเทอมความเร็วสัมพัทธ์ดังกล่าวมาใช้ในการพิจารณาแทน ทั้งนี้เมื่อนำความเร็วสัมพัทธ์ดังกล่าวมาใช้ในการสร้างเงื่อนไขการไม่สามารถแทงทะลุจึงเรียกชื่อใหม่เป็น อัตราการแทงทะลุ (Interpenetration rate) โดยเมื่อพิจารณาที่บริเวณผิวสัมผัสจะได้ว่าอัตราการแทงทะลุซึ่งกำหนดจากผลต่างของความเร็วดังกล่าวของวัตถุทั้งสองต้องมีค่าน้อยกว่าศูนย์ ตามสมการ (10)

$$\gamma_N \equiv v_N^A - v_N^B \leq 0 \quad (10)$$

โดยความหมายของสมการ (10) คือ เมื่อ  $\gamma_N = 0$  หมายถึงวัตถุทั้งสองอยู่ในสภาพที่สัมผัสกันและเมื่อ  $\gamma_N < 0$  หมายถึงวัตถุทั้งสองแยกออกจากกัน

### ข. เงื่อนไขการลาก (Traction condition)

เงื่อนไขการลากเป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสของวัตถุทั้งสองโดยกำหนดได้คือผลรวมของเวกเตอร์การลากที่เกิดขึ้นบนวัตถุทั้งสอง ณ บริเวณผิวสัมผัสมีค่าเป็นศูนย์ตามสมการ (11)

$$\vec{t}^A + \vec{t}^B = 0 \quad (11)$$

เมื่อพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบในแนวตั้งฉาก ด้วยการนำเวกเตอร์ตั้งฉากคอต (Dot product) เข้าไปในสมการ (11) จะได้

$$t_N^A + t_N^B = 0 \quad (12)$$

จากลักษณะทางกายภาพของการสัมผัสจะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสจะไม่สามารถเป็นแบบดึงได้ ดังนั้นการลากตั้งฉากที่บริเวณผิวสัมผัสจึงเป็นแบบกดเท่านั้น เมื่อนำสมการ (12) มาจัดรูปใหม่โดยเขียนให้อยู่ในรูปของเงื่อนไขดังกล่าวจะได้สมการคือ

$$t_N \equiv t_N^A = -t_N^B \leq 0 \quad (13)$$

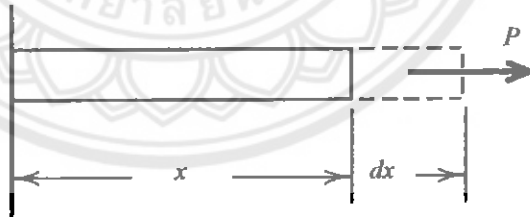
โดยสมการ (13) เมื่อพิจารณาเฉพาะ  $t_N^A$  จะหมายความว่า การลากตั้งฉากที่เกิดขึ้นบนวัตถุ A นั้นมีค่าติดลบซึ่งหมายถึงการสวนทิศกับทิศทางที่กำหนดไว้คือทิศทางของเวกเตอร์ตั้งฉากที่มีทิศชี้ออกจากผิวสัมผัสของวัตถุ A ดังนั้นการลากตั้งฉากจึงมีทิศชี้เข้าไปในผิวสัมผัสหรือเป็นแบบกดนั่นเอง

### 2.1.3 วัตถุหลักและวัตถุรอง (Master and Slave bodies)

โดยทั่วไปในการวิเคราะห์เหตุการณ์ที่วัตถุสองชิ้นเข้ามาสัมผัสกันจะมีการกำหนดชื่อเรียกของวัตถุทั้งสองเสียใหม่เพื่อให้เกิดความสะดวกในการดำเนินการต่างๆ อาทิเช่น การกำหนดชนิดเอลิเมนต์หรือ การกำหนดเงื่อนไขบังคับ โดยชื่อที่เรียกใหม่นี้จะกำหนดให้วัตถุหนึ่งเป็นวัตถุหลัก และเรียกผิวของวัตถุหลักนี้ว่าผิวหลัก ส่วนอีกวัตถุจะเป็นวัตถุรอง และเรียกผิวของวัตถุรองนี้ว่าผิวรอง ทั้งนี้แนวทางในการเลือกจะทำให้วัตถุใดเป็นวัตถุหลักสามารถพิจารณาได้ดังนี้

- วัตถุที่มีคุณสมบัติวัสดุที่แข็งแรงกว่านิยมนำมาให้เป็นวัตถุหลัก
- แบบจำลองของวัตถุที่มีจำนวนเอลิเมนต์หยาบกว่านิยมนำมาให้เป็นวัตถุหลัก
- ผิวที่กำหนดเป็นแบบแข็งเกร็งนิยมนำมาให้เป็นผิวหลัก

## 2.2 พลังงานเครียด (Strain Energy)



รูปที่ 2.4 แท่งตรงได้รับการภายนอก  $P$  ทำให้ยืดออกเป็นระยะ  $dx$

เมื่อวัสดุถูกกระทำด้วยภาระจากภายนอก งานอันเกิดจากภาระดังกล่าวถูกเรียกว่า พลังงานเครียด (Strain energy,  $U$ ) ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างภาระภายนอกและระยะขจัดที่เกิดขึ้น เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นแท่งตรงที่รับการภายนอกเป็น  $P$  แล้วยืดออกเป็นระยะ  $dx$  พลังงานเครียดจะสามารถหาได้จากสมการ

$$U = \int P \cdot dx \quad (14)$$

พลังงานเครียดที่เกิดขึ้นนี้จะถูกสะสมอยู่ภายในเนื้อวัสดุเองหากวัสดุหรือชิ้นงานมีการเสีรูป แต่เพียงในช่วงยืดหยุ่นแล้วคืนตัวกลับสู่รูปร่างเดิมพลังงานเครียดก็จะหายไปแต่หากการเสีรูปเกินกว่าช่วงยืดหยุ่นเข้าสู่ช่วงพลาสติก (Plasticity) ที่วัสดุไม่สามารถคืนตัวได้แล้วพลังงานเครียดจะถูกสะสมไว้ภายในวัสดุในรูปแบบการเสีรูปถาวร พลังงานส่วนนี้จะถูกเรียกว่าพลังงานเสีรูป (Deformation energy,  $E_D$ )

เมื่อพิจารณาการชนกระแทกที่มีวัตถุหนึ่งพุ่งชนกับวัตถุแข็งเกร็งที่ไม่สามารถดูดซับพลังงาน เช่น กำแพงแข็งเกร็ง พบว่าก่อนการพุ่งชนนั้นตัววัตถุจะมีพลังงานจลน์อยู่ในตัวเองเมื่อเกิดการชน กระแทกจนวัตถุเสีรูปและมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วจะพบว่าในขณะนั้นพลังงานของวัตถุจะประกอบด้วยพลังงานเสีรูปและพลังงานจลน์ เมื่อพิจารณาการอนุรักษ์พลังงานก่อนและหลังการชนกระแทกจะได้จากความสัมพันธ์ในสมการ (15)

$$E'_k = E_D + E''_k \quad \text{หรือ} \quad \frac{1}{2}mv_{\text{before}}^2 = \int P dx + \frac{1}{2}mv_{\text{after}}^2 \quad (15)$$

โดยที่  $E'_k$  คือ พลังงานจลน์ก่อนชนกระแทก  $E''_k$  คือ พลังงานจลน์หลังชนกระแทก  $m$  คือ มวลของ วัตถุที่กำลังพิจารณา  $v_{\text{before}}$  คือ ความเร็วก่อนชนกระแทก และ  $v_{\text{after}}$  คือ ความเร็วหลังชนกระแทก

### 2.3 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) เป็นวิธีทางตัวเลข (Numerical Method) ที่ถูกนำมาใช้ช่วยในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาทางวิศวกรรม เช่น การวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนของรถยนต์ โครงสร้างต่างๆ หรือชิ้นส่วนของเครื่องจักร ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าว ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะสามารถประมาณค่าโดยการแก้สมการพีชคณิตแทนการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ในการแก้ปัญหาโครงสร้างหรือชิ้นงานที่จะพิจารณาจะถูกแบ่งออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ (Element) ในจำนวนที่จำกัด (Finite) แล้วนำไปคำนวณค่าตอบโดยผลที่ได้จะเป็นค่าตอบที่จุดต่อ (Node) ระหว่างเอลิเมนต์ เมื่อนำมารวมกันก็สามารถหาค่าคำตอบของโครงสร้างได้ซึ่งจะให้คำตอบเป็นค่าของการเสีรูป แรงกระทำที่จุดต่อต่างๆ ค่าของความเค้นและความเครียด

### ขั้นตอนการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

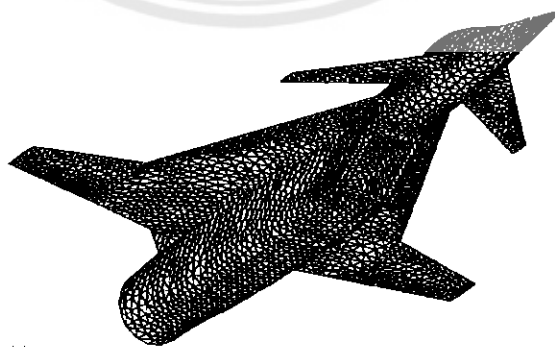
ในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถทำได้ 2 วิธีคือ วิธีแรงหรือวิธียืดหยุ่น (Force or Flexibility method) และ วิธีการเสีรูปหรือวิธีสทิฟเนส (Displacement or Stiffness method) ซึ่งโดยทั่วไปวิธีที่สองจะนิยมใช้งานมากที่สุดกับการวิเคราะห์ด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ และในที่นี่จะได้นำเสนอเฉพาะวิธีวิธีการเสีรูปเท่านั้น ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

#### 2.3.1 การสร้างแบบจำลองและเลือกประเภทของเอลิเมนต์

ในขั้นตอนนี้เป็นการสร้างชิ้นงานที่สนใจให้อยู่ในรูปของแบบจำลองซึ่งเรียกว่า แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Model) แล้วทำการแบ่งแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ ซึ่งการเลือกประเภทของเอลิเมนต์ที่จะใช้นั้นต้องคำนึงถึงลักษณะของปัญหาว่าเป็นปัญหาแบบ 1 มิติ 2 มิติ หรือ 3 มิติ แล้วจึงเลือกใช้เอลิเมนต์ประเภทที่สอดคล้องกับปัญหา เช่น เอลิเมนต์คาน (Beam element สำหรับปัญหาใน 1 มิติ) เอลิเมนต์เปลือก (Shell element สำหรับปัญหาใน 2 มิติ) หรือ เอลิเมนต์แข็ง (Solid element สำหรับปัญหาใน 3 มิติ) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และเมื่อแบบจำลองถูกแบ่งเอลิเมนต์แล้วจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างเอลิเมนต์แบบต่างๆ



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการแบ่งแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์เล็กๆ

### 2.3.2 เลือกฟังก์ชันของการเสยรูป

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดฟังก์ชันของการเสยรูปว่าจะเป็นในลักษณะไหน เช่นแบบเชิงเส้น (Linear) หรือครอคราติก (Quadratic) โดยในปัญหาแบบสองมิติ ฟังก์ชันการเสยรูปก็จะอยู่กับตัวแปรที่อยู่ในระนาบนั้นๆ ด้วย เช่นฟังก์ชันการเสยรูปอยู่ในเทอมของ  $x-y$

### 2.3.3 กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างการเสยรูปและความเครียด และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

ความสัมพันธ์ระหว่างการเสยรูปและความเครียด และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นสิ่งจำเป็นต่อการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ ยกตัวอย่างปัญหาใน 1 มิติ ความสัมพันธ์ระหว่างการเสยรูปและความเครียดเป็นดังสมการ (16)

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (16)$$

สมการ (16) เป็นสมการสำหรับปัญหาที่มีการเสยรูปน้อย (Small displacement) ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะเป็นตามสมการ (17)

$$\sigma_x = E \varepsilon_x \quad (17)$$

โดยที่  $\sigma_x$  คือค่าความเค้นในแนวแกน  $x$  และ  $E$  คือค่าโมดูลัสของวัสดุ

หากปัญหาที่พิจารณามีความซับซ้อนมากขึ้นเช่น ปัญหาใน 3 มิติหรือปัญหาแบบไม่เชิงเส้น ความสัมพันธ์ทั้งสองก็จะมีค่าซับซ้อนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

### 2.3.4 การหาสทิฟเนสเมทริกซ์และสมการสทิฟเนส

ในการหาสทิฟเนสเมทริกซ์ของเอลิเมนต์แต่ละประเภทและการหาค่าของแรงที่กระทำที่แต่ละเอลิเมนต์สามารถทำได้หลายวิธี อาทิเช่น

- วิธีสภาวะสมดุลโดยตรง (Direct Equilibrium Method) สทิฟเนสเมทริกซ์และสมการของแต่ละเอลิเมนต์ซึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่จุดต่อและการเสยรูปสามารถหาได้ด้วยการใช้หลักการของสภาวะสมดุล (Equilibrium) โดยที่วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและเหมาะสมสำหรับเอลิเมนต์แบบ 1 มิติ

- วิธีงานหรือพลังงาน (Work or Energy Method) ในการหาสทิฟเนสเมทริกซ์และสมการสำหรับเอลิเมนต์แบบ 2 มิติ นั้น สามารถหาได้ด้วยการใช้ หลักการของงานเสมือน (Principle of virtual

work) หรือหลักการของพลังงานศักย์ต่ำสุด (Principle of minimum potential energy) ในที่นี้จะใช้วิธีตามหลักการของพลังงานต่ำสุดเท่านั้น

- วิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of Weighted Residuals) ถูกนำมาใช้ในการหาสมการของเอลิเมนต์เรียกว่าวิธีของกาเลอร์กิน (Galerkin's method) โดยวิธีนี้จะให้ผลเช่นเดียวกับวิธีทางพลังงานแต่ส่วนมากจะถูกใช้ในปัญหาที่ไม่สามารถใช้วิธีทางพลังงานได้สะดวก เช่น ปัญหาทางการไหลของของไหล

จากการใช้วิธีข้างต้นจะสามารถสร้างเมทริกซ์ของสมการต่างๆ ของเอลิเมนต์ได้ เมื่อเขียนอยู่ในรูปสมการของเมทริกซ์รวมจะได้ตามสมการ (18)

$$\{f\} = [k]\{d\} \quad (17)$$

โดยที่  $\{f\}$  คือ เมทริกซ์ของแรงที่กระทำที่แต่ละจุดต่อ  $[k]$  คือ สทิตินสมเมทริกซ์ของแต่ละเอลิเมนต์ และ  $\{d\}$  คือ เมทริกซ์การขจัดของแต่ละจุดต่อ

2.3.5 รวมสมการของแต่ละเอลิเมนต์ให้เป็นสมการของภาพรวม และกำหนดสภาวะที่ขอบสมการสทิตินสมเมทริกซ์รวมและเมทริกซ์รวมของแรงสามารถหาได้โดยการรวมค่าที่แต่ละจุดต่อจากขั้นตอนที่ 4. เข้าด้วยกัน ด้วยวิธีทับซ้อน (Superposition) จะได้สมการรวมเป็น

$$\{F\} = [K]\{d\} \quad (18)$$

โดยที่

$$[K] = \sum_{e=1}^N \{k\} \quad (18.1)$$

$$\{F\} = \sum_{e=1}^N \{f\} \quad (18.2)$$

### 2.3.6 การหาค่าการเสียบรูปที่แต่ละโหนด

ค่าของการเสียบรูปของแต่ละจุดต่อสามารถคำนวณได้ เมื่อมีการใช้เงื่อนไขที่ขอบเข้าไปในสมการ (18) โดยเมื่อกระจายเมทริกซ์ออกมาจะได้

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ \vdots \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \cdots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & \cdots & k_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} & \cdots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ d_n \end{Bmatrix} \quad (19)$$

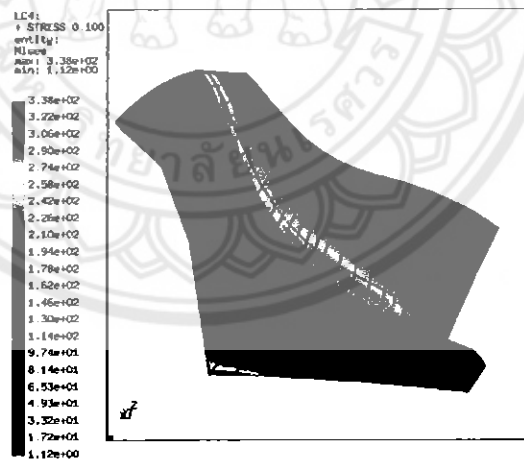
ซึ่งสามารถหาคำตอบสำหรับค่าการเสียรูปได้โดยวิธีต่างๆ เช่น Gauss's method เป็นต้น

### 2.3.7 การหาค่าความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในเอลิเมนต์

เมื่อหาการเสียรูปหรือค่าของการขจัดได้แล้วจะสามารถหาค่าของความเครียดได้จากสมการ (16) จากนั้นจึงสามารถคำนวณค่าของความเค้นได้จากสมการ (17) ซึ่งจะช่วยให้หาแรงที่กระทำที่แต่ละจุดต่อได้

### 2.3.8 การแสดงผลการวิเคราะห์

ขั้นตอนนี้เป็นกรนำแสดงผลจากการวิเคราะห์ออกมาโดยอาจเป็นการแสดงในรูปของค่าของตัวเลขที่จุดต่อต่างๆ แต่โดยทั่วไปนิยมนำเสนอในรูปของภาพชิ้นงานที่แสดงผังระดับ (Contour) ของข้อมูลที่ต้องการซึ่งจะมองถึงตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ภาพแสดงผังระดับของความเค้นบนชิ้นงานหนึ่งด้วย โปรแกรมแสดงผล

## 2.4 การวิเคราะห์พลังงานเสีรูปในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์พลังงานเสีรูปหรือพลังงานเครียดในการจำลองสภาพด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นเป็นการการนำพลังงานเสีรูปจากทุกๆ จุดต่อมารวมเข้าด้วยกัน โดยการคำนวณ



พลังงานนี้จะกระทำในทุกๆ ขั้นตอน (Time step) ของการจำลองสภาพ แล้วจึงนำมารวมกัน สำหรับพลังงานเสียดรูปในแต่ละขั้นตอนหาได้จากสมการ

$$E^T = \sum_{i=1}^N (F_i \times \Delta d_i) \quad (20)$$

โดยที่  $E^T$  คือ พลังงานเสียดรูปในขั้นตอนปัจจุบัน  $N$  คือ จำนวนจุดต่อ  $F_i$  คือ แรงที่จุดต่อ และ  $\Delta d_i$  คือ การขจัดที่จุดต่อที่เพิ่มขึ้นในขั้นตอนปัจจุบัน

## 2.5 คุณสมบัติวัสดุ (Material property)

อลูมิเนียม (Aluminum) เป็นโลหะประเภทหนึ่งถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยในกระบวนการผลิตสามารถแบ่งอลูมิเนียมออกเป็น 2 ประเภท คือ อลูมิเนียมหล่อและอลูมิเนียมตีหรือรีด (Cast wrought aluminum) เนื่องจากมีเทคโนโลยีที่ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงอย่างมาก ตลอดจนอลูมิเนียมมีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่าง อาทิเช่น เบากว่าเหล็ก ด้านทานการกัดกร่อนได้ดี ไม่เกิดออกไซด์ สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และมีความแข็งแรงในระดับหนึ่ง จึงนิยมนำไปใช้งานที่ต้องสัมผัสกับอากาศหรือความชื้นหรือถูกนำไปใช้ผลิตชิ้นส่วนของยานพาหนะ เป็นต้น สำหรับคุณสมบัติวัสดุของอลูมิเนียมนั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติวัสดุของอลูมิเนียม (Aluminium)

คุณสมบัติ	ค่า
- ความแข็งแรงคลาก	220 MPa
- ความแข็งแรงดึง	390 MPa
- ค่า Young modulus (E)	71 GPa
- ค่า Shear modulus (G)	30 GPa
- เปอร์เซ็นต์การยืดใน 50 มิลลิเมตร	20%
- ความหนาแน่น	2700 kg/m <sup>3</sup>
- อัตราส่วนปัวซอง	0.33

ที่มา: Pytel, 1987

คุณสมบัติของวัสดุอีกประการหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการศึกษาพฤติกรรมของวัสดุด้วยกระบวนการทางตัวเลขคือความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของอลูมิเนียมซึ่งจำเป็นต้องทำการทดสอบดึงขึ้นตัวอย่างทดสอบอลูมิเนียมแผ่น โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทดสอบ การดำเนินการทดสอบ การเก็บข้อมูลจากการทดสอบนั้นสามารถอ้างอิงได้จากมาตรฐานการทดสอบของ American Society for Testing and Materials (ASTM) รหัสการทดสอบ E8-04 ชื่อการทดสอบคือ Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

## 2.6 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Samaan และคณะ (2002) ได้ศึกษาการดูดซับพลังงานของเสาเหล็กสัญญาณไฟจราจรเมื่อถูกรถยนต์นั่งขนาดกลางชนกระแทกด้วยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ การศึกษาได้เปลี่ยนรูปแบบการติดตั้งเสาเหล็กเป็น 4 รูปแบบ คือ 1.เสาเหล็กที่ยึดติดกับฐานคอนกรีต 2.เสาเหล็กที่ยึดติดกับฐานคอนกรีตแต่ติดตั้งสปริงที่ฐาน 3.เสาเหล็กที่ยึดติดกับฐานคอนกรีตแต่ติดตั้งแผ่นยางที่ฐาน และ 4. เสาเหล็กที่ฝังลงในดินลึก 1.75 เมตร ในการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การชนกระแทกนั้นแบบจำลองรถยนต์ถูกสร้างด้วยเอลิเมนต์แบบเปลือก แบบคาน และแบบแข็ง ส่วนแบบจำลองเสาเหล็กถูกสร้างด้วยเอลิเมนต์แบบเปลือก การจำลองสภาพการชนกระแทกได้กำหนดให้แบบจำลองรถยนต์พุ่งเข้าชนต่อแบบจำลองเสาเหล็กที่ด้านหน้าในแนวตรงด้วยความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนผลลัพธ์จากการจำลองสภาพที่นำมาศึกษาคือการดูดซับพลังงาน จากการจำลองสภาพการชนกระแทกของการติดตั้งเสาเหล็กทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าการติดตั้งเสาเหล็กแบบที่ 1 ถึง 3 นั้นมีความสามารถในการดูดซับพลังงานที่ใกล้เคียงกันส่วนการติดตั้งเสาเหล็กแบบที่ 4 นั้นสามารถดูดซับพลังงานได้สูงกว่าประมาณ 3.5 เท่า เนื่องจากการติดตั้งเสาเหล็กแบบฝังลงไปดินนั้นทำให้เสาเหล็กสามารถเสียรูปได้มากกว่าในขณะที่การติดตั้งแบบที่ 1 ถึง 3 ซึ่งเป็นการยึดยึดผ่านแผ่นฐานไปยังพื้นคอนกรีตนั้นเสาเหล็กจะเสียรูปได้น้อยกว่า

นิรุตและคณะ (2007) ได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองสภาพเพื่อศึกษาการชนกระแทกของโครงสร้างหลังการรถยนต์โดยสาร โดยมีเหล็กเสริมความแข็งแรงที่มีหน้าตัดต่างกัน 4 แบบ ได้แก่ หน้าตัดรูปวงกลม หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปตัวยู และหน้าตัดรูปตัวแอล ในการจำลองสภาพได้กำหนดให้โครงหลังคาอยู่ระหว่างกำแพงแข็งแรง 2 ด้าน โดยกำหนดให้ด้านหนึ่งอยู่กับที่เพื่อบันทึกแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ส่วนอีกด้านหนึ่งให้เคลื่อนที่เข้าชนด้วยความเร็ว 65 km/h เมื่อนำผลลัพธ์จากการจำลองสภาพคือแรงปฏิกิริยากับระยะยุบตัวมาทำการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับพลังงานของโครงหลังคาพบว่าโครงหลังคาที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลมจะสามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ดีกว่าโครงหลังคาที่ใช้เหล็กเสริมหน้าตัดรูปอื่นๆ และโครงหลังคาที่ใช้เหล็ก

เสริมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม รูปตัวยูและรูปตัวแอล จะมีความสามารถในการดูดซับรองลงมาตามลำดับ นอกจากนี้โครงหลังคาที่มีเหล็กเสริมหน้าตัดรูปวงกลมยังมีน้ำหนักที่เบาว่าโครงหลังคาที่ใช้เหล็กเสริมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมซึ่งเป็นข้อที่ควรพิจารณาในการออกแบบยานพาหนะ

เรื่องฤทธิ์และกนัศร (2008) ได้ศึกษาการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกในทิศทางและความสูงต่างๆ ด้วยการจำลองสภาพการตกกระแทกด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยมีผลลัพธ์ที่สนใจคือ ความเร็ว ความเร่งและความเค้น จากนั้นได้ตรวจสอบผลจากการจำลองสภาพกับผลจากการทดสอบที่มีการศึกษามาก่อนแล้ว ในการสร้างแบบจำลองนั้น ได้สร้างแบบจำลองของบรรจุภัณฑ์ชั้นบนและชั้นล่างที่ภายในบรรจุแบบจำลองของฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว จำนวน 20 อัน ทั้งนี้การสร้างแบบจำลองได้พิจารณาจากรูปร่างโดยรวม สำหรับรูปแบบการตกกระแทกนั้นได้ศึกษาใน 8 ตำแหน่ง คือ การตกกระแทกจากด้านล่าง ด้านหน้า ด้านข้าง ด้านบน ขอบประกอบมุมด้านหน้า ขอบประกอบมุมด้านข้าง ขอบประกอบมุมแนวตั้ง และมุม และได้ศึกษาจากการตกจากที่ระดับความสูง 60, 80 และ 90 cm. จากตัวอย่างผลการจำลองสภาพพบว่าความเร่งจากการจำลองสภาพการตกที่ความสูง 90 cm. ที่ตำแหน่งทั้ง 8 ข้างต้นมีค่าเป็น 142.33, 75.72, 53.08, 118.38, 71.44, 95.76, 55.37 และ 58.67  $m/s^2$  ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบพบว่าความคลาดเคลื่อนเป็น 8.33, 19.66, 10.58, 12.12, 5.87, 7.05, 26.47 และ 27.49% ตามลำดับ สำหรับผลลัพธ์อื่นๆ นั้นพบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อตกจากระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น และหากเป็นที่ระดับความสูงเดียวกันแล้วพบว่าตำแหน่งที่ให้ค่าผลลัพธ์สูงสุดใน 3 อันดับแรกคือ ด้านล่าง ด้านบน และขอบประกอบมุมด้านข้าง

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานของโครงการปริญญาโทศึกษาศาสตร์ศึกษาคณะศึกษาศาสตร์บัณฑิตวิทยาลัยของคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในการชกนกระแทกแนวตรงซึ่งเป็นไปตามขั้นตอนของวิธีการดำเนินงานเรียงตามขั้นตอนเป็นดังนี้

#### 3.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานในขั้นตอนการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องนี้มี 2 ส่วน คือ การศึกษาข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้องและการศึกษาการใช้งานของโปรแกรม

3.1.1 การศึกษาข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้อง เป็นการศึกษาถึงข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการชกนกระแทก ข้อมูลสำคัญที่จะได้ศึกษาจึงประกอบด้วย

ก. ความเร็วชกนกระแทก ซึ่งเป็นความเร็วที่เป็นมาตรฐานการทดสอบที่ใช้ในการทดสอบชกนกระแทกเพื่อศึกษาการเกิดอุบัติเหตุของรถยนต์

ข. ลักษณะและรูปร่างของกันชนหน้า เนื่องจากกันชนหน้ารถยนต์มีรูปร่างที่หลากหลาย จึงจะได้ศึกษาถึงรูปร่างของกันชนที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการศึกษา นอกจากนี้จะได้วัดขนาดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและความหนาของชิ้นส่วนกันชน

ค. รถยนต์บรรทุก เนื่องจากกันชนหน้าจะต้องติดตั้งเข้ากับรถยนต์บรรทุก (รถปิคอัพ) จึงต้องหาข้อมูลของมวลของรถยนต์บรรทุกและมิติของรถยนต์บรรทุกที่จะใช้ในการศึกษา

3.1.2 การศึกษาการใช้งานของโปรแกรม เนื่องจากในการศึกษานี้จะได้ทำการจำลองสภาพการชกนกระแทกของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชกนกระแทกแนวตรงด้วยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจึงจำเป็นต้องศึกษาถึงการใช้งานของโปรแกรม การนำเข้าข้อมูล (Input) การส่งออกข้อมูล (Output) และการใช้งานคำสั่งต่างๆ รวมทั้งจะได้ศึกษาถึงการใช้งานโปรแกรมอื่นๆ ที่จำเป็นต้องนำมาใช้งานกันร่วมอีกด้วย

#### 3.2 การทดสอบดึงแผ่นอลูมิเนียม

ในการศึกษาถึงการดูดซับพลังงานของกันชนหน้าของรถยนต์บรรทุกในการชกนกระแทกแนวตรงได้สนใจกันชนที่ทำมาจากแผ่นอลูมิเนียม (Aluminium) ซึ่งข้อมูลสำคัญคือคุณสมบัติวัสดุในช่วงพลาสติก (Plasticity) ซึ่งจำเป็นต้องหาจากการทดสอบดึงแผ่นอลูมิเนียม โดยมีขั้นตอนที่จะต้องดำเนินการคือ

3.2.1 จัดเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบ แผ่นอลูมิเนียมที่จะใช้ในการทดสอบจะถูกจัดเตรียมให้มีมิติตามมาตรฐานการทดสอบ

3.2.2 การทดสอบคืบงัด แผ่นอลูมิเนียมจะถูกนำมาทดสอบคืบงัดด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) โดยตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบและขั้นตอนการทดสอบจะเป็นไปตามข้อกำหนดการใช้งานเครื่องทดสอบ

3.2.3 การสรุปข้อมูลการทดสอบ ข้อมูลจากการทดสอบคืบงัดแผ่นอลูมิเนียมจะถูกนำมาสรุปและจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในขั้นตอนของการจำลองสภาพต่อไป

### 3.3 การจำลองสภาพการชนกระแทก

ในการศึกษาถึงการดูดซับพลังงานของกันชนหน้าของรถยนต์บรรทุกในการชนกระแทกแนวตรงนี้จะได้ศึกษาด้วยการจำลองสภาพด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานที่สำคัญประกอบด้วย

3.3.1 การเตรียมข้อมูลประมวลผล เป็นการสร้างแบบจำลองของกันชนหน้าและชิ้นส่วนอื่นที่เกี่ยวข้องรวมถึงกำหนดเงื่อนไขของการจำลองสภาพการชนกระแทก โดยอาศัยข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากขั้นตอน 3.1 ส่วนข้อมูลคุณสมบัติวัสดุของกันชนหน้าจะได้จากขั้นตอน 3.2

3.3.2 การประมวลผล เมื่อข้อมูลต่างๆ จากขั้นตอน 3.3.1 จะได้รับการประมวลผลโดยในขั้นตอนนี้จะได้มีการปรับเปลี่ยนตัวแปรที่สนใจเพื่อศึกษาถึงผลที่มีต่อการดูดซับพลังงาน ซึ่งประกอบด้วย

ก. เปลี่ยนค่าความเร็วชนกระแทกจำนวน 5 ค่า

ข. เปลี่ยนค่าความหนาของแบบจำลองกันชนจำนวน 3 ค่า

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพการชนกระแทกคือพลังงานลายเสีกรูป (Deformation Energy) ที่กันชนดูดซับไว้ในแต่ละช่วงเวลาจะถูกนำเสนอและวิเคราะห์การดูดซับพลังงานในขั้นตอนต่อไป

### 3.4 การนำเสนอผลการศึกษา

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพที่จะได้เลือกมาทำการวิเคราะห์และสรุปผลคือพลังงานลายกรูปร่าง ที่กันชนดูดซับไว้ในแต่ละช่วงเวลาของเหตุการณ์การชนกระแทก โดยจะนำเสนอในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ของพลังงานลายกรูปร่างที่เวลาต่างๆ และนำเสนอการเปรียบเทียบการดูดซับพลังงานระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่ทำการศึกษา

### 3.5 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองสภาพ

การดูดซับพลังงานชนกระแทกของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาของเหตุการณ์ชนกระแทกจะถูกนำมาวิเคราะห์ว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร จากนั้นการดูดซับพลังงานที่แตกต่างกันเนื่องจากตัวแปรของการศึกษาที่แตกต่างกันจะถูกนำมาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของความแตกต่างและจะได้ทำการสรุปผลของการจำลองสภาพต่อไป



บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

การดำเนินงานของโครงการปริญญาโทศึกษาระดับปริญญาโท การศึกษาการดูดซับพลังงานการชนกระแทกของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทกแนวตรงซึ่งเป็นไปตามขั้นตอนของวิธีการดำเนินงาน โดยผลลัพธ์ที่ได้ของแต่ละขั้นตอนจะได้นำเสนอในผลการดำเนินงานเรียงตามขั้นตอนเป็นดังนี้

4.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ผลการดำเนินงานในขั้นตอนการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องนี้มี 2 ส่วน คือ ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้องและผลการศึกษาการใช้งานของโปรแกรม ซึ่งมีผลการดำเนินงานดังนี้

4.1.1 การศึกษาข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้อง จากการศึกษาข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการชนกระแทกพบว่าข้อมูลที่สำคัญคือ

ก. ความเร็วชนกระแทก จากการศึกษาการทดสอบชนกระแทกของรถยนต์ของหน่วยงานต่างๆ เช่น National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) ของสหรัฐอเมริกา และ European New Car Assessment Programme. (Euro NCAP) ของสหภาพยุโรป พบว่า Euro NCAP ได้กำหนดให้ใช้ความเร็วการชนกระแทกด้านหน้าที่ 64 km/h ในการทดสอบชนกระแทกยานพาหนะต่างๆ ในการศึกษาจึงจะใช้ความเร็ว 64 km/h เป็นความเร็วอ้างอิง



155 54779  
 2/5.  
 84 22911  
 2553

รูปที่ 4.1 ลักษณะกันชนหน้ารถยนต์บรรทุก

ข. ลักษณะและรูปร่างของกันชนหน้า จากการศึกษาการติดตั้งกันชนหน้าของรถยนต์บรรทุกพบว่ากันชนมีองค์ประกอบหลักเป็นท่อเหล็กยาวที่มีการตัดส่วนโค้งหรืออาจมีการติดตั้งส่วนประกอบอื่นเสริมเข้ามาเพื่อความสวยงาม ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากกันชนตัวอย่างที่เลือกมาทำการศึกษาเมื่อวัดมิติของท่อเหล็ก ได้ขนาดเป็นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 มิติของกันชนหน้าตัวอย่าง

มิติ	ขนาด
ความยาว	1.4 เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลาง	70 มิลลิเมตร
ความหนา	3 มิลลิเมตร
ระยะห่างจากรองรับ	560 มิลลิเมตร

ก. รดยนต์บรทก จากการศึกษาพบว่าในประเทศไทยมีรดยนต์บรทก 2 ยี่ห้อที่ได้รับความนิยมในการใช้งาน ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการศึกษาคือดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลรดยนต์บรทก

ข้อมูล	ยี่ห้อ 1	ยี่ห้อ 2
ความกว้าง (มม.)	1,760	1,720
ความยาว (มม.)	5,130	5,045
ความสูง (มม.)	1,680	1,640
มวล (กก.)	1,550	1,545

จากข้อมูลข้างต้นจะ ได้กำหนดมวลของรดยนต์บรทกในการสร้างแบบจำลองเป็น 1,550 กิโลกรัม

4.1.2 การศึกษาการใช้งานของโปรแกรม ในการจำลองสภาพการชนกระแทกของกันชนหน้า รดยนต์บรทกในการชนกระแทกแนวตรงนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคือ โปรแกรม LS-DYNA สำหรับขั้นตอนการประมวลผล โดยที่ไฟล์นำเข้าจะถูกเขียนในรูปแบบของข้อความ (Text file) ที่มีนามสกุลเป็น \*.dyn โดยเมื่อทำการประมวลผลแล้วจะได้ผลลัพธ์เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการแสดงผลจะเป็นไฟล์ที่มีชื่อเป็น d3plot และไฟล์ข้อมูลแรงชนกระแทกซึ่งมีชื่อเป็น rcforc สำหรับโปรแกรมสำเร็จรูปต่างๆ ที่จะได้นำมาใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วย

- |                      |                                  |
|----------------------|----------------------------------|
| ก. โปรแกรม LS-DYNA   | สำหรับการประมวลผลและการแสดงผล    |
| ข. โปรแกรม AutoCAD   | สำหรับการสร้างรูปร่างพื้นฐาน     |
| ค. โปรแกรม FEMAP     | สำหรับการสร้างแบบจำลอง           |
| ง. โปรแกรม UltraEdit | สำหรับการสร้างและแก้ไขไฟล์นำเข้า |
| จ. โปรแกรม MS-Excel  | สำหรับการสร้างกราฟผลลัพธ์        |



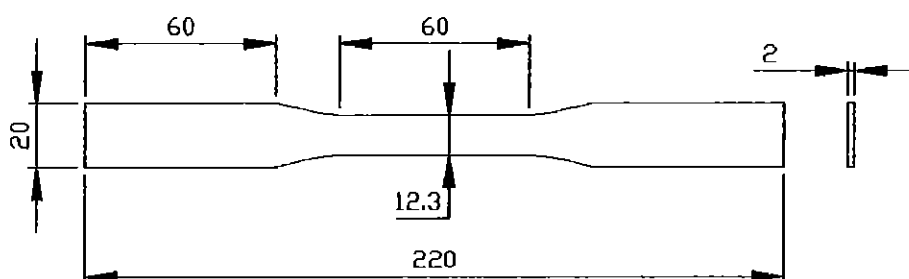
## 4.2 การทดสอบดึงแผ่นอลูมิเนียมทดสอบ

ในการศึกษาถึงการดูดซับพลังงานการชนกระแทกของกันชนหน้าของรถยนต์บรรทุกในการชนกระแทกแนวตรงนี้ได้สนใจกันชนที่ทำมาจากแผ่นอลูมิเนียม (Aluminum) ซึ่งข้อมูลที่สำคัญคือคุณสมบัติวัสดุในช่วงพลาสติกซิตี (Plasticity) ซึ่งจำเป็นต้องหาจากการทดสอบแรงดึงแผ่นอลูมิเนียม โดยการทดสอบแรงดึงดึงแผ่นอลูมิเนียมนี้จะได้อ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM E8 ซึ่งมีผลการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนดังนี้

4.2.1 การจัดเตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบ แผ่นอลูมิเนียมที่ใช้ในการทดสอบมีความหนา 2 มิลลิเมตร โดยมีตัวอย่างของแผ่นอลูมิเนียมดังรูปที่ 4.2 และได้เตรียมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดคือ ความยาว 220 มิลลิเมตร ความยาวช่วงทดสอบ 60 มิลลิเมตร ความกว้างช่วงทดสอบ 12.3 มิลลิเมตร ความยาวบริเวณหัวจับ 60 มิลลิเมตร และ ความกว้างบริเวณหัวจับ 20 มิลลิเมตร โดยตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึงของแผ่นอลูมิเนียมมีรูปร่างเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างแผ่นอลูมิเนียม



รูปที่ 4.3 รูปร่างการจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบดึงแผ่นอลูมิเนียม



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างทดสอบดึงแผ่นอลูมิเนียม

4.2.2 การทดสอบดึง ตัวอย่างทดสอบดึงแผ่นอลูมิเนียมได้ถูกนำมาทดสอบดึงด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ยี่ห้อ HOUNSFIELD รุ่น H50KS ซึ่งสามารถให้แรงดึงขนาด 50 kN โดยขั้นตอนการทดสอบได้ดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆ ของเครื่องทดสอบ โดยการติดตั้งตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึงเข้ากับเครื่องทดสอบเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.5 และภาพตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการทดสอบแรงดึงจนขาดออกจากกันเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.6 สำหรับการทดสอบซ้ำนั้นจะทำการทดสอบดึงตัวอย่างชิ้นงานทดสอบซ้ำจนได้ข้อมูลของการดึงที่ใกล้เคียงกันจำนวน 4 ชุดข้อมูล

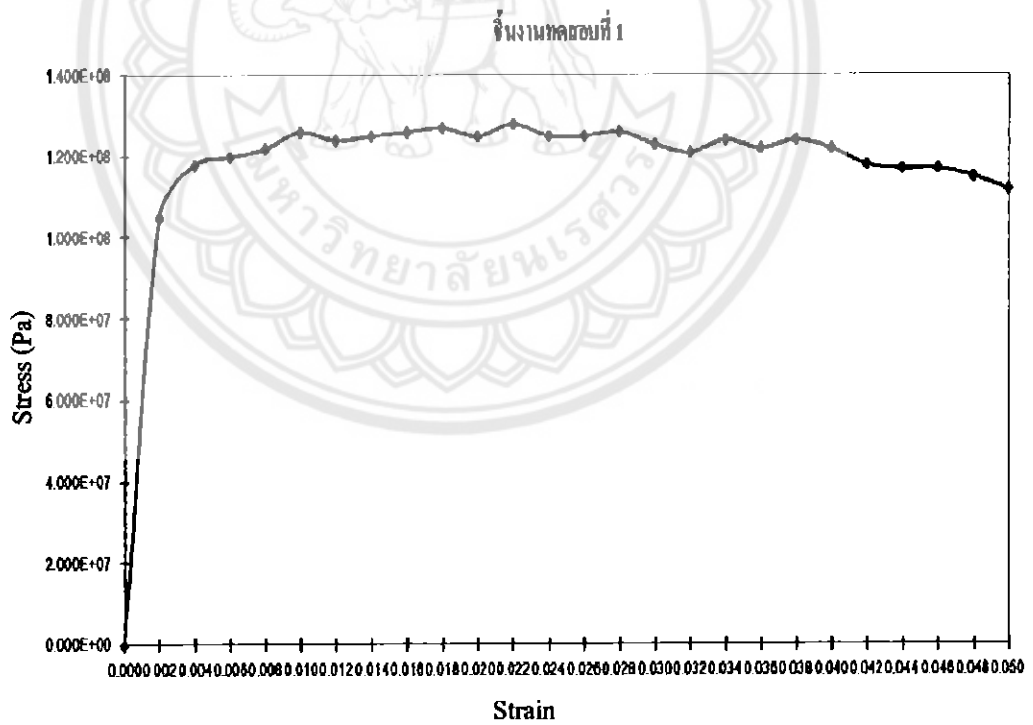


รูปที่ 4.5 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบดึงเข้ากับเครื่องทดสอบ



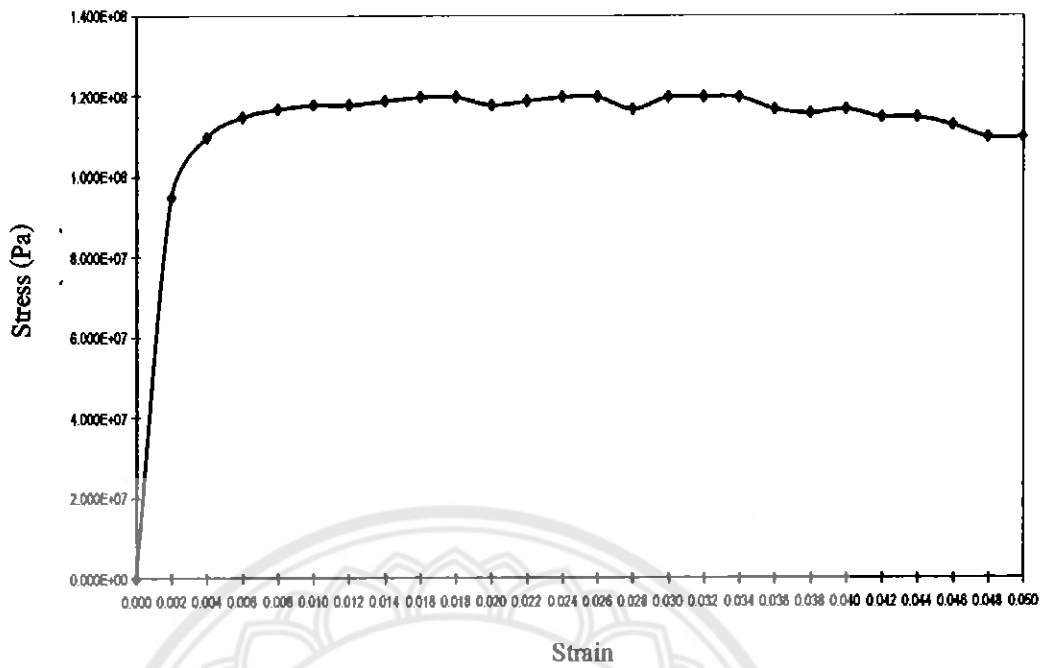
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการทดสอบดึงจนขาดออกจากกัน

ข้อมูลจากการทดสอบดึงจะถูกพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์เพื่อนำไปสร้างคู่ลำดับของความเค้นและความเครียด ได้ผลลัพธ์เป็นดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.10 ส่วนคู่ลำดับของของความเค้นและความเครียดเฉลี่ยเป็นดังรูปที่ 4.11



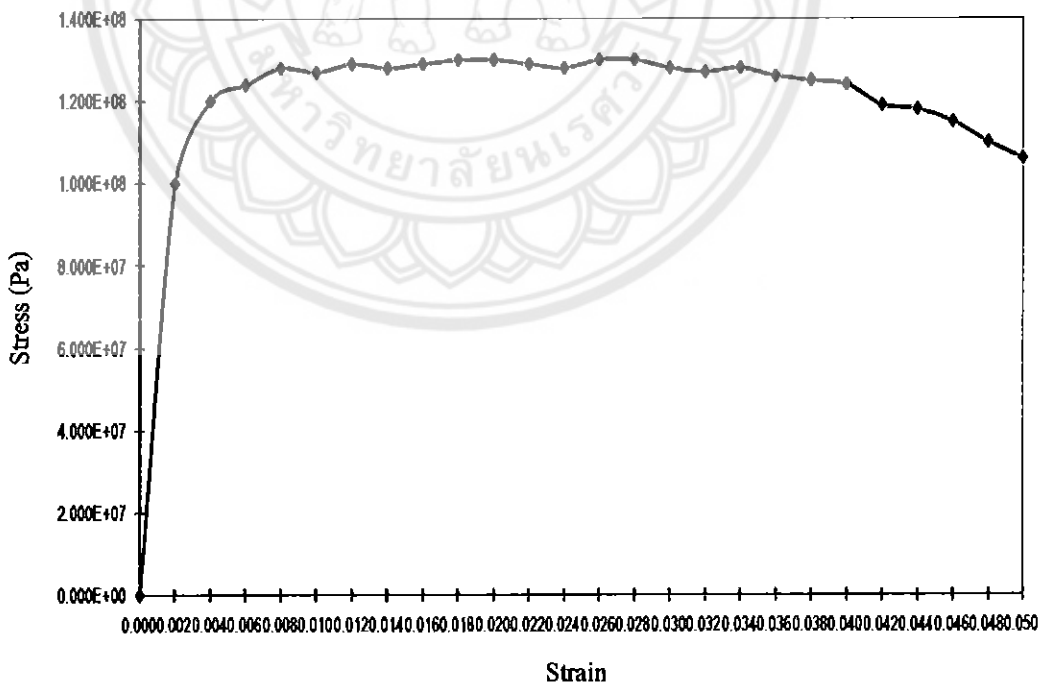
รูปที่ 4.7 การทดสอบดึงครั้งที่ 1

งานทดสอบที่ 2



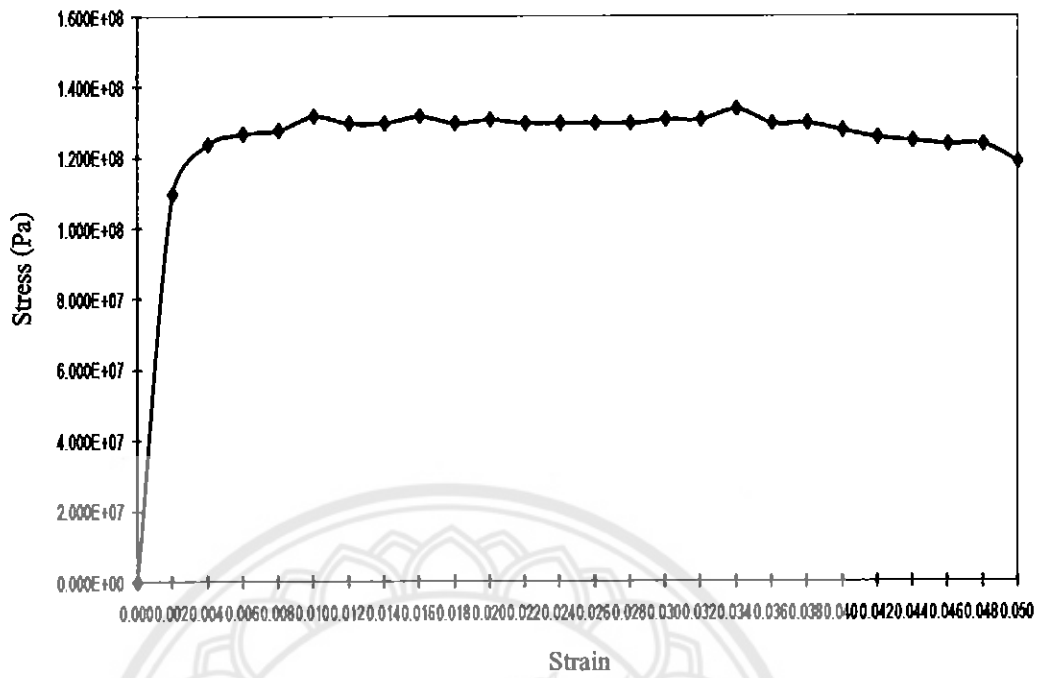
รูปที่ 4.8 การทดสอบคิงครั้งที่ 2

งานทดสอบที่ 3



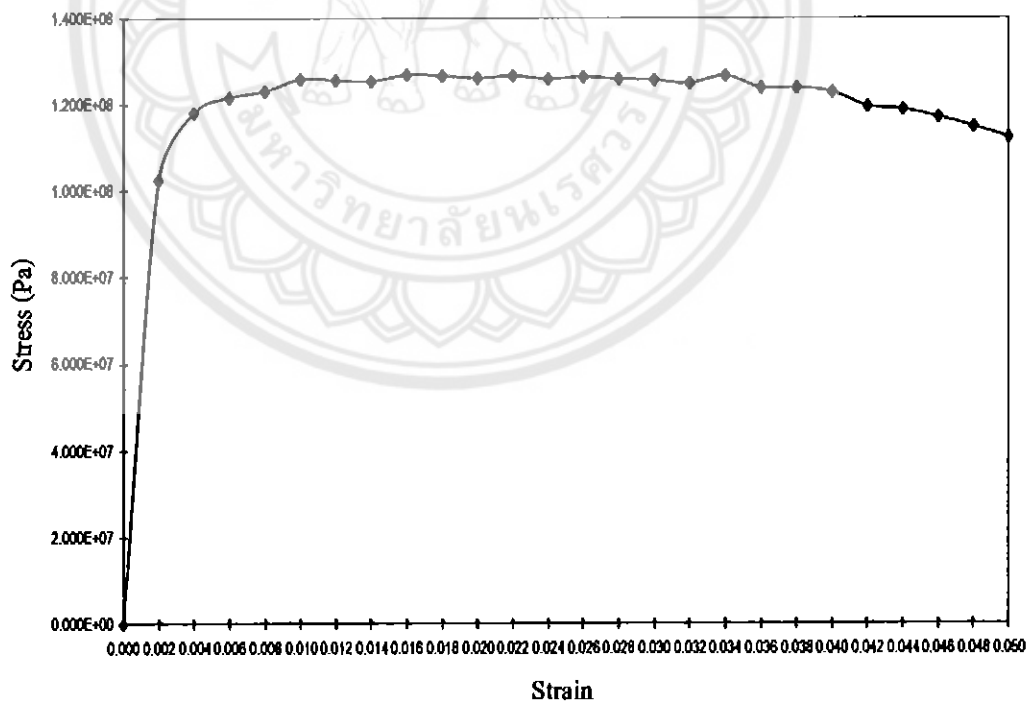
รูปที่ 4.9 การทดสอบคิงครั้งที่ 3

งานทดสอบที่ 4



รูปที่ 4.10 การทดสอบดึงครั้งที่ 4

กราฟเฉลี่ย



รูปที่ 4.11 คู่ลำดับของความเค้นและความเครียดเฉลี่ย

4.2.3 การสรุปข้อมูลการทดสอบ ข้อมูลแรงดึงและระยะยืดเฉลี่ยจะถูกนำมาเปลี่ยนค่าของความเค้นและความเครียดเพื่อนำไปหาค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (Young's Modulus) ค่าความเค้นคลาก (Yield Stress) และค่าจำกัดความเครียดความเค้นในช่วงพลาสติกซิตี ซึ่งค่าที่หาได้เป็นดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุของแผ่นอลูมิเนียม

คุณสมบัติ	ค่าที่หาได้
1. มอดูลัสความยืดหยุ่น	60 GPa
2. ความเค้นคลาก	105 MPa
3. ค่าจำกัดความเครียดความเค้นในช่วงพลาสติกซิตี	(0.001, 105)
หมายเหตุ: หน่วยเป็น (mm/mm, MPa)	(0.006, 122)
	(0.010, 124)
	(0.014, 126)
	(0.018, 126)
	(0.022, 126)
	(0.026, 126)
	(0.030, 125)

ข้อมูลในตารางที่ 4.3 จะถูกนำไปกำหนดให้กับแบบจำลองของกันชนหน้าในขั้นตอนของการจำลองสภาพการชนกระแทกต่อไป

#### 4.3 การจำลองสภาพการชนกระแทก

ในการศึกษาถึงการดูดซับพลังงานการชนกระแทกของกันชนหน้าของรถยนต์บรรทุกในการชนกระแทกแนวตรงนี้จะได้ศึกษาด้วยการจำลองสภาพด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ซึ่งมีผลของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

4.3.1 การเตรียมข้อมูลประมวลผล ในขั้นตอนนี้เป็นการเตรียมข้อมูลสำหรับส่งให้โปรแกรม LS-DYNA ทำการประมวลผลการจำลองสภาพโดยข้อมูลต่างๆ จะถูกเขียนในรูปแบบข้อความที่มี Syntax และ Format ตามข้อกำหนดของโปรแกรม ซึ่งในขั้นตอนนี้มีการดำเนินการที่สำคัญ 2 ส่วน คือ การสร้างแบบจำลองและการกำหนดเงื่อนไขของการจำลองสภาพ

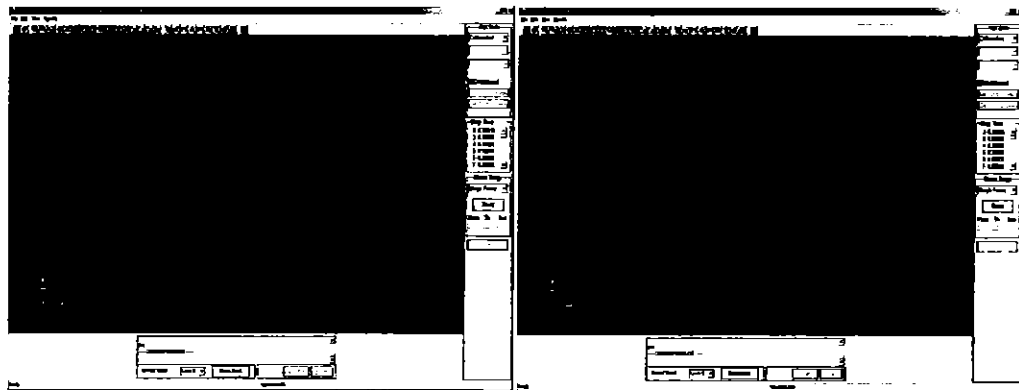
4.3.1.1 การสร้างแบบจำลอง ในการจำลองสภาพการชนกระแทกของกันชนหน้าใน แนวตรงนี้มีแบบจำลอง 3 ชั้นส่วนที่ได้สร้างขึ้นมา ประกอบด้วย ตัวรองรับ กันชนหน้า และ กำแพง แข็งเกร็ง (Rigid wall) โดยในการสร้างแบบจำลองทั้ง 3 ชั้นส่วน ได้ใช้โปรแกรม AutoCAD ในการ กำหนดจุดต่างๆ และโปรแกรม FEMAP ถูกใช้ในการสร้างจุดต่อ (Node) และสร้างเอลิเมนต์ (Element) รวมถึงถูกใช้ในการส่งออกเป็นข้อมูลในรูปแบบข้อความ รายละเอียดของแบบจำลองทั้ง 3 ชั้นส่วนเป็นดังตารางที่ 4.4 สำหรับภาพรวมของแบบจำลองเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.12 ส่วนการจัดวางตำแหน่งของแบบจำลองทั้ง 3 เป็นดังแสดงในรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดของแบบจำลอง

รายละเอียด	แบบจำลอง		
	กันชนหน้า	ตัวรองรับ	กำแพงแข็งเกร็ง
ชนิดเอลิเมนต์	Shell element	Solid element	Rigid wall
คุณสมบัติวัสดุ	Plasticity	Rigid	Rigid
จำนวนจุดต่อ	2,090	387	-
จำนวนเอลิเมนต์	2,088	204	-



รูปที่ 4.12 ภาพรวมของแบบจำลอง



(ก) ภาพด้านบน

(ข) ภาพด้านข้าง

รูปที่ 4.13 การจัดวางตำแหน่งของแบบจำลองทั้ง 3

ในการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ให้กับแบบจำลองทั้ง 3 นั้น ได้พิจารณาให้ใกล้เคียงกับเงื่อนไขของการศึกษาโดยที่ได้กำหนดให้กันชนมีคุณสมบัติเป็นพลาสติกจีดีเนื่องจากการชนกระแทกที่เกิดขึ้นนั้นจะทำให้กันชนเกิดการเสียรูปถาวรซึ่งความเกินและความเครียดที่เกิดขึ้นนั้นจะอยู่ในช่วงของพลาสติกจีดี แบบจำลองกันชนย่อมไม่คืนรูปซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์จริง สำหรับตัวรองรับและกำแพงนั้น ได้กำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นแบบแข็งเกร็งคือไม่มีการเสียรูปเนื่องจากในการศึกษานี้สนใจเฉพาะกันชนเท่านั้นหากแบบจำลองอื่นมีการเสียรูปจะทำให้ข้อมูลของกันชนเกิดความคลาดเคลื่อนได้

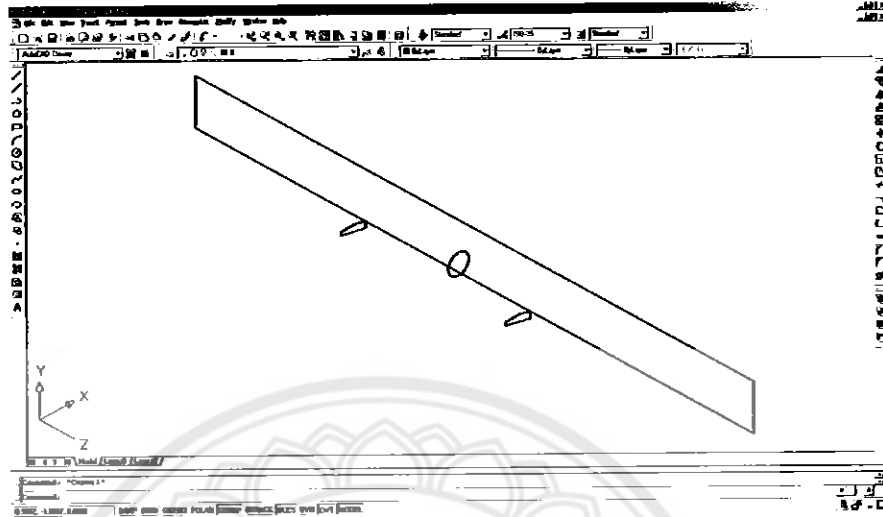
นอกจากนี้เพื่อให้การจำลองสภาพการชนกระแทกใกล้เคียงกับการชนกระแทกของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกที่เกิดขึ้นจริงจึงได้กำหนดให้มวลของรถยนต์บรรทุกคือ 1,550 กิโลกรัม กระจายไปอยู่ที่ตัวรองรับทั้งสองตัว ตัวละ 775 กิโลกรัม สำหรับมวลของกันชนจะถูกคำนวณโดยโปรแกรมจากค่าความหนาแน่นและปริมาตรของกันชนเอง

**4.3.1.2 การสร้างไฟล์นำเข้า (Input File)** ในการประมวลผลการจำลองสภาพการชนกระแทกด้วยโปรแกรม LS-DYNA ข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานของโปรแกรมจะถูกจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ข้อความที่มีนามสกุลเป็น dyn (\*.dyn) โดยได้ใช้โปรแกรม Ultraedit สำหรับการเขียนและแก้ไขข้อมูลภายในไฟล์นำเข้านี้ สำหรับข้อมูลภายในไฟล์นำเข้านี้มี 3 ส่วนประกอบที่สำคัญคือ ข้อมูลของแบบจำลอง การกำหนดเงื่อนไข และการกำหนดผลลัพธ์

ก. ข้อมูลของแบบจำลอง ในการสร้างแบบจำลองของกันชน ตัวรองรับ และกำแพงแข็งเกร็งดังแสดงในรูปที่ 4.12 นั้น ได้ใช้โปรแกรม AutoCAD ในการสร้างจุดและเส้นที่เชื่อมต่อจุด

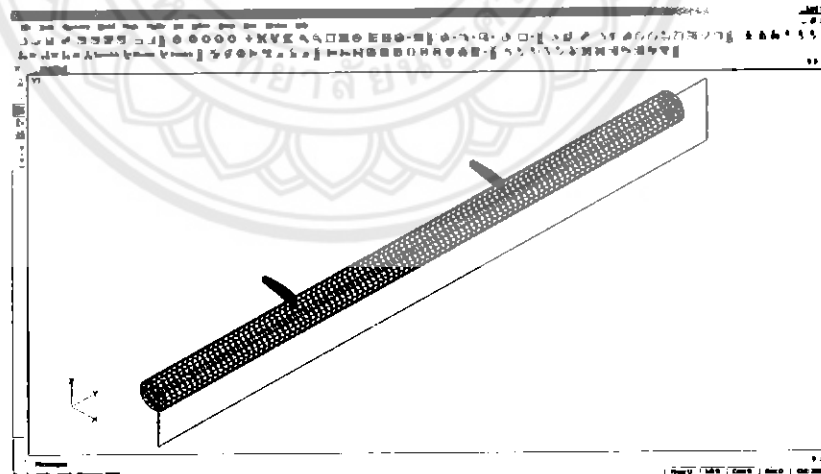


ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการสร้างพื้นผิว (Surface) รวมทั้งเส้นรอบวงของกันชน ซึ่งได้เส้นต่างๆ ดังรูปที่ 4.14



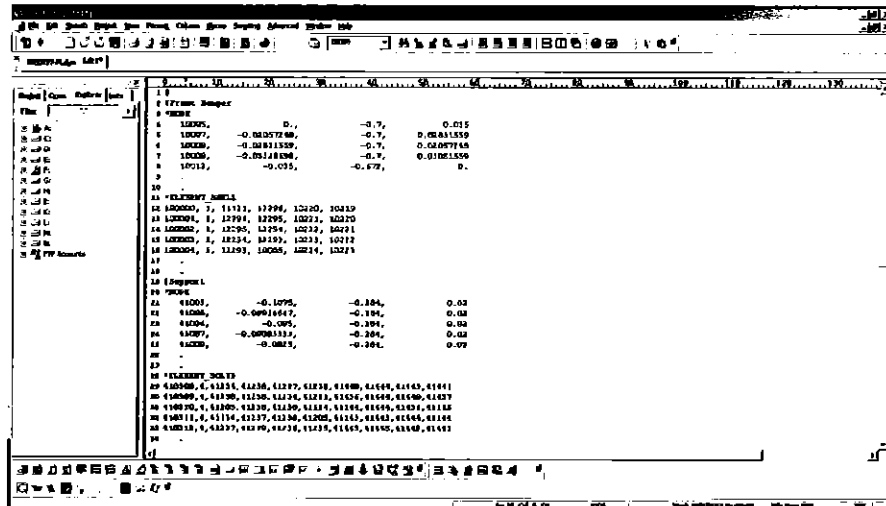
รูปที่ 4.14 การสร้างเส้นใน AutoCAD

จากนั้นข้อมูลของเส้นจะถูกนำเข้ามายังโปรแกรม FEMAP โดยที่เส้นวงกลมรอบรูปของกันชนจะถูกขี้ออก (Extrude) เป็นพื้นผิว เส้นรอบรูปของตัวรองรับจะถูกสร้างเป็นพื้นผิวจากนั้นจะถูกขี้ออกให้เป็นปริมาตร สำหรับเส้นรอบรูปของกำแพงแข็งแรงจะถูกสร้างเป็นพื้นผิว จากนั้นแบบจำลองของกันชนและตัวรองรับจะถูกแบ่งเอลิเมนต์ ซึ่งได้แบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แบบจำลองที่ถูกแบ่งเอลิเมนต์

จากรูปที่ 4.15 ข้อมูลพิกัด  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ของจุดต่อต่างๆ หมายเลขของจุดต่อ จุดต่อของเอลิเมนต์ และหมายเลขเอลิเมนต์จะถูกส่งออกในรูปแบบของข้อความดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ตัวอย่างข้อมูลแบบจำลองสำหรับสร้างไฟล้นำเข้า

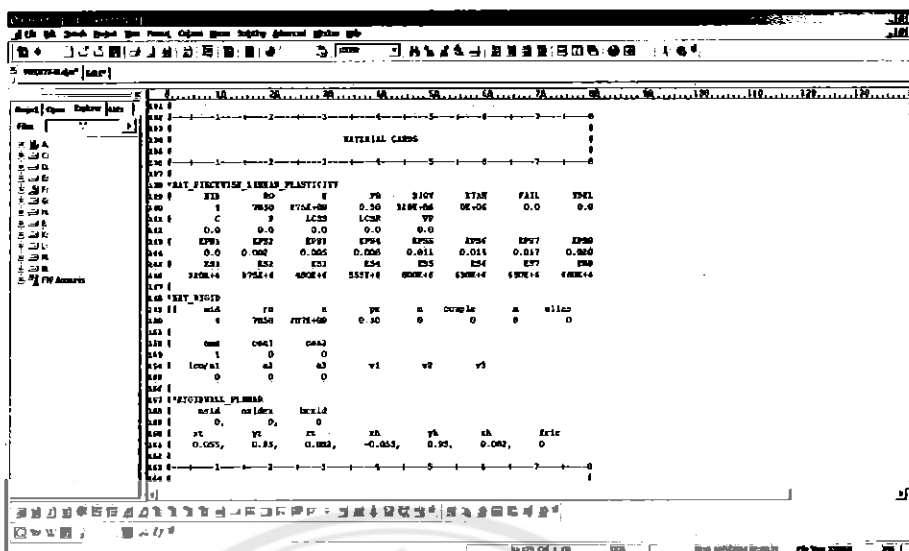
เมื่อนำข้อมูลของแบบจำลองข้างต้นนั้นมาสร้างเป็นไฟล้นำเข้าแล้วจึงได้กำหนดข้อมูลคุณสมบัติของแต่ละแบบจำลองซึ่งประกอบด้วย

1. แบบจำลองกำแพงแข็งเกร็ง กำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นแบบแข็งเกร็ง (Rigid) โดยใช้คำสั่ง RIGIDWALL\_PLANAR
2. แบบจำลองตัวรองรับ กำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นแบบแข็งเกร็งด้วยคำสั่ง MAT\_RIGID
3. แบบจำลองกันชน กำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นแบบพลาสติกชนิดเดียวกับคำสั่ง MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY และกำหนดให้วัสดุเป็นอลูมิเนียม โดยมีคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติวัสดุที่เกี่ยวข้องของแบบจำลองกันชน

คุณสมบัติ	ค่าที่กำหนด
1. โมดูลัสความยืดหยุ่น	60 GPa
2. ความเค้นคลาก	105 MPa
3. ความหนาแน่น	2700 kg/m <sup>3</sup>
4. อัตราส่วนปัวซอง	0.33
5. คู่ลำดับความเครียดความเค้นในช่วงพลาสติก หมายเหตุ: หน่วยเป็น (mm/mm, MPa)	(0.001, 105), (0.006, 122), (0.010, 124) (0.014, 126), (0.018, 126), (0.022, 126) (0.026, 126) และ (0.030, 125)

หมายเหตุ: โปรแกรมต้องการข้อมูลคู่ลำดับความเครียดความเค้นจำนวน 8 คู่



รูปที่ 4.17 การกำหนดคุณสมบัติของแบบจำลองในไฟลีนำเข้า

ทั้งนี้การกำหนดคุณสมบัติของแบบจำลองในไฟลีนำเข้าเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.17 สำหรับข้อมูลประเภทเอลิเมนต์ (Element type) ของแต่ละแบบจำลองได้กำหนดเป็นดังนี้

1. แบบจำลองกำแพงแข็งแรงเกร็ง ไม่ต้องกำหนด
2. แบบจำลองตัวรองรับ กำหนดให้เป็นเอลิเมนต์แข็งด้วยคำสั่ง SECTION\_SOLID
3. แบบจำลองกันชน กำหนดให้เป็นเอลิเมนต์เปลือกด้วยคำสั่ง SECTION\_SHELL

โดยในคำสั่งนี้ได้กำหนดความหนาของเปลือกตามค่าความหนาของกันชนที่ต้องการศึกษาจำนวน 3 ค่า คือ 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร ในการประมวลผลแต่ละครั้ง

ข. การกำหนดเงื่อนไข เป็นการกำหนดให้การจำลองสภาพเป็นไปตามสมมุติฐานต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้เพื่อให้ใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงของการชนกระแทกมากที่สุด ซึ่งการกำหนดเงื่อนไขที่สำคัญประกอบด้วย

1. การกำหนดความเร็วชนกระแทก เป็นการกำหนดให้แบบจำลองกันชนพร้อมตัวรองรับพุ่งเข้าชนกระแทกต่อแบบจำลองกำแพงแข็งแรงเกร็งด้วยความเร็วที่ต้องการศึกษาด้วยคำสั่ง INITIAL\_VELOCITY ซึ่งในการประมวลผลแต่ละครั้งได้เปลี่ยนความเร็วชนกระแทกจำนวน 5 ค่า คือ 51.2, 57.6, 64.0, 70.4 และ 76.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยค่าที่ได้กำหนดให้โปรแกรมคือ 14.2, 16.0, 17.8, 19.6 และ 21.3 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ทั้งนี้การกำหนดความเร็วชนกระแทกนี้ได้กำหนดในทิศทางตั้งฉากกับแบบจำลองกำแพงแข็งแรงเกร็งเท่านั้นเนื่องจากการชนกระแทกในแนวตรง

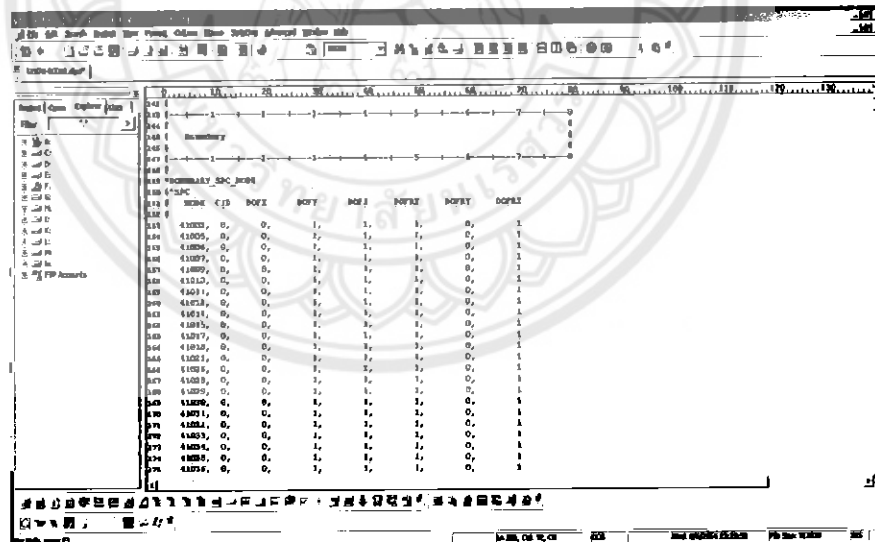
2. การกำหนดการบังคับการเคลื่อนที่ เป็นการบังคับให้แต่ละจุดของแบบจำลองมีการเคลื่อนที่ไปในรูปแบบที่ต้องการซึ่งต้องบังคับการเปลี่ยนตำแหน่ง (Translation) ใน 3 แกน และบังคับการหมุน (Rotation) ใน 3 แกน โดยใช้คำสั่ง BOUNDARY\_SPC\_NODE ซึ่งในการจำลองสภาพการชนกระแทกในแนวตรงนี้ได้บังคับการเคลื่อนที่ของแต่ละแบบจำลองดังนี้

2.1 แบบจำลองกำแพงแข็งเกร็ง บังคับการเคลื่อนที่เป็นแบบตรง (ไม่ยอมให้มีการเคลื่อนที่ในทุกแกน โดยอ้างอิงแกนจากรูปที่ 4.12)

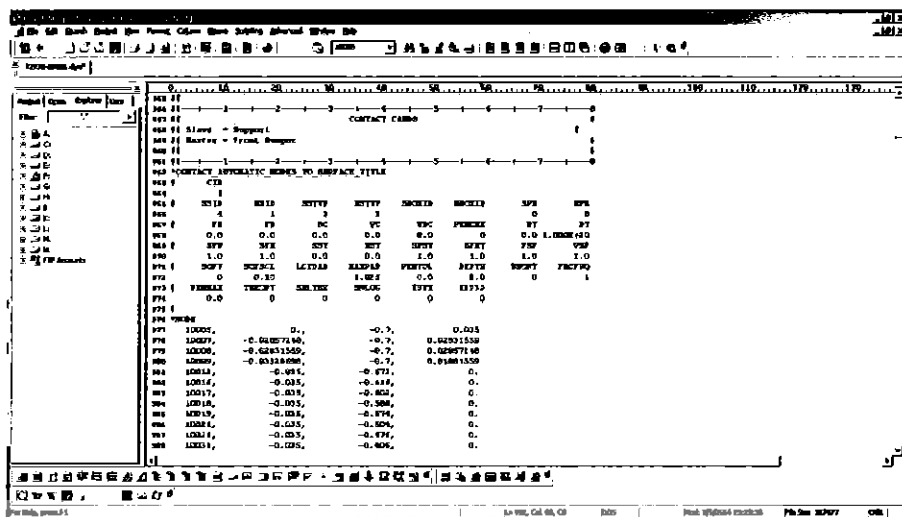
2.2 แบบจำลองตัวรองรับ ยอมให้เกิดการเคลื่อนที่ตามแกน x และยอมให้เกิดการหมุนรอบแกน y เท่านั้น

2.3 แบบจำลองกันชน ยอมให้เกิดการเคลื่อนที่ได้ในทุกๆ แกน โดยการกำหนดการบังคับการเคลื่อนที่ในไฟล์นำเข้าเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.18

3. การกำหนดคู่สัมผัส เป็นการกำหนดให้โปรแกรมทราบว่าในการชนกระแทกที่เกิดขึ้นนั้นมีการสัมผัสกันของแบบจำลองใดบ้างด้วยคำสั่ง CONTACT\_AUTOMATIC\_NODES\_TO\_SURFACE\_TITLE ซึ่งได้กำหนดคู่สัมผัสระหว่างกันชนและตัวรองรับโดยให้แบบจำลองกันชนเป็น Master ส่วนแบบจำลองตัวรองรับเป็น Slave สำหรับการสัมผัสของแบบจำลองทั้งสองกับกำแพงแข็งเกร็งนั้นไม่ต้องกำหนดเพราะคำสั่ง RIGIDWALL\_PLANAR จะกำหนดการสัมผัสโดยอัตโนมัติ การกำหนดคู่สัมผัสในไฟล์นำเข้าเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.19

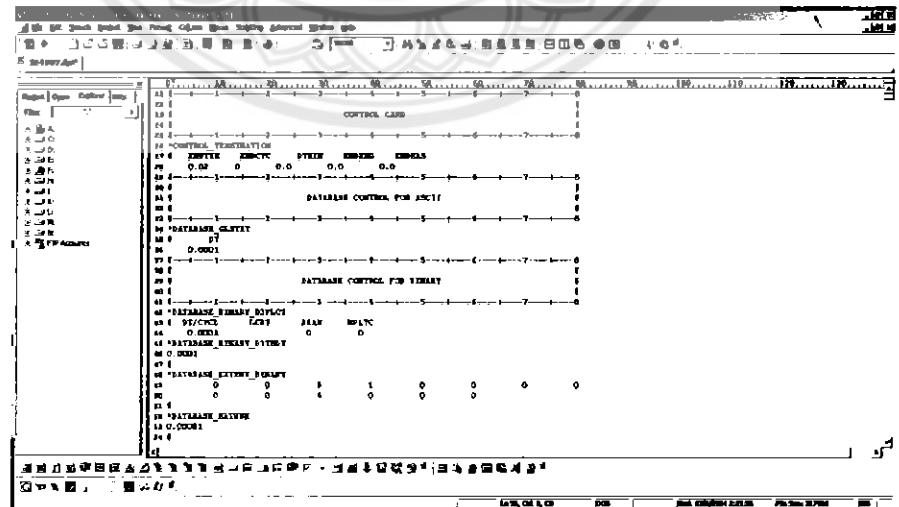


รูปที่ 4.18 การกำหนดการบังคับการเคลื่อนที่ในไฟล์นำเข้า



รูปที่ 4.19 การกำหนดค่ากลุ่มสัมผัสในไฟล์นำเข้า

ก. การกำหนดผลลัพธ์ เป็นการกำหนดให้การประมวลผลการจำลองสภาพสร้างข้อมูลส่งออก (Output) หรือผลลัพธ์ของการจำลองสภาพให้เป็นไปตามความต้องการ สำหรับโปรแกรม LS-DYNA นั้นต้องกำหนดข้อมูลผลลัพธ์ 2 ส่วน คือ ข้อมูลผลลัพธ์ที่ต้องการ และช่วงเวลาการส่งออกข้อมูลนั้นๆ โดยในการศึกษาการดูดซับพลังงานการชนกระแทกของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทกแนวตรง ได้กำหนดให้ส่งออกผลลัพธ์เป็นพลังงานภายในของแบบจำลองกันชน ด้วยคำสั่ง DATABASE\_MATSUM และได้กำหนดให้สร้างข้อมูลทุกๆ 10 ไมโครวินาที ด้วยคำสั่งนี้ โปรแกรม LS-DYNA จะสร้างไฟล์ชื่อ matsum ซึ่งภายในบรรจุลำดับของพลังงานภายในของแบบจำลองกันชนที่เวลาต่างๆ ของการจำลองสภาพ การกำหนดผลลัพธ์ในไฟล์นำเข้าเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การกำหนดผลลัพธ์ในไฟล์นำเข้า

ส่วนสำคัญในขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลประมวลผลอีกประการหนึ่งคือการกำหนดเวลาของการประมวลผลซึ่งมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเป็นอย่างมาก จากการทดลองจำลองสภาพการชนกระแทกพบว่าแบบจำลองกันชนจะพุ่งเข้าชนก่อนที่เวลาประมาณ 1.2 มิลลิวินาที ต่อจากนั้นแบบจำลองตัวรองรับจะกดแบบจำลองกันชนเข้ากระแทกต่อกำแพงแข็งเกร็งที่เวลาประมาณ 5.5 มิลลิวินาที จากนั้นแบบจำลองทั้งหมดจะเริ่มถอยกลับออกมา ดังนั้นจึงได้กำหนดเวลาสิ้นสุดการประมวลผลที่ 20 มิลลิวินาที

ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลการประมวลผลนี้สุดท้ายจะได้ผลลัพธ์เป็นไฟล์ที่มีขนาดประมาณ 300 kb จำนวนทั้งสิ้น 15 ไฟล์ ที่มีการเปลี่ยนตัวแปรการจำลองสภาพที่ความเร็วชนกระแทกจำนวน 5 ค่า และความหนาของกันชนจำนวน 3 ค่า สำหรับการนำไปใช้ประมวลผลในขั้นตอนต่อไป

4.3.2 การประมวลผล เมื่อทำการจัดเตรียมข้อมูลต่างๆ ในไฟล์นำเข้าตามขั้นตอน 3.3.1 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ไฟล์นำเข้านั้นจะถูกนำมาทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม LS-DYNA โดยจะได้ทำการประมวลผลด้วยการเปลี่ยนตัวแปรการจำลองภาพ คือ

ก. ค่าความเร็วชนกระแทกจำนวน 5 ค่า คือ 14.2, 16.0, 17.8, 19.6 และ 21.3 เมตรต่อวินาที

ข. ค่าความหนาของกันชน คือ 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร

เมื่อการประมวลผลเริ่มต้นจะได้ภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 4.21 โดยการประมวลผลในแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 50 นาที

```

C:\Program Files\LSI Technology Corp. LS-DYNA
All rights reserved

Input of data is completed
Initial kinetic energy = 0.29718245
The AD-STEP time step size should not exceed 0.000105
to avoid contact instability. If the step size is
larger than needed the possibility of the following warning:
0 4 0.000105 46 0.000105 46 176 176 buffers
Initialization completed
dt of 4.0e-05 is controlled by 4.0e-05 element 000000

time ..... 0.000000
time step ..... 1.000000
iteration ..... 1
total energy .....
total energy / initial energy .....
total mass .....
total mass / initial mass .....
total volume .....
total volume / initial volume .....
total force .....
total force / initial force .....
total moment .....
total moment / initial moment .....
average time step per node .....
average time step per element .....

estimated total job time .....
estimated job time to complete .....
estimated total element time .....
estimated element time to complete .....

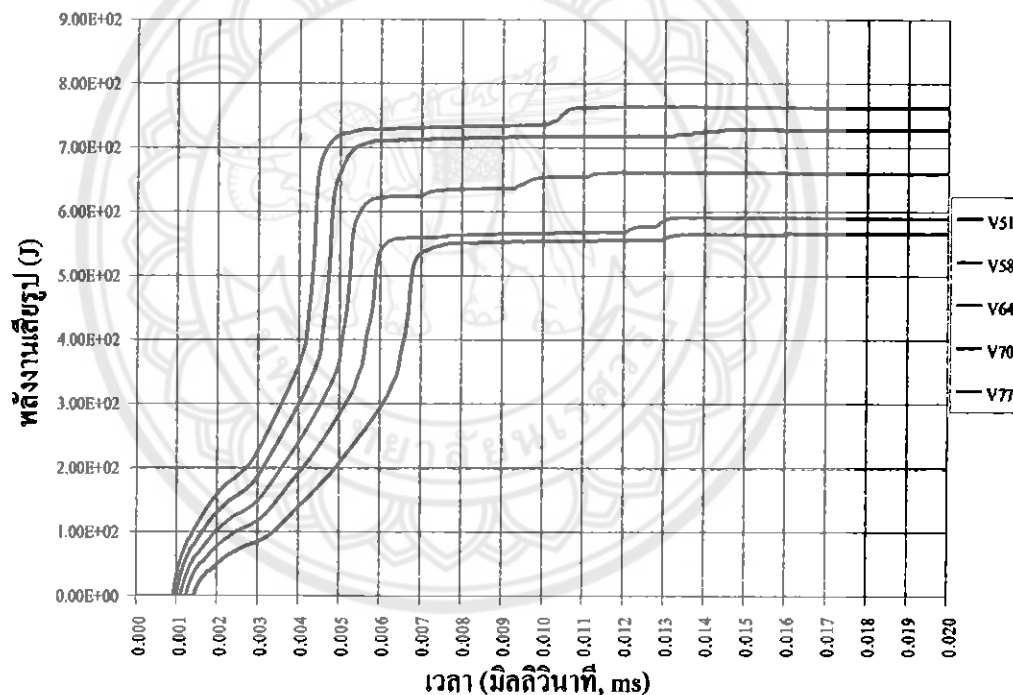
```

รูปที่ 4.21 การทำงานของโปรแกรมขณะประมวลผล

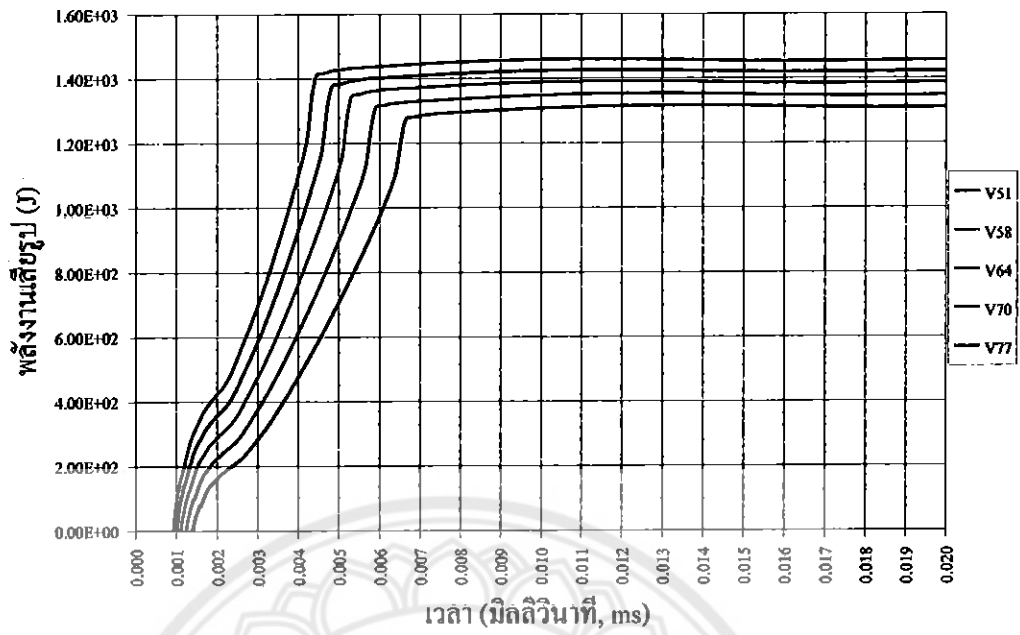
ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพการชนกระแทกคือพลังงานภายในของแบบจำลองกันชนซึ่งเป็นพลังงานที่แบบจำลองกันชนดูดซับเอาไว้ในรูปของการเสียรูปของวัสดุ ซึ่งจะถูกนำเสนอและวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

#### 4.4 ผลการจำลองสภาพการชนกระแทก

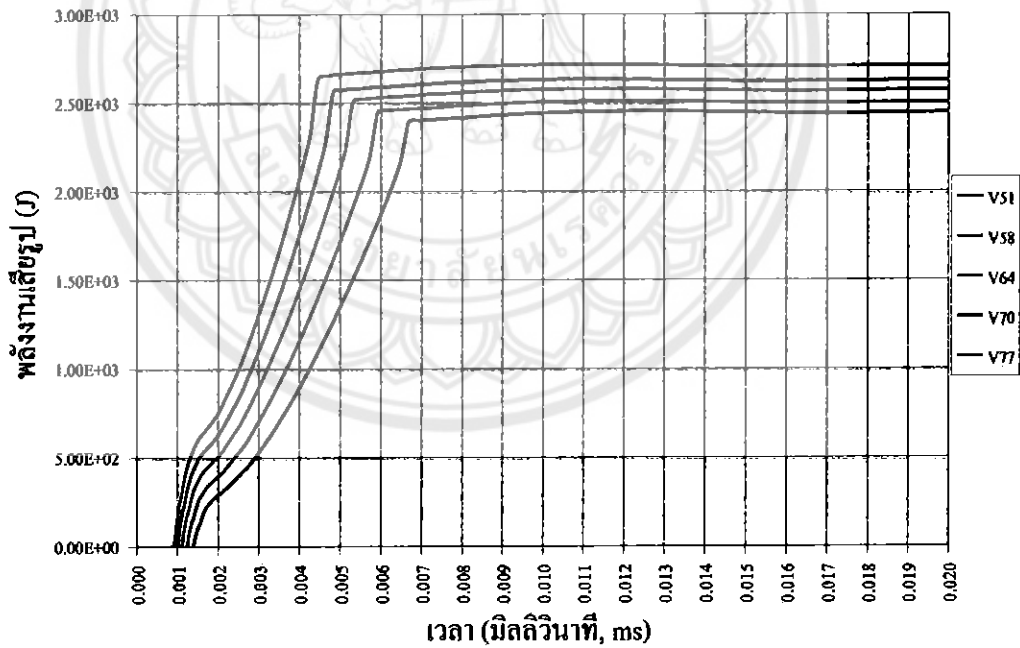
ผลลัพธ์จากการจำลองสภาพการชนกระแทกในขั้นตอนที่ผ่านมาเป็นข้อมูลของพลังงานภายใน (Internal energy) ของแบบจำลองกันชนที่เกิดขึ้นเนื่องจากวัสดุของกันชนเกิดการเสียรูป ในการนำเสนอนี้จึงเรียกว่าพลังงานเสียรูป (Deformation energy) ในหัวข้อนี้จะได้แสดงพลังงานเสียรูปของกันชนในรูปแบบของกราฟพลังงานเสียรูปของกันชนที่เวลาต่างๆ โดยกราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียรูปที่ความเร็วชนกระแทกจำนวน 5 ค่า คือ 51, 58, 64, 70 และ 77 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ของกันชนที่มีความหนาแตกต่างกัน 3 ค่า คือ 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร เป็นดังแสดงในรูปที่ 4.22 ถึง 4.24



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียรูปที่เวลาต่างๆ ของการชนกระแทกที่ความเร็วทั้ง 5 ค่า ของกันชนความหนา 1 มิลลิเมตร



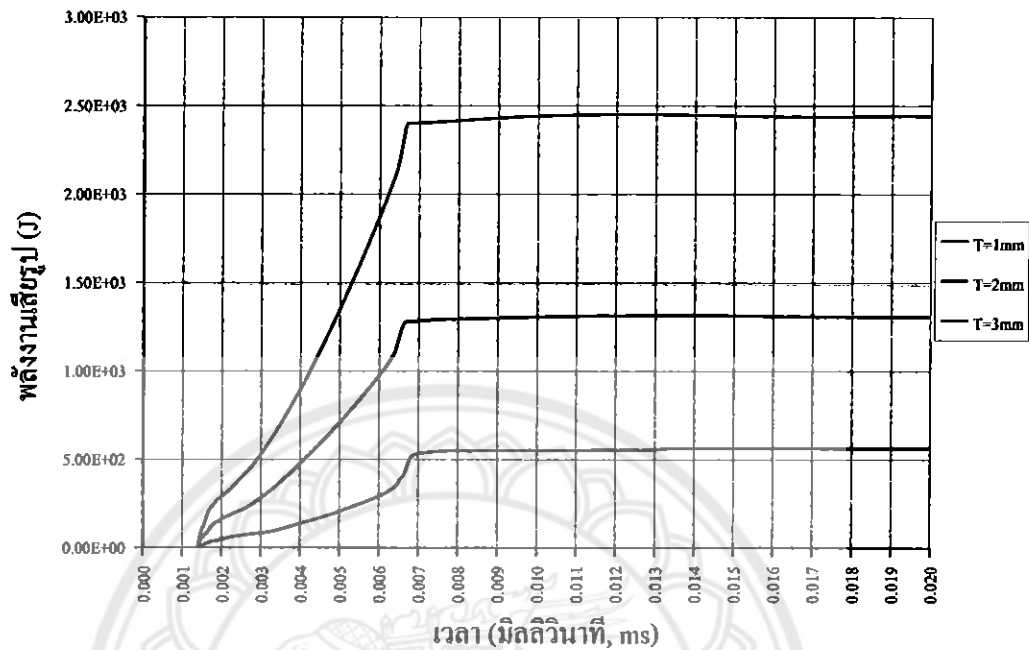
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเฉลี่ยที่เวลาต่างๆ  
ของการชนกระแทกที่ความเร็วทั้ง 5 ค่า ของกันชนความหนา 2 มิลลิเมตร



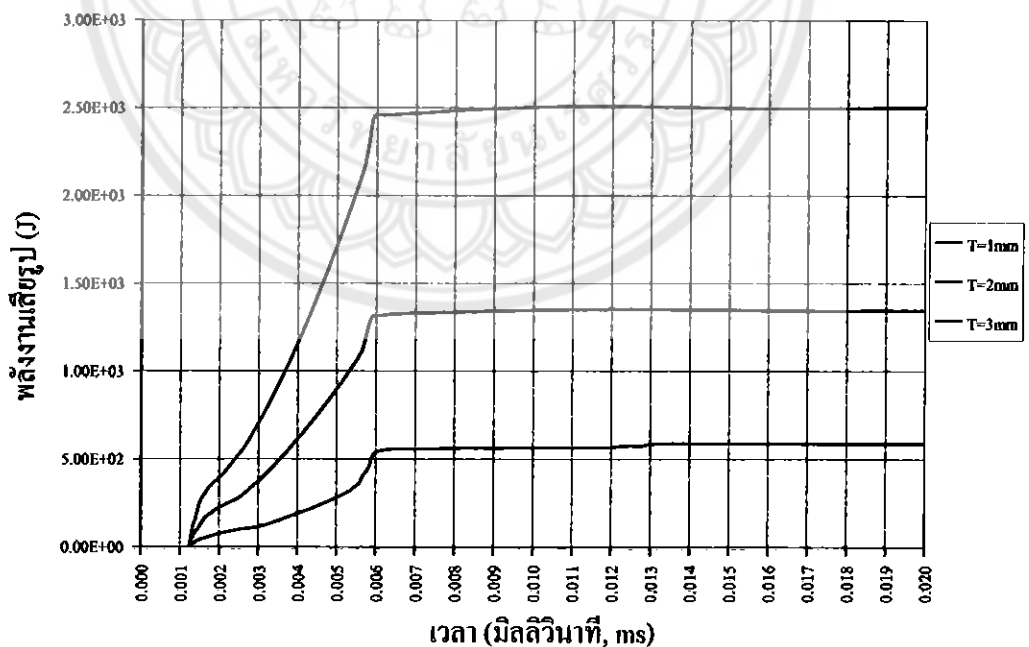
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเฉลี่ยที่เวลาต่างๆ  
ของการชนกระแทกที่ความเร็วทั้ง 5 ค่า ของกันชนความหนา 3 มิลลิเมตร



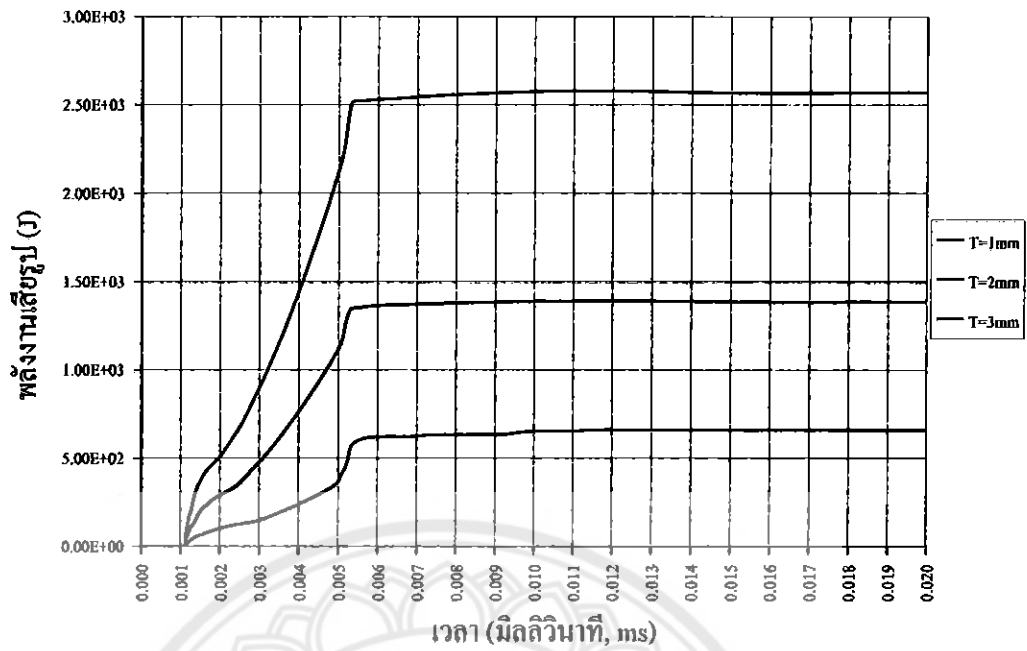
สำหรับกราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียดรูปของกันชนที่มีความหนาเป็น 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร ที่แต่ละความเร็วชนกระแทกเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.25 ถึง 4.29



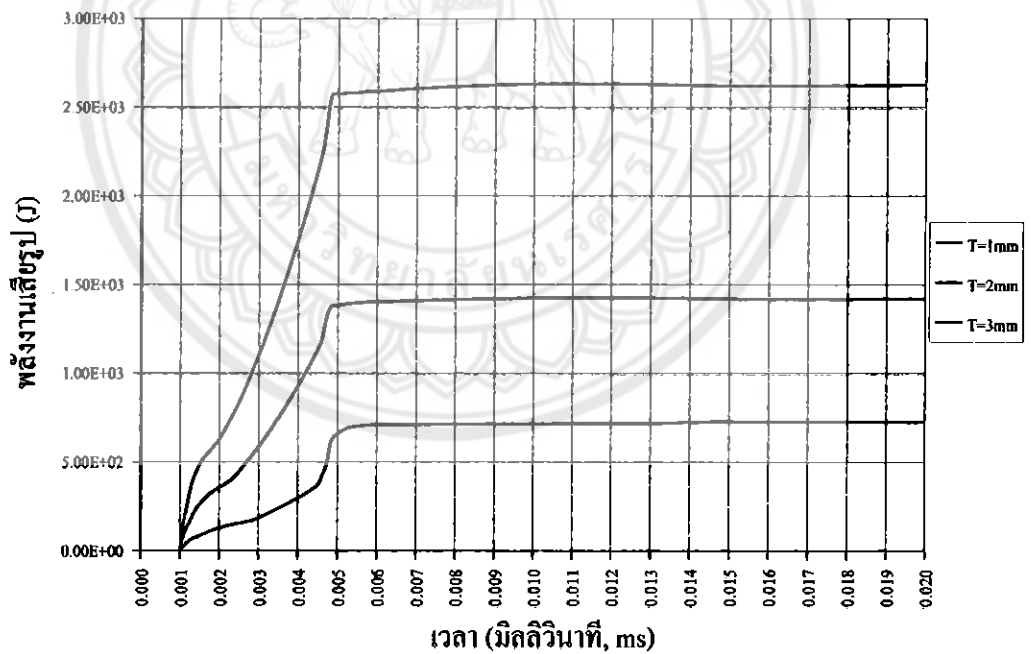
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆ ของการชนกระแทกของกันชนที่มีความหนาทั้ง 3 ค่า ที่ความเร็วชนกระแทก 51 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



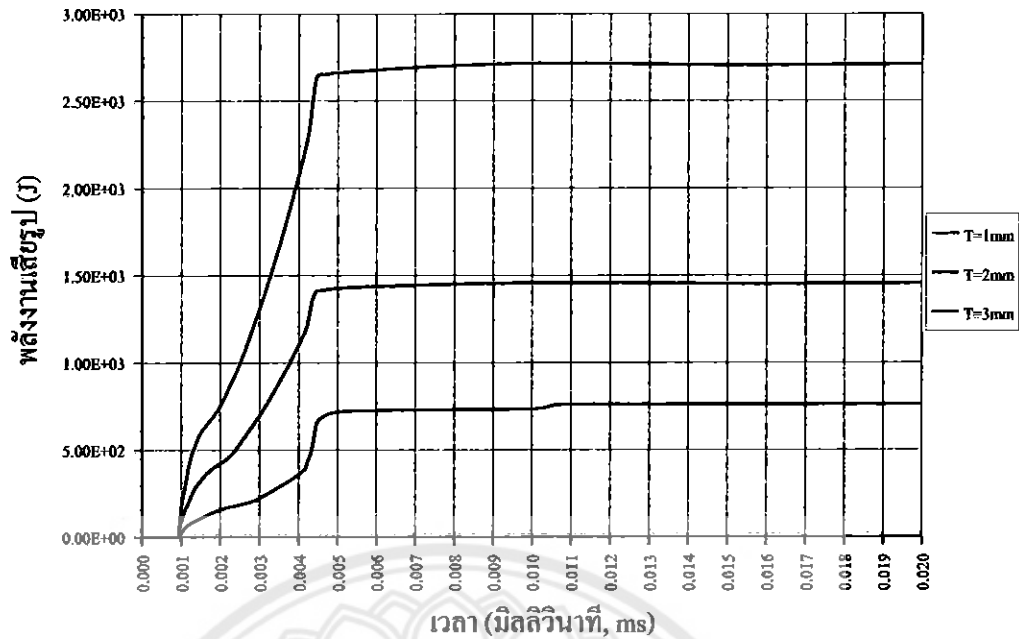
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆ ของการชนกระแทกของกันชนที่มีความหนาทั้ง 3 ค่า ที่ความเร็วชนกระแทก 58 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียงรูปที่เวลาต่างๆ ของการชนกระแทกของกันชนที่มีความหนาทั้ง 3 ค่า ที่ความเร็วชนกระแทก 64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียงรูปที่เวลาต่างๆ ของการชนกระแทกของกันชนที่มีความหนาทั้ง 3 ค่า ที่ความเร็วชนกระแทก 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบพลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆ ของการชนกระแทกของกันชนที่มีความหนาทั้ง 3 ค่า ที่ความเร็วชนกระแทก 77 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

#### 4.5 การวิจารณ์ผลการจำลองสภาพ

จากกราฟผลลัพธ์ของการจำลองสภาพคือพลังงานเสียดรูปของกันชนที่เวลาต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ถึง 4.29 พบว่ากราฟทั้งหมดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพลังงานเสียดรูปที่ใกล้เคียงกันคือ ในช่วงที่กันชนยังไม่มีการเสียดรูปกันชนจะยังไม่มีการดูดซับพลังงานทำให้ในช่วงแรกนี้พลังงานเสียดรูปจึงเป็นศูนย์ ต่อมาเมื่อกันชนเริ่มเกิดการดูดซับพลังงานเสียดรูปจึงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการเสียดรูปที่เพิ่มขึ้น ในช่วงสุดท้ายพลังงานเสียดรูปจะค่อนข้างคงที่เนื่องจากเป็นช่วงที่กันชนเสียดรูปเพิ่มขึ้น ไม่มากนักเพราะจะเป็นช่วงที่แบบจำลองตัวรองรับได้อัดตัวเข้ากับแบบจำลองกันชนและกำแพงแข็งเกร็งแล้วจึงให้แบบจำลองกันชนเสียดรูปเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจึงทำให้พลังงานเสียดรูปมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาพลังงานเสียดรูปที่แบบจำลองกันชนสามารถเก็บไว้ได้จะได้ค่าดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 พลังงานเสียดรูปของกันชนจากการจำลองสภาพ

ความหนาของกันชน	พลังงานเสียดรูป (J)				
	51 km/h	58 km/h	64 km/h	70 km/h	77 km/h
1 mm.	550	592	662	717	765
2 mm.	1,300	1,350	1,390	1,430	1,460
3 mm.	2,450	2,510	2,580	2,630	2,720

เมื่อพิจารณาพลังงานเสียดรูปของแบบจำลองกันชนที่มีความหนาเป็น 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร และเกิดการชนกระแทกด้วยความเร็ว 51, 58, 64, 70 และ 74 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ถึง 4.24 และตารางที่ 4.6 พบว่าที่ความหนาของกันชนที่เท่ากันแต่เกิดการชนกระแทกด้วยความเร็วที่แตกต่างกันนั้นพลังงานเสียดรูปที่เกิดขึ้นในแบบจำลองกันชนมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่หากพิจารณาพลังงานเสียดรูปที่ความเร็วชนกระแทกค่าเดียวกันแต่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาของกันชนดังรูปที่ 4.25 ถึง 4.29 และตารางที่ 4.6 พบว่าพลังงานเสียดรูปจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

สำหรับการวิเคราะห์สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงพลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆ ความสามารถในการดูดซับพลังงาน ผลของความเร็วชนกระแทกและความหนาของกันชนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานเสียดรูป และการสรุปผลของการศึกษาพลังงานเสียดรูปและความสามารถในการดูดซับพลังงานของกันชนหน้ารถยนต์บรรทุกในการชนกระแทกแนวตรงจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป



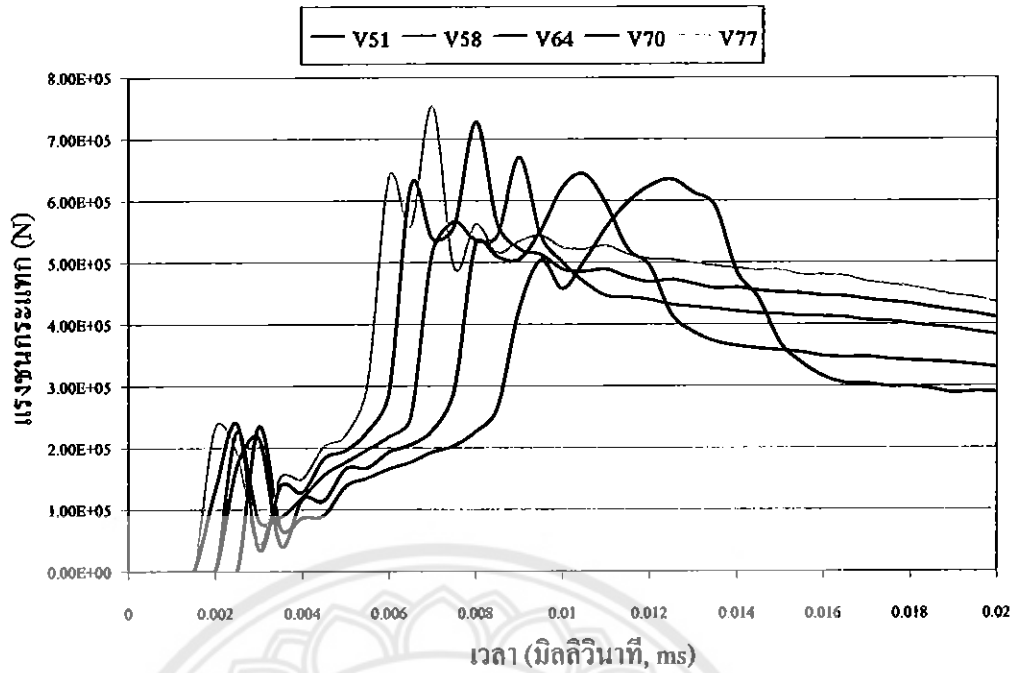
## บทที่ 5

### การวิเคราะห์และสรุปผล

#### 5.1 การวิเคราะห์ผลการจำลองสภาพ

จากกราฟผลลัพธ์ของการจำลองสภาพคือ พลังงานเสียดรูปที่เวลาต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ถึง 4.29 พบว่าในทุกกราฟนั้นแสดงให้เห็นถึงพลังงานเสียดรูปที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการเสียดรูปของกันชน โดยพบว่าในช่วงแรกที่กันชนยังไม่เกิดการชนกระแทกนั้นพลังงานเสียดรูปของกันชนยังมีค่าเป็นศูนย์ ต่อมาเมื่อกันชนเริ่มสัมผัสกับกำแพงแข็งเกร็งแล้วเริ่มเกิดการยุบตัว กันชนจะเริ่มเกิดพลังงานเสียดรูปและเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการเสียดรูปที่เพิ่มขึ้นของกันชนจนเมื่อถึงจุดหนึ่งพลังงานเสียดรูปจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเนื่องจากเมื่อวัสดุของกันชนส่วนใหญ่ได้เสียดรูปไปแล้วและในช่วงหลังนี้เป็นช่วงที่แบบจำลองตัวรองรับได้อัดตัวเข้ากับแบบจำลองกันชนและกำแพงแข็งเกร็งแล้วจึงให้แบบจำลองกันชนเสียดรูปเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจึงทำให้พลังงานเสียดรูปมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

เมื่อวิเคราะห์ถึงพลังงานเสียดรูปของแบบจำลองกันชนในการจำลองสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาของกันชนและความเร็วชนกระแทกพบว่า การเปลี่ยนแปลงความหนาของกันชนมีผลต่อการเปลี่ยนพลังงานเสียดรูปมากกว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วชนกระแทกเนื่องจากพลังงานภายในของวัสดุที่เกิดการเสียดรูปนั้นถูกคำนวณจากพลังงานเครียด (Strain Energy, U) โดยที่เทอมของพลังงานเครียดนั้นจะถูกคำนวณมาจากความเค้นและความเครียดซึ่งพบว่าในเทอมของความเครียดซึ่งคำนวณจากการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดต่อ นั้นไม่ขึ้นกับความเร็วของการชนกระแทกแต่จะขึ้นกับความหนาของเอลิเมนต์ ส่วนในเทอมของความเค้นนั้นจะขึ้นอยู่กับแรงและขนาดของเอลิเมนต์ โดยพบว่าผลของความเร็วชนกระแทกนั้นจะส่งผลที่แรงที่เกิดขึ้นแต่ทั้งนี้จากการศึกษาในส่วนองแรงชนกระแทกที่ความเร็วที่แตกต่างกันนั้นพบว่าแรงชนกระแทกมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ดังแสดงในรูปที่ 5.1 จึงส่งผลให้ในการจำลองสภาพการชนกระแทกที่ความเร็วแตกต่างกันนั้นเกิดแรงที่จุดต่อแตกต่างกันไม่มากนัก จึงส่งผลให้ความเร็วชนกระแทกมีผลต่อพลังงานเครียดหรือพลังงานภายในของวัสดุค่อนข้างน้อย แต่ในกรณีของความหนานั้นพบว่าได้ส่งผลต่อทั้งในเทอมของความเครียดคือการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดต่อและในเทอมของความเค้นคือขนาดของเอลิเมนต์จึงทำให้ความหนา มีผลต่อพลังงานเครียดค่อนข้างมาก จึงสรุปได้ว่าความหนาของกันชนมีผลต่อการดูดซับพลังงานชนกระแทกมากกว่าความเร็วชนกระแทก



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงแรงชนกระแทกที่เวลาต่างๆ ของการชนกระแทกที่ความเร็วทั้ง 5 ค่า ของกันชนความหนา 3 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาอัตราชนค้บรทุกทั้งค้บที่มีมวลเป็น 1,550 กิโลกรัม วิ่งค้บด้วยความเร็วเป็น 51, 58, 64, 70 และ 77 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีพลังงานจลน์ (Kinetic Energy, V) เป็น 158, 198, 245, 296 และ 353 kJ ตามล้บค้บ เมื่อนำพลังงานล้บรูปของกันชนมาเทียบกับพลังงานจลน์ข้างต้นจะแสดงให้ เห็นถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานชนกระแทกได้ทีแต่ล้บค้บของค้บแปรที่ล้บศึกษา ซึ่งพบว่า ความสามารถในการดูดซับพลังงานชนกระแทกของกันชนของรตยค้บรทุกจะเป็นค้บดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความสามารถในการดูดซับพลังงานชนกระแทกของกันชน

ความหนาของ กันชน	ความสามารถในการดูดซับพลังงานชนกระแทก (%)				
	51 km/h	58 km/h	64 km/h	70 km/h	77 km/h
1 mm.	0.35	0.30	0.27	0.24	0.22
2 mm.	0.83	0.68	0.57	0.48	0.41
3 mm.	1.56	1.27	1.05	0.89	0.77

จากตารางที่ 5.1 ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานชนกระแทกของกันชนโดย เปรียบเทียบในรูปของเปอร์เซนต์จากพลังงานจลน์ของรตยค้บรทุกก่อนเกิดการชนกระแทก พบว่า

เมื่อความเร็วชนกระแทกเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับพลังงานชนกระแทกจะลดลง ส่วนการชนกระแทกของกันชนที่มีความหนาเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้นตามด้วย

## 5.2 สรุปผลการศึกษา

1. ในการศึกษาถึงการชนกระแทกของกันชนตัวอย่างซึ่งมีความหนา 3 มิลลิเมตร และมีการชนกระแทกที่ความเร็ว 64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่ากันชนมีพลังงานเสียรูปเป็น 2,580 J คิดเป็นความสามารถในการดูดซับพลังงาน โดยเทียบจากพลังงานจลน์ของรถยนต์บรรทุกก่อนเกิดการชนกระแทกประมาณ 1.05%

2. ความหนาของกันชนมีผลต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานชนกระแทกมากกว่าความเร็วชนกระแทก

3. ความสามารถในการดูดซับพลังงานชนกระแทกของกันชนจะแปรผัน โดยตรงต่อความหนาของกันชนแต่จะแปรผกผันกับความเร็วชนกระแทก

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมสำหรับกันชนรถยนต์บรรทุกที่มีลักษณะแบบอื่นๆ และลักษณะของการชนกระแทกแบบอื่นๆ

2. ควรมีการศึกษาถึงการดูดซับพลังงานชนกระแทกของชิ้นส่วนอื่นๆ ของรถยนต์บรรทุก โดยเฉพาะชิ้นส่วนที่อยู่ก่อนถึงบริเวณห้องโดยสาร

3. ควรมีการทำการทดสอบชนกระแทกจริงเพื่อตรวจสอบผลที่ได้จากการจำลองสภาพ

## เอกสารอ้างอิง

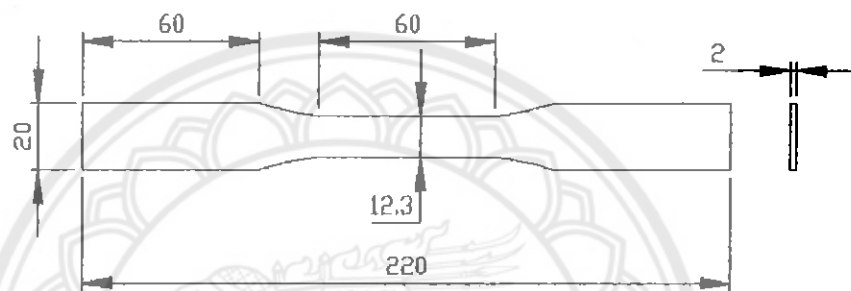
- กรมการขนส่งทางบก, [แฟ้มข้อมูล]. จำนวนรถจดทะเบียน ณ วันที่ 31 กรกฎาคม 2553. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2553, จาก [http://apps.dlt.go.th/statistics\\_web/statistics.html](http://apps.dlt.go.th/statistics_web/statistics.html).
- ธงชัย ฟองสมุทร. (2549). วิถีไฟในต้อลิเมนต์เบื้องต้น. เชียงใหม่: โครงการตำราภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิรุฒ อ่อนสกุล, ขวลิขิต ถิมวงศ์พิทักษ์ และชาคริต โพธิ์งาม. (17-19 ตุลาคม 2550). การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้างหลังการดชนต์โดยสารจากการต่อเสริมด้วยเหล็กที่มีหน้าตัดต่างกัน. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21. ชลบุรี: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายเรืออากาศ. มนตรี พีรุณเกษม. (2549). กลศาสตร์ของของแข็ง. กรุงเทพฯ: บริษัทอุณหพันพิชชิง
- เรืองฤทธิ์ สรวงคำและกนต์ธร ชำนิประศาสน์. (15-17 ตุลาคม 2551). การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22. (หน้า 97-103). กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.
- เล็ก สีคง. (2545). วัสดุวิศวกรรมและอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ที่อป.
- สำนักงานตำรวจแห่งชาติ. [แฟ้มข้อมูล]. สถิติคดีอุบัติเหตุจราจร. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2553, จาก [http://statistic.ftp.police.go.th/traff\\_main.htm](http://statistic.ftp.police.go.th/traff_main.htm).
- Pytel A. and Singer F.L. (1987). *Strength of Materials*. New York, USA. HarperCollins Publishers.
- Sammaan M., Elmarakbi A., and Sennah K. (May 2002). Crashworthiness: Numerical simulation of vehicle-steel pole crash. 7<sup>th</sup> International LS-DYNA Users Conference. Michigan.
- Strong W.J. (2000). *Impact mechanics*. United Kingdom. Cambridge University Press.





### ภาคผนวก ก

การจัดเตรียมชิ้นงานทดสอบดึงโดยทำการตัดแผ่นอลูมิเนียมให้เป็นชิ้นงานทดสอบ ซึ่งได้ทำการออกแบบชิ้นงานที่ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบดึง (ASTM) โดยมีความยาว 220 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ความกว้างส่วนหัวจับ 20 มิลลิเมตร ความกว้างจุดทดสอบ 12.3 มิลลิเมตร ความยาวจุดทดสอบ 60 มิลลิเมตร และความยาวบริเวณหัวจับทดสอบ 60 มิลลิเมตร ดังรูปที่ ก-1 และรูปที่ ก-2



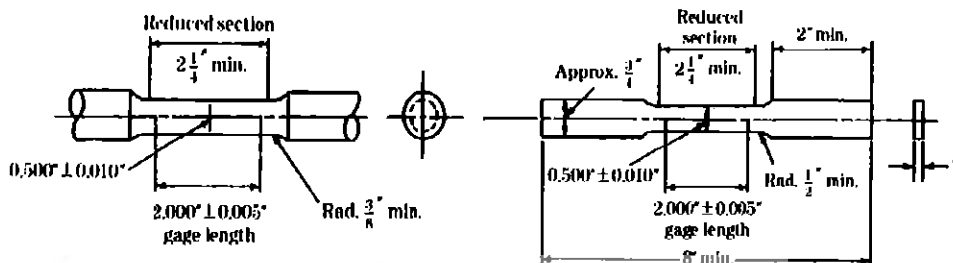
รูปที่ ก - 1 รูปร่างการจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบดึงแผ่นอลูมิเนียม (หน่วย mm)



รูปที่ ก - 2 ตัวอย่างทดสอบดึงแผ่นอลูมิเนียม

สำหรับการออกแบบชิ้นงานทดสอบดึงนั้นมีหลายรูปแบบที่สำคัญ สำหรับโลหะหน้าตัดที่หนาเช่นโลหะทองกลมปกติจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอบชิ้นทดสอบ 0.5 นิ้ว

(ดังรูปที่ ก-3a) และสำหรับ โลหะที่มีพื้นที่หน้าตัดบางกว่าเช่น โลหะแผ่น จะเตรียมชิ้นงานทดสอบ เป็นลักษณะแผ่นเรียบ (ดังรูปที่ ก-3b) ในการทดสอบดึงระยะทดสอบที่ใช้มากที่สุดคือ 2 นิ้ว



(a) ชิ้นงานทดสอบมาตรฐานแบบ

(b) ชิ้นงานทดสอบมาตรฐานแบบ

แท่งทรงกระบอก

แท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า

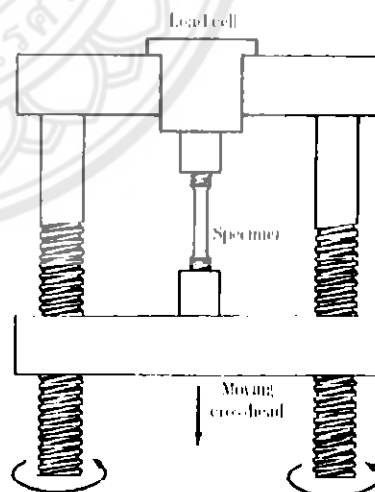
รูปที่ ก- 3 ตัวอย่างทดสอบมาตรฐานทั่วไปที่ใช้ในการทดสอบดึง

**ขั้นตอนการทดสอบดึง**

ทำการทดสอบดึง โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Tester) เพื่อหาคุณสมบัติของอลูมิเนียม ดังแสดงในรูปที่ ก-4 เป็นภาพแสดงรูปเครื่องมือทดสอบดึง และรูปที่ ก-5 เป็นรูปตัวอย่างแสดงโครงสร้างการทดสอบดึงกับชิ้นทดสอบ



รูปที่ ก- 4 รูปเครื่องมือทดสอบดึง



รูปที่ ก- 5 รูปการทำงานของเครื่องทดสอบดึง

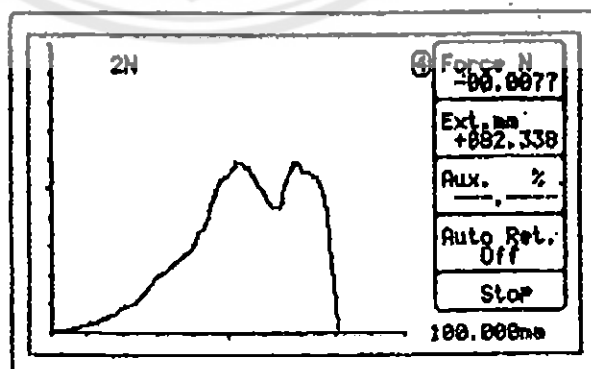
- ติดตั้ง load cell ขนาด 50 kN พร้อมหัวจับชิ้นงานเข้ากับ Crosshead และฐานเครื่อง แล้วต่อสายสัญญาณ load cell เข้าที่ Crosshead (ทางห้องปฏิบัติการทดสอบคงได้ติดตั้งให้ไว้แล้ว)
- เปิดสวิทซ์เครื่องทดสอบ จะใช้เวลาประมาณ 5 วินาที จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ ก-6



รูปที่ ก - 6 แสดงหน้าจอแสดงผลเวลาเปิดสวิทซ์เครื่องทดสอบคิง

#### ทำการป้อนข้อมูลตัวแปรการทดสอบ

- โดยเข้าสู่ Main Menu Screen ด้วยการกดปุ่ม [ENTER] เลือก [1] เพื่อตั้งค่าความเร็ว Speed = 100 mm/min เสร็จแล้วกดปุ่ม [ENTER]
- เลือก [3] เพื่อตั้งค่า Auto Return = Stop เสร็จแล้วกด [ENTER]
- เลือก [4] เพื่อตั้งค่า Force Limit = 90 % ; ค่าอื่นๆ ตั้งเป็น off เสร็จแล้วกด [ENTER]
- เลือก [6] เพื่อตั้งค่าให้เป็น Graph Display ลักษณะการแสดงผลดังรูปที่ ก-7



รูปที่ ก - 7 แสดงผลเวลาคิงแบบ Graphic Display Mode

-เลือก [7] เพื่อตั้งค่า Result > Program > Result Unit = Stress เสร็จแล้วกด [ENTER]

-เลือก [8] เพื่อตั้งค่า Default > Force Unit = Newton; Extension Unit = Millimeter

-เลือก [9] เพื่อป้อนค่าความหนาและความกว้างของชิ้นงานตามทีออกแบบไว้

#### ทำการป้อนค่าข้อมูลตัวแปรการพิมพ์

-เลือก [5] เพื่อตั้งค่า Identifier: Subject; Group; Date/Time = 12/11/2010; Material = Strain Less เสร็จแล้วกด [ENTER]

-เลือก [8] เพื่อตั้งค่า Printer Setup > Curves per page = 5, > Curve offset = 5%, > Print out = Result/Graph เสร็จแล้วกด [ENTER]

#### การจับยึดชิ้นงาน

-โดยทำการจับชิ้นงานแผ่นอลูมิเนียมที่เตรียมไว้เข้ากับหัวจับตัวบนขันยึดให้แน่น ส่วนหัวจับตัวล่างเปิดกว้างเอาไว้เพื่อไว้ทำการปรับแผ่นชิ้นงานให้ตรงหัวหัวจับ ดังรูปที่ ก-8 ประกอบ

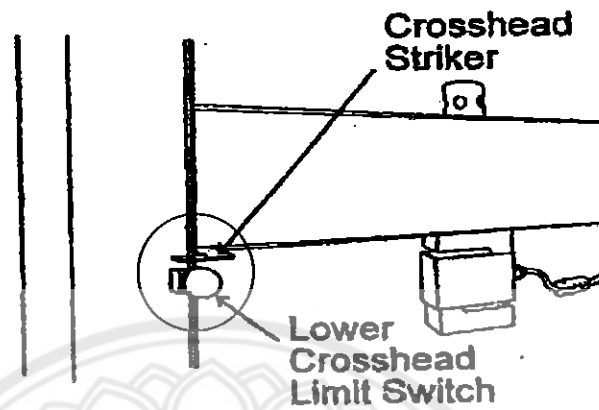


รูปที่ ก - 8 การจับชิ้นงานทดสอบด้านบนและด้านล่างเปิดกว้าง

-กดปุ่ม [STOP] บนแผงควบคุมเพื่อให้ LED กระพริบ แล้วตั้งค่าแหน่งของชิ้นงานด้วยปุ่มลูกศร [UP] และ [DOWN] (เรียกว่า jogging) จนชิ้นงานอยู่ในปากของหัวจับตัวล่างพอดี

-กดปุ่ม [STOP] เพื่อให้ LED หยุดกระพริบ (สว่างนิ่ง)

-ตั้งค่า mechanical limit switch อันล่างให้อยู่ต่ำกว่าตำแหน่งของตัวพา (crosshead striker) ประมาณ 1 เซนติเมตร ให้ดูรูปที่ ก-9 ประกอบ



รูปที่ ก - 9 แสดงตำแหน่งของตัวพา (crosshead striker) ประมาณ 1 เซนติเมตร

-กดปุ่ม [F1] Zero Force เพื่อตั้งค่าแรงให้เป็นศูนย์ และกดปุ่ม [F2] Zero Extension เพื่อตั้งค่าระยะยืดให้เป็นศูนย์

-ขันหัวจับชิ้นงานตัวล่างให้จับชิ้นงานจนแน่นและจับชิ้นงานให้ตรงกับหัวจับ (คล้ายรูปที่ ก-8)



รูปที่ ก - 10 การจับชิ้นงานทดสอบทั้งด้านล่างและด้านบน

-ตรวจสอบดูให้แน่ใจก่อนว่า LED ที่ปุ่ม [TEST] สว่างนิ่งแล้ว แสดงว่าพร้อมที่จะทดสอบ ถ้า LED คับ ให้กดปุ่ม [TEST] อีกครั้งหนึ่ง LED จะสว่างนิ่ง

-การทดสอบ กดปุ่มลูกศร [UP] เครื่องจะทำการทดสอบโดยการดึงจนขาดตาม limit ที่ระบุไว้

-เมื่อขึ้นงานขาดแล้วนำชิ้นงานที่ขาดออกจากกันทั้งสองส่วนออกมาวางต่อกัน แล้ววัดความยาวรวม (ในกรณีที่ชิ้นงานถูกดึงจนเครื่องหยุด แต่ชิ้นงานไม่ขาด ให้ทำการกดปุ่มลูกศร [UP] จนขึ้นงานขาดแล้วกดปุ่ม [STOP] จากนั้นจึงทำต่อไปตามปกติ)



รูปที่ ก - 11 แสดงตัวอย่างทดสอบดึงจนขาดออกจากกัน

ศูนย์ -เมื่อนำชิ้นงานที่ขาดออกมาแล้ว กดปุ่ม [F5] หัวจับบนจะเคลื่อนที่กลับลงมาที่ตำแหน่ง

ชิ้นงาน -เปลี่ยนชิ้นงานใหม่ใส่เข้าไปในปากจับของหัวจับบน แล้วทำตามขั้นตอนการจับยึด

-ทำการทดสอบจนกว่าจะได้กราฟที่มีข้อมูลใกล้เคียงกันจำนวน 4 กราฟ และนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยอีก 1 กราฟ (ในที่นี้ผู้ทดสอบทำการทดสอบจำนวน 8 ครั้ง แต่เอากราฟที่มีข้อมูลใกล้เคียงกัน 4 กราฟ)



รูปที่ ก - 12 ตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการทดสอบคิงขนาดออกจากกัน

-กด [F4] เครื่องจะพิมพ์ผลการทดลองอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงคิงกับระยะขีด (ดังรูปที่ 6.13) พร้อมผลทดลองที่เป็นตัวเลขแต่ละจุด 8 จุด หลังจากพิมพ์ผลการทดลองแล้วให้กด [F1] เพื่อลบข้อมูลทั้ง 4 ชุดออกจากหน่วยความจำ




รูปที่ ก - 13 เครื่องสำหรับพิมพ์ผลการทดสอบคิง

- ปิดสวิทช์เครื่อง หลังจากการทดสอบทำเสร็จทุกอย่างแล้ว ดอดชิ้นงานออกจากหัวจับ
- ถอดหัวจับคิ้วบนออกจากเครื่องทดสอบ เพราะไม่ให้เป็นน้ำหนักถ่วง load cell
- ทำความสะอาดตรวจสอบสถานที่ทดสอบให้อยู่ในสภาพเริ่มต้นก่อนใช้งาน




## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ

ชื่อ : นายณรงค์ฤทธิ์ รัตนวิโรจน์ 

ภูมิลำเนา : 154/1 หมู่ 15 ต. คอนคา อ. ท่าตะโก  
จ. นครสวรรค์ 60160

วัน/เดือน/ปีเกิด : 1 กันยายน 2531

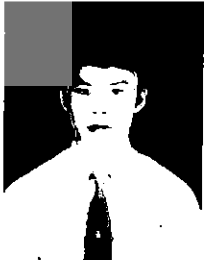
ประวัติการศึกษา: จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนท่าตะโกวิทยาคม  
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
E-mail: ball\_big\_gulp@hotmail.com

ชื่อ : นายณัฐวุฒิ สีสัน 

ภูมิลำเนา : 17 หมู่ที่ 10 ต. แม่เจดีย์ อ. เวียงป่าเป้า  
จ. เชียงราย 57260

วัน/เดือน/ปีเกิด : 18 เมษายน 2531

ประวัติการศึกษา: จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนแม่เจดีย์วิทยาคม  
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
E-mail: big-koy@hotmail.com

ชื่อ : นายศุภชัย มาคั่น 

ภูมิลำเนา : 143/1 หมู่ที่ 20 ต. บ้านหลวง อ. จอมทอง  
จ. เชียงใหม่ 50160

วัน/เดือน/ปีเกิด : 2 ธันวาคม 2531

ประวัติการศึกษา: จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนจอมทอง  
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
E-mail: n.t.k.\_ct@hotmail.com