



# วิทยานิพนธ์

การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์กั้นชน  
ในรถกระบะขนาดเล็ก

AN APPLICATION OF COMPUTER AIDED DESIGN  
AND ENGINEERING ON THE LIGHT TRUCK

นายอภิสิทธิ์ สุภตระภูรัตน์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

## ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล

วิศวกรรมเครื่องกล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์กันชนในรถกระบะขนาดเล็ก

An Application of Computer Aided Design and Engineering on the Light Truck

นามผู้วิจัย นายอภิสิทธิ์ สุภตระกูลรัตน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ, Ph.D. )

กรรมการ

( อาจารย์ธีรารักษ์ พุทธาพิทักษ์ผล, Ph.D. )

กรรมการ

( อาจารย์สุชาติ เหลืองประเสริฐ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( อาจารย์พิชัย กฤษไมตรี, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์กันชนในรถกระบะขนาดเล็ก

An Application of Computer Aided Design and Engineering on the Light Truck

โดย

นายอภิสิทธิ์ ศุภตระกูลรัตน์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

พ.ศ. 2550

อภิสิทธิ์ ศุภตระกูลรัตน์ 2550: การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์  
กันชนในรถกระบะขนาดเล็ก ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)  
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ, Ph.D. 87 หน้า

เนื่องจากปัญหาการไม่มีกฎข้อบังคับมาตรฐานความแข็งแรงของกันชนรถยนต์ จึงได้มี  
แนวคิดที่จะศึกษา และทดสอบความแข็งแรงของกันชนในรถกระบะขนาดเล็กที่มีอยู่ในปัจจุบัน  
โดยศึกษารูปแบบกันชน 2 แบบ วัสดุต่างกัน 2 ชนิด รวมไปถึงระดับความหนา 2 4 และ 6  
มิลลิเมตร ตามลำดับ และอ้างอิงมาตรฐานความปลอดภัยของประเทศสหรัฐอเมริกา NSTHA  
49CFD

งานวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ถึง  
ความแข็งแรงของกันชน เพื่อศึกษาตัวแปรทางด้านความเค้น ระยะยุบตัว และแรงที่เกิดขึ้น  
กับกันชน

สรุปได้ว่า โมเดล A ไม่เกิดความเสียหายเลยระหว่างการทดสอบ ส่วนโมเดล B จะเกิด  
การเสียหายขณะทดสอบด้วยการปะทะแบบตั้งฉาก และเมื่อเพิ่มความหนาของกันชนมากยิ่งขึ้น  
ก็จะทำให้เกิดแรงปะทะและแรงปฏิกิริยามากขึ้นเท่านั้น เมื่อนำผลมาพิจารณาจะเห็นได้ว่า  
การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ จะมีประโยชน์ช่วยในการออกแบบ และตรวจสอบ  
มิให้เกิดความเสียหายของกันชนก่อนการผลิตจริง

Arpith Supatakulrat 2007: An Application of Computer Aided Design and Engineering on the Light Truck. Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Mr. Supasit Rodkwon, Ph.D. 87 pages.

Since there is no regulation stipulating the standard strength of car bumpers, studying and testing their strength among light trucks was initiated. Two types of bumpers, different in materials and thickness varying from 2, 4 and 6 millimeters accordingly are selected in this experiment. Moreover, National Standard of Safety of the United States of America is referred to.

Finite Element is used to analyze the strength of bumpers to investigate the stress variable, deform and impact force.

It was concluded that there was no damage during the experiment in model A. In contrast, in model B, damage could occur while being tested in the longitude impact. In addition, thicker bumpers created more impact and reaction forces. When analyzing the results, it was found that using computers in analysis facilitated designing process and prevented possibility of damage before real production.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

/ /

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณพ่อ และแม่ที่ให้โอกาสในการศึกษาในครั้งนี้ และคอยอบรมสั่งสอนเรื่อยมา กราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภสิทธิ์ รอดขวัญ ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำปรึกษา และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ธำรงค์ พุทธิรักษา กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก อาจารย์ ดร.สุชาติ เหลืองประเสริฐ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และอาจารย์ปรีชา งามเสาวรส ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยทุกท่านที่ให้ความรู้วิชาแขนงต่างๆ และความเมตตา ห่วงใย อีกทั้งขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ช่วยสนับสนุนในการเรียนครั้งนี้ให้สำเร็จเสร็จสิ้นไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่อบรมให้ความรู้ตั้งแต่ระดับบัณฑิต จนกระทั่งระดับมหาบัณฑิต รวมถึงสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDIP) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับความอนุเคราะห์ทางด้านสถานที่ และอุปกรณ์ในการวิจัย

อภิสิทธิ์ สุภตระภูรัตน์

พฤษภาคม 2550

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| สารบัญ                                      | (1)  |
| สารบัญตาราง                                 | (2)  |
| สารบัญภาพ                                   | (3)  |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ                   | (6)  |
| คำนำ  | 1    |
| วัตถุประสงค์ของการศึกษา                     | 2    |
| การตรวจเอกสาร                               | 3    |
| อุปกรณ์และวิธีการ                           | 32   |
| อุปกรณ์                                     | 32   |
| วิธีการ                                     | 32   |
| ผลการทดลอง                                  | 55   |
| วิจารณ์ผลการทดลอง                           | 62   |
| สรุปและข้อเสนอแนะ                           | 64   |
| สรุป  | 64   |
| ข้อเสนอแนะ                                  | 64   |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง                        | 66   |
| ภาคผนวก                                     | 68   |
| ภาคผนวก ก ตารางคุณสมบัติของวัสดุ            | 69   |
| ภาคผนวก ข การคำนวณการปะทะในแบบต่างๆ         | 72   |
| ภาคผนวก ค ตัวอย่างการตั้งค่าตัวแปรในโปรแกรม | 80   |
| ภาคผนวก ง มิติกงกันชนทั้ง 2 แบบ             | 84   |
| ประวัติการศึกษาและการทำงาน                  | 87   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่            |  | หน้า |
|---------------------|--|------|
| 1                   | ตารางแสดงหน่วยที่ใช้งานในโปรแกรม                         | 42   |
| 2                   | กรณีปะทะแบบตั้งฉากในโมเดล A                              | 56   |
| 3                   | กรณีปะทะแบบตั้งฉากในโมเดล B                              | 57   |
| 4                   | กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศาในโมเดล A                        | 57   |
| 5                   | กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศาในโมเดล B                        | 57   |
| <b>ตารางผนวกที่</b> |  |      |
| ก1                  | ความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดของวัสดุ ASTM A36       | 70   |
| ก2                  | ความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดของวัสดุอลูมิเนียม 6061 | 70   |
| ก3                  | คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ 2 ชนิด                        | 71   |
| ก4                  | สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นผิว                   | 71   |
| ก5                  | คุณสมบัติของหน้าตัดคาน                                   | 71   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |  | หน้า |
|--------|--|------|
| 1      | ระบบของกันชนที่มีในปัจจุบัน                      | 7    |
| 2      | ลูกตุ้มทดสอบแบบที่ 1                             | 9    |
| 3      | ลูกตุ้มทดสอบแบบที่ 2                             | 10   |
| 4      | อุปกรณ์ยึดติดลูกตุ้ม ขณะทดสอบ                    | 13   |
| 5      | แสดงความเค้นตั้งฉากที่เกิดในชิ้นงาน              | 17   |
| 6      | แสดงความเค้นเฉือนในชิ้นงาน                       | 18   |
| 7      | แสดงความเค้น ความเครียดในส่วนย่อยเล็กๆ           | 19   |
| 8      | ความเครียดแสดงใน 2 มิติ                          | 19   |
| 9      | แสดงความเค้นหลักในแกน x y                        | 22   |
| 10     | พฤติกรรมของวัสดุเหนียว                           | 24   |
| 11     | คานเมื่อมีภาระค้ำกระทำ                           | 24   |
| 12     | ความเค้นที่เกิด เมื่อคานถูกภาระค้ำ               | 25   |
| 13     | ความเค้นที่กระทำในส่วนเล็กๆภายในคาน              | 26   |
| 14     | การยึดตัวในมิติเดียว                             | 28   |
| 15     | แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย               | 33   |
| 16     | รถยนต์ Toyota Tiger                              | 34   |
| 17     | รถยนต์ Nissan Big-M                              | 34   |
| 18     | แผนภาพแสดงกรณีทดสอบปะทะแบบตั้งฉาก                | 35   |
| 19     | แผนภาพแสดงกรณีทดสอบปะทะแบบทำมุม 60 องศา          | 36   |
| 20     | แสดงแผ่นบางปะทะด้วยลูกตุ้ม                       | 37   |
| 21     | แสดงขนาดและพื้นที่หน้าตัดของแผ่นบาง              | 38   |
| 22     | การวางตำแหน่งของลูกตุ้ม และแผ่นบาง               | 39   |
| 23     | แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นขณะจำลองการชน ในโปรแกรม      | 40   |
| 24     | แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการตั้งค่าในโปรแกรมออบาคัส | 43   |
| 25     | ลูกตุ้มตามมาตรฐานอเมริกา                         | 44   |
| 26     | แบบลูกตุ้มที่ใช้ในการทดสอบใน โปรแกรม             | 44   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ |   | หน้า |
|--------|---|------|
| 27     | รูปกันชนแบบ A ที่ใช้ทดสอบ                                   | 45   |
| 28     | รูปกันชนแบบ A ที่ใช้ทดสอบ (เพิ่มเติม)                       | 45   |
| 29     | กันชนแบบ B ที่ใช้ทดสอบ                                      | 46   |
| 30     | กันชนแบบ B ที่ใช้ทดสอบ (เพิ่มเติม)                          | 46   |
| 31     | แสดงการชนในแนวตั้งฉาก                                       | 47   |
| 32     | แสดงการชนในแนวทำมุม 60 องศา                                 | 47   |
| 33     | การกำหนดเวลาการจำลองทั้งหมด                                 | 48   |
| 34     | การตั้งค่าผลลัพธ์ที่ต้องการทราบ                             | 49   |
| 35     | การตั้งค่าคุณสมบัติระหว่างพื้นผิว                           | 50   |
| 36     | แสดงการเลือกพื้นผิวที่ทำการปะทะ                             | 50   |
| 37     | แสดงรูปแบบการรองรับและทิศทางการปะทะ                         | 51   |
| 38     | แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ของชิ้นงาน                              | 52   |
| 39     | แสดงการตั้งค่าก่อนการวิเคราะห์ผล                            | 52   |
| 40     | แสดงการเปลี่ยนแปลงความเค้นที่เกิดขึ้นบนกันชน                | 53   |
| 41     | การเลือกค่าผลลัพธ์ที่ต้องการทราบ                            | 54   |
| 42     | แสดงความเค้นสูงสุดที่เกิดในกันชน โมเดล A                    | 55   |
| 43     | แสดงความเค้นสูงสุดที่เกิดในกันชน โมเดล B                    | 56   |
| 44     | กรณีปะทะแบบตั้งฉาก แสดงความเค้นกับความหนาของกันชน           | 58   |
| 45     | กรณีปะทะแบบตั้งฉาก แสดงระยะยุบตัวกับความหนาของกันชน         | 58   |
| 46     | กรณีปะทะแบบตั้งฉาก แสดงแรงปฏิกิริยากับความหนาของกันชน       | 59   |
| 47     | กรณีปะทะแบบตั้งฉาก แสดงแรงปะทะกับความหนาของกันชน            | 59   |
| 48     | กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศา แสดงความเค้นกับความหนาของกันชน     | 60   |
| 49     | กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศา แสดงระยะยุบตัวกับความหนาของกันชน   | 60   |
| 50     | กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศา แสดงแรงปฏิกิริยากับความหนาของกันชน | 61   |
| 51     | กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศา แสดงแรงปะทะกับความหนาของกันชน      | 61   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพผนวกที่ |  | หน้า |
|------------|--|------|
| ข1         | แรงเฉือนและโมเมนต์คดในคานสมมาตร มีโหลดกระทำที่กึ่งกลาง | 73   |
| ข2         | การยุบตัวของมวลและสปริง                                | 74   |
| ข3         | การโก่งตัวของคานเมื่อมีโหลดตกมากระทำ                   | 75   |
| ข4         | การจำลองการชนของรถยนต์ในรูปแบบมวลและสปริง              | 76   |
| ข5         | คานสมมาตรมีโหลดกระทำ 2 จุด                             | 78   |
| ง1         | ขนาดกันชนแบบ A มุมมองด้านหน้า                          | 85   |
| ง2         | ขนาดกันชนแบบ A มุมมองด้านบน                            | 85   |
| ง3         | ขนาดกันชนแบบ B มุมมองด้านหน้า                          | 86   |
| ง4         | ขนาดกันชนแบบ B มุมมองด้านบน                            | 86   |

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

|                     |   |  |
|---------------------|---|--|
| R                   | = | รัศมีส่วนโค้ง  |
| kg                  | = | กิโลกรัม   |
| ASTM                | = | สมาคมวิชาชีพ ทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่กำหนด และจัดทำมาตรฐาน (American Society for Testing and Materials) |
| mm                  | = | มิลลิเมตร  |
| MPa                 | = | Mega Pascal  |
| GPa                 | = | Giga Pascal  |
| CNORMF              | = | แรงปะทะแบบตั้งฉาก (contact normal force)   |
| $S_{,mises}$        | = | ความเค้นวอนมิส (von mise stress)   |
| NHTSA               | = | สมาคมเพื่อความปลอดภัยบนท้องถนนแห่งชาติ (National Highway Traffic Safety Administration)                            |
| E                   | = | ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus)   |
| $\nu$               | = | อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio)  |
| G                   | = | ค่ามอดูลัสความแข็งเกร็ง (Modulus of rigidity)  |
| NA                  | = | แกนสะเทิน (Neutral Axis)   |
| $\{F\}$             | = | เมทริกซ์รวมของแรงที่จุดต่อ   |
| $[K]$               | = | สทิจเฟเนสเมทริกซ์รวมของระบบ  |
| $\{d\}$             | = | เมทริกซ์รวมของการกระจัดของระบบ   |
| $[M]$               | = | เมทริกซ์มวล  |
| $[C]$               | = | เมทริกซ์ของความหน่วง   |
| $\{\ddot{\delta}\}$ | = | เมทริกซ์ความเร่ง   |
| $\{\dot{\delta}\}$  | = | เมทริกซ์ความเร็ว   |
| $\{\delta\}$        | = | เมทริกซ์การกระจัด  |
| $\{F(t)\}$          | = | แรงทุกชนิดที่มากกระทำหรือเกิดขึ้นบนตัววัตถุ  |
| w                   | = | น้ำหนักของลูกตุ้ม มีหน่วยเป็นนิวตัน  |
| $\delta_{st}$       | = | ระยะ โกงตัวอันเนื่องมาจากภาระสถิต  |
| v                   | = | ความเร็วปะทะ หน่วยเป็นเมตรต่อวินาที  |
| I                   | = | ความโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด   |

## การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์กันชนในรถกระบะขนาดเล็ก

### An Application of Computer Aided Design and Engineering on the Light Truck

#### คำนำ

รถยนต์จัดว่าเป็นพาหนะที่มีความสำคัญอย่างมากต่อชีวิตประจำวันในปัจจุบัน และการเกิดอุบัติเหตุทางรถยนต์ในบางครั้งก็เป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ รถยนต์ที่ดีจึงต้องมีอุปกรณ์ป้องกันปกป้องความเสียหายอันเกิดจากอุบัติเหตุให้มากที่สุด กันชนหน้ารถยนต์เป็นส่วนที่สำคัญในระบบป้องกันอุบัติเหตุ ในการปะทะของรถยนต์ที่ความเร็วต่ำ กันชนจะเป็นตัวดูดซับพลังงานไม่ให้เกิดความเสียหายแก่ตัวถังรถยนต์รวมถึงตัวผู้ขับขี่ โดยทั่วไปนั้นกันชนของรถยนต์ถูกสร้างขึ้นมาจากวัสดุหลาย ๆ ประเภท เช่น โลหะ วัสดุประกอบ เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยนั้น รถยนต์กระบะขนาดเล็กได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากปัจจัยทางด้านราคาและความเหมาะสมต่อการใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศ โดยทั่วไปแล้วนั้นบริษัทผู้ผลิตได้ติดตั้งกันชนมาจากโรงงาน แต่ผู้ขับขี่ส่วนใหญ่ก็ยังไม่ทราบถึงประสิทธิภาพของกันชนนั้น ๆ ยังไม่มีข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และทดสอบโดยตรงจากผู้ผลิต

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของกันชนหน้าที่เป็นโลหะของรถกระบะขนาดเล็ก โดยพิจารณาปัจจัยทางด้านคุณสมบัติของวัสดุที่มีรวมถึงรูปร่างและความหนาของกันชน ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการออกแบบและผลิตกันชนโลหะในรถกระบะขนาดเล็กที่มีความแข็งแรงทนทานตามมาตรฐาน ทั้งยังมีน้ำหนักเบาอันจะทำให้การใช้รถยนต์ของผู้ขับขี่มีความปลอดภัยและยังเป็นการช่วยประหยัดน้ำมัน ซึ่งเป็นปัญหาทางพลังงานที่สำคัญในปัจจุบันในอีกทางหนึ่งด้วย โดยงานวิจัยนี้มีการนำเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ช่วยงานออกแบบและวิเคราะห์ (Computer Aided Design/Computer Aided Engineering, CAD/CAE) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของกันชนและตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นหลังจากการชน

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบกันชนหน้ารถกระบะขนาดเล็ก
2. ศึกษามาตรฐาน และกฎข้อบังคับสำหรับกันชนหน้าในรถยนต์กระบะขนาดเล็ก
3. ศึกษาผลกระทบจากรูปทรง ความหนา รวมถึงชนิดวัสดุของกันชนที่มีต่อความแข็งแรงของกันชนในรถยนต์กระบะขนาดเล็ก

## ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาความแข็งแรงของกันชน ที่ความหนาของกันชน 2 4 และ 6 มิลลิเมตร
2. เปรียบเทียบความแข็งแรงของกันชน ระหว่างวัสดุเหล็กและอลูมิเนียม
3. ศึกษารูปทรงของกันชนที่แตกต่างกัน 2 แบบ
4. อ้างอิงมาตรฐานความปลอดภัยของสหรัฐอเมริกา NHTSA (49CFD)

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถช่วยให้การออกแบบกันชนรถยนต์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และมีแนวทางเลือกใช้งานกันชนรถยนต์อย่างเหมาะสม ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งในด้านความปลอดภัยแก่ชีวิตและทรัพย์สินและการประหยัดพลังงานของยานพาหนะ นอกจากนี้ยังช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบกันชนรถยนต์ รวมถึงลดความสิ้นเปลืองในการทดสอบมาตรฐานกันชนในหลาย ๆ กรณี

## การตรวจเอกสาร

Cheon et al. (1995) ได้ทำการศึกษาข้อดีของกันชนแบบมีท่อเหล็กภายในที่มีความสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าแบบไม่มีท่อภายใน อย่างไรก็ตามกันชนแบบมีท่อเหล็กภายในจะมีน้ำหนักมากกว่าแบบกันชนธรรมดาถึง 20.40 กิโลกรัม ต่อมาได้มีการพัฒนาท่อภายในกันชนที่ทำจากวัสดุประกอบ 3 ชั้น และใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของกันชน พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับทดสอบจริง เพื่อประกอบการพิจารณาโดยมีการวิเคราะห์เงื่อนไขขอบสองลักษณะด้วยกัน ได้แก่ ในขณะที่ปลายกันชนไม่สัมผัสสิ่งใด ๆ และในขณะที่ปลายกันชนสัมผัสขอบล้อรถและส่วนที่ลาดชันของปลายกันชน ผลการวิจัยพบว่า ที่ความยาวช่วงลาดเอียงปลายกันชน 20 มิลลิเมตรต่อ 3 ชั้นโยนนั้นให้ความสามารถดูดซับพลังงานมากที่สุด และยังพบว่าการพัฒนากันชนจากวัสดุประกอบนี้ที่มีน้ำหนักลดลงถึง 30% โดยมีความแข็งแรงเทียบเท่ากันชนโลหะ

Hosseninzadeh et al. (2004) ศึกษาถึงปัจจัยในการออกแบบกันชนนํารถยนต์ เช่น ภาพทรง วัสดุ และสภาวะการชน โดยงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกันชนโลหะชนิดเหล็กและอลูมิเนียม รวมถึงวัสดุจำพวก GMT (Glass Mat Thermoplastic) และ SMC (Sheet Molding Compound) เพื่อมุ่งประโยชน์ในด้านการผลิตที่ง่ายขึ้น จากงานวิจัยพบว่า วัสดุโลหะทั้งสองชนิดข้างต้น ที่ถูกผลิตขึ้นโดยไม่มีครีบริบเสริมความแข็งแรงภายในจะมีโอกาสสูงในการเกิดความเสียหายขึ้น และเมื่อเปลี่ยนวัสดุเป็น GMT แล้วทดสอบที่ทั้ง 3 กรณีคือ ในกรณีที่ไม่มีครีบริบเสริม ในกรณีที่มีครีบริบ และกรณีที่มีครีบริบพร้อมผู้โดยสาร ก็ยังไม่สามารถทนต่อการชนได้ต่อมาเมื่อเปลี่ยนวัสดุมาเป็น SMC ซึ่งมีความแข็งแรงกว่าสามารถออกแบบกันชนให้ไม่มีครีบริบเสริมความแข็งแรง โดยการเพิ่มความหนาเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้สามารถทนต่อแรงปะทะได้

Li et al. (2003) ได้สำรวจและพบว่ากันชนรถยนต์ที่เป็นโลหะนั้น ส่วนใหญ่ซึ่งเป็นวัสดุจำพวกเหล็กเหนียว (Mild Steel) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีความพยายามในการใช้เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (High Strength Steel) มาทดแทนการใช้เหล็กเหนียว โดยทำการคำนวณความหนาของวัสดุจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หลังจากนั้นก็นำมาทดสอบด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากผลการทดสอบชี้ว่าภาพแบบการดูดซับพลังงานของโลหะทั้ง 2 แบบยังคงเดิมแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงอาจสรุปได้ว่า การทดแทนเหล็กเหนียวด้วยเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงไม่ทำให้ความสามารถการรับแรงชนลดลง แต่สามารถลดน้ำหนักของรถยนต์ลงได้

Brewer (2000) ศึกษาการจำลองโมเดลรถกระบะขนาดเล็ก 2 รุ่นด้วยกัน คือ Chevrolet C1500 และ Ford Crown Victoria โดยการวิเคราะห์แยกเป็น ทั้งแบบมุมปะทะ และแบบมีระยะเหลื่อม (Offset) โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ตัวแปรทางจลนศาสตร์ พลังงานและการเปลี่ยนภาพ รวมถึงความบาดเจ็บที่เกิดขึ้นจากการปะทะดังภาพที่แบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถตรวจสอบจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณความเร่งที่ตัวแบบจำลอง ผลของงานวิจัยสรุปได้ว่า ค่า HIC (Head Injury Criterion) จะลดลงเมื่อระยะปะทะเหลื่อมกันน้อยลง

Thole and Mei (2003) ศึกษาการจำลองการชนของรถยนต์ที่ไม่มีเสถียรภาพเนื่องจากระยะขุดตัวไม่เท่ากันขณะการจำลองในแต่ละครั้ง แม้ว่ากำหนดค่าที่ป้อนเข้าไปแล้วก็ตาม จึงมีการใช้โปรแกรม DIFF CRASH เพื่อทำการวิเคราะห์โดยทำการทดลองที่โมเดลรถ 2 รุ่นด้วยกัน ดังนั้นอาจแก้ไขเพื่อให้เกิดเสถียรภาพขณะทำการจำลองได้ โดยการปรับเปลี่ยนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บ้างเพียงเล็กน้อย

Yang et al. (1999) ศึกษาการจำลองการชนที่ส่วนกันชนหน้า โดยใช้โปรแกรม iSIGHT ส่วนปัญหาไม่เชิงเส้นและช่วง Transient ถูกแก้ปัญหาโดยโปรแกรม Fcrash จากแบบจำลองเชิงตัวเลข 3 ชนิดด้วยกันคือ Gradient Based, DPG และ DPR ด้วยการแปรผันค่าความหนา ค่าความเค้นคราก พบว่าค่าแบบจำลองเชิงตัวเลข Gradient Based เป็นภาพแบบที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาการชนของกันชน

Warren and Ephraim (1987) กล่าวถึงมาตรฐานกันชนรถยนต์ที่สถาบัน National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) ได้กล่าวว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วปะทะในแนวตามยาวจาก 5 ไมล์/ชั่วโมง ไปยัง 2.5 ไมล์/ชั่วโมง ระยะที่ยับตัวจากเดิมต้องไม่เกิน 0.375-0.75 นิ้ว

Sharpe and Houtzager (2001) ทำการวิเคราะห์การชนที่ด้านหน้าของรถยนต์ทั้งในแบบที่เป็นแบบจำลองในคอมพิวเตอร์และทำการทดลองจริงเพื่ออ้างอิงผล โดยใช้ชื่อโครงการ ECOFRONT มีการทำนายการเพิ่มประสิทธิภาพการชนโดยไม่เพิ่มน้ำหนักของกันชน ผลการวิจัยพบว่า กันชนสามารถดูดซับแรงกระแทกในภาวะกระทำที่กำหนดได้ และมีเส้นทางการส่งผ่านแรงสู่ห้องโดยสารหลาย ๆ จุด ตามมาตรฐาน ECE R42 ที่ความเร็วปะทะ 15 กิโลเมตร/ชั่วโมง และ 56 กิโลเมตร/ชั่วโมง มีการเปรียบเทียบผลเป็นกราฟการดูดซับพลังงานที่เวลาต่าง ๆ รวมถึงพิจารณาการซับแรงในแนวตามยาวที่อาศัยการโค้งงอของท่อขณะชน

Hew and Sung (1993) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของกันชนหน้ารถยนต์ในด้านความแข็งแรง ความหน่วงและพลังงานที่ดูดซับโดยกันชน ระหว่างการทดสอบตามมาตรฐานระหว่างประเทศ โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนท์เอลิเมนต์ช่วยทำการวิเคราะห์ แล้วอ้างอิงผลกับการทดสอบจริงพบว่า การใช้ภาพแบบกันชนแบบสามัญ เทียบกับภาพแบบกันชนมีที่รายละเอียดสูง และการทดสอบจริงให้ผลไม่แตกต่างกันมากนัก จึงช่วยลดระยะเวลาและงบประมาณในการออกแบบวิเคราะห์กันชนของรถยนต์

Reid (1996) ศึกษาความเสริมแรงที่กันชนหน้ารถยนต์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการดูดซับพลังงานจากการปะทะของรถยนต์ โดยศึกษาภาพแบบกันชนที่แตกต่างกัน 3 แบบ ทั้งความหนาและขนาดของกันชน โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์มาทำการวิเคราะห์ร่วมด้วย จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นทุก 10% จะทำให้มีความสามารถในการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้น 14% และเมื่อวัสดุมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นทุก 10% จะทำให้มีความสามารถในการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้น 7.3%

### ความสำคัญของกันชนโลหะ

ในปี 1997 ทวีปอเมริกาเหนือได้บริโภคกันชนไปกว่า 2.8 ล้านชิ้น 76% ของกันชนนั้นเป็นเหล็ก 17.6% เป็นวัสดุประกอบ และ 6.4% เป็นอลูมิเนียม ประเมินการว่า กันชนเหล็ก 11.5 ล้านใช้ภาพแบบกันชนเสริมแรง และห่อหุ้มด้วยพลาสติกกันชน 5.7 ล้านชิ้นเป็นกันชนเดี่ยวและห่อหุ้มด้วยโครเมียม และที่เหลือกว่า 4 ล้านชิ้น เป็นกันชนท่อแบบทำสี

เมื่อพิจารณาจากขั้นตอนการผลิต 60% ของกันชนเหล็กใช้วิธีปั๊มขึ้นภาพ และอีกกว่า 40% เป็นการม้วนขึ้นภาพ ประเมินว่าเหล็กกว่า 300,000 ตัน ได้ใช้ไปในปี 1997

ระบบกันชนได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วในช่วง 20-30 ปีมานี้ เมื่อถูกข้อบังคับเรื่องความปลอดภัยได้เปลี่ยนไป เราจึงเห็นว่ากันชนมีทั้งภาพแบบแปลก ๆ ใหม่ ๆ เพิ่มมากขึ้น อย่างเช่น กันชนเสริมแรงที่ห่อหุ้มด้วยพลาสติก

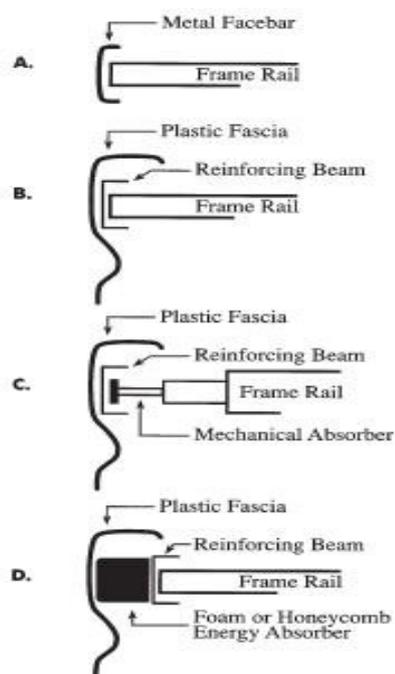
การเจริญเติบโตของรถกระบะขนาดเล็ก รถเนกประสงค์ ได้แบ่งแยกระบบของกันชนเป็น 2 ภาพแบบด้วยกันคือ 1.กันชนสำหรับรถเก๋งส่วนบุคคล 2.รถกระบะขนาดเล็ก

วัสดุที่ใช้ทำกันชนก็มีมากมายหลายภาพแบบ เพื่อตอบสนองสมรรถนะของรถยนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประหยัคน้ำมัน น้ำหนักเป็นปัจจัยหลักที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก เหล็กแรงต้านทานสูง จึงได้ถูกพัฒนาเพื่อนำมาใช้งาน เพื่อให้สามารถออกแบบให้ความหนาของกันชนลดลง น้ำหนักลดลง วัสดุเหล็กที่ใช้ผลิตกันชน โดยทั่วไปพบในตาราง เหล็กแรงยึดสูง มักใช้ในการทำขายึดหรือจุดรองรับกันชน

มีกลไกหลายอย่างที่วิศวกรพิจารณา เมื่อต้องเลือกภาพแบบของกันชนและตัวแปรที่สำคัญที่สุด ก็คือความสามารถในการดูดซับพลังงานว่าเป็นไปตามมาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นหรือไม่ และประเด็นทางด้านน้ำหนักก็ต้องคำนึงถึงด้วยเช่นเดียวกัน ในแง่ของต้นทุนและการผลิต

นอกจากนี้กันชน ยังแบ่งย่อยออกเป็น 4 รูปแบบด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 1 คือ

1. กันชนเหล็กแผ่นชิ้นเดียว (Metal facebar)
2. กันชนพลาสติกพร้อมคานเสริมแรง (Plastic fascia and reinforcing beam)
3. กันชนพลาสติกพร้อมคานเสริมแรงและอุปกรณ์ทางกลดูดซับพลังงาน (Plastic fascia, reinforcing beam and mechanical energy absorbers)
4. กันชนพลาสติกพร้อมคานเสริมแรงและโครงสร้างรวงผึ้งดูดซับพลังงาน (Plastic fascia, reinforcing beam and foam or honeycomb energy absorbers)



ภาพที่ 1 ระบบของกันชนที่มีในปัจจุบัน

ที่มา: American Iron and Steel Institute (2003)

### มาตรฐานของกันชนหน้าและหลัง

#### 1. US NHTSA (49CFD)

เงื่อนไขที่จำเป็น

วิธีการทดสอบการชนมี 3 วิธี

- 1) การปะทะ โดยใช้ลูกตุ้มที่บริเวณมุมรถ
- 2) การปะทะ โดยใช้ลูกตุ้มที่บริเวณตามยาวรถ
- 3) การชน โดยมีสิ่งกีดขวางอยู่กับที่

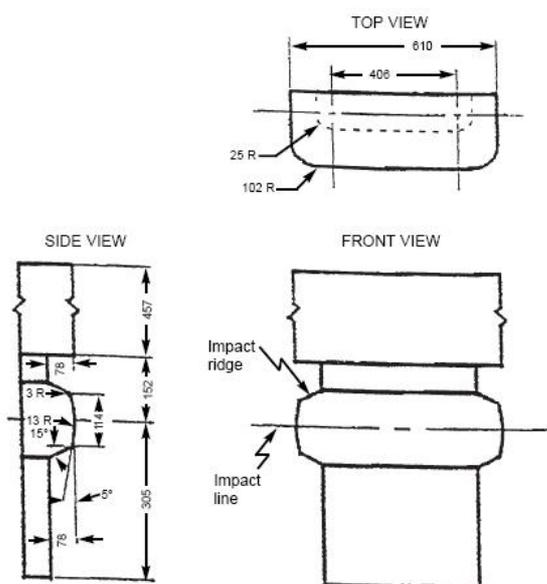
หลังจากถูกทดสอบดังกล่าว ความเสียหายที่ยอมรับได้ มีดังนี้

- 1) อุปกรณ์ไฟตาหน้าและโคมไฟสะท้อนแสง ยกเว้นไฟส่องป้ายทะเบียนจะต้องไม่เกิดรอยร้าว และยังสามารถใช้งานได้
  - 2) ฝากระโปรง ประตู ต้องเปิดใช้งานได้ปกติ
  - 3) ระบบเชื้อเพลิงและหล่อเย็น จะต้องไม่เกิดการรั่วของของเหลว และซีล ทุกตำแหน่งยังสามารถใช้งานได้
  - 4) ระบบท่อไอเสียจะต้องไม่รั่ว หรือเสียหาย
  - 5) ก้านสะท้อน ชุดเลี้ยวและเบรก ยังต้องสามารถปรับแต่งและทำงานได้ดี
  - 6) ถังแรงดันที่ใช้ในการดูดซับพลังงานจากการชน ก๊าซที่อยู่ภายในจะต้องไม่เกิดการรั่วซึม
  - 7) รถที่ทำการทดสอบจะต้องไม่สัมผัสกับอุปกรณ์ทดสอบ ยกเว้นแต่อุปกรณ์ในภาพที่ 2 และ 3 ด้วยแรงที่เกิน 2000 ปอนด์ (907 กิโลกรัม) บนพื้นสัมผัสผสมระหว่าง A และ B
  - 8) ผิวภายนอกรถต้องไม่มีส่วนที่แยกจากกัน รวมถึงสีและวัสดุปกคลุมพื้นผิวรถ หลังจาก 30 นาทีที่ทำการทดสอบ
- นอกเหนือจากข้อ 8 นี้เอง สกรูที่ใช้จับยึดต้องไม่คลายหรือแตกหัก

การปะทะโดยใช้ลูกตุ้ม กระทำที่มุมกันชน (pendulum corner impacts)

- ความเร็วปะทะ 1.5 ไมล์ต่อชั่วโมง (2.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- มุมด้านหน้าที่ทำการชน ที่ความสูงจากพื้น 20 นิ้ว (500 มิลลิเมตร) ด้วยลูกตุ้ม

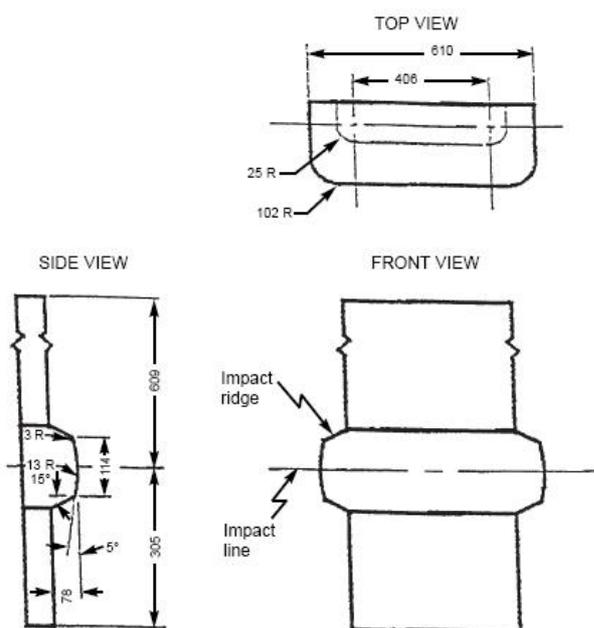
ในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลูกตุ้มทดสอบแบบที่ 1

ที่มา: American Iron and Steel Institute (2003)

- มุมด้านหน้าที่ทำการชน ที่ความสูงจากพื้น 16-20 นิ้ว (400-500 มิลลิเมตร) ด้วยลูกตุ้ม ในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ลูกตุ้มทดสอบแบบที่ 2

ที่มา: American Iron and Steel Institute (2003)

- มุมด้านหลังที่ทำการชน ที่ความสูงจากพื้น 20 นิ้ว (500 มิลลิเมตร) ด้วยลูกตุ้มในภาพที่ 2
- มุมด้านหลังที่ทำการชน ที่ความสูงจากพื้น 16-20 นิ้ว (400-500 มิลลิเมตร) ด้วยลูกตุ้มในภาพที่ 3
- ระยะเวลาแกว่งของลูกตุ้มทำมุม 60 องศา กับแนวตามยาวรถ
- การชนต้องกระทำทิ้งช่วงห่างกัน ไม่น้อยกว่า 30 นาที
- มวลของลูกตุ้มเท่ากับมวลของรถทั้งคัน
- ขอยึดแผ่นป้ายทะเบียนและชุดล้า่งไฟตา ต้องทำการถอดออก รวมถึงไฟตัดหมอกที่ยึดกับกันชน ถ้าเป็นอุปกรณ์เสริมให้ทำการถอดออก

การปะทะโดยใช้ลูกตุ้ม กระทำที่แนวตั้งฉากกับกันชน (pendulum longitudinal impacts)

- ความเร็วปะทะ 2.5 ไมล์ต่อชั่วโมง (4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- เส้นการปะทะด้านหน้าที่ทำการชน ที่ความสูงจากพื้น 20 นิ้ว (500 มิลลิเมตร) ด้วยลูกตุ้มในภาพที่ 2 กรณี ที่ความสูงจากพื้น 16-20 นิ้ว (400-500 มิลลิเมตร) จะใช้ลูกตุ้มในภาพที่ 3
- เส้นการปะทะด้านหลังที่ทำการชน ที่ความสูงจากพื้น 20 นิ้ว (500 มิลลิเมตร) ด้วยลูกตุ้มในภาพที่ 2 กรณีที่ความสูงจากพื้น 16-20 นิ้ว (400-500 มิลลิเมตร) จะใช้ลูกตุ้มในภาพที่ 3
- สำหรับการชนในแต่ละครั้ง เส้นการปะทะ
- การชนต้องกระทำทิ้งช่วงห่างกันไม่น้อยกว่า 30 นาที
- มวลของลูกตุ้มเท่ากับมวลของรถทั้งคัน
- ขอยึด แผ่นป้ายทะเบียนและชุดล้า่งไฟตา ต้องทำการถอดออก รวมถึงไฟตัดหมอกที่ยึดกับกันชน ถ้าเป็นอุปกรณ์เสริมให้ทำการถอดออก

การปะทะกับกำแพงยึดนิ่งอยู่กับที่ (impacts into a fixed collision barrier)

- ความเร็วที่ทำการปะทะ 2.5 ไมล์ต่อชั่วโมง (4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- การชนกับสิ่งกีดขวางที่ตั้งฉากกับเส้นทางตามแนวยาวรถในทิศทางด้านหน้า
- การชนกับสิ่งกีดขวางที่ตั้งฉากกับเส้นทางตามแนวยาวรถในทิศทางด้านหลัง

- ขอยึด แผ่นป้ายทะเบียนและชุดล้าไฟตาต้องทำการถอดออก รวมถึงไฟตัดหมอกที่ยึดกับกันชน ถ้าเป็นอุปกรณ์เสริมให้ทำการถอดออก

## 2. Canadian Motor Vehicle Safety regulations Standard 215

เงื่อนไขที่จำเป็น

วิธีการทดสอบการชนมี 3 วิธี

- 1) การปะทะโดยใช้ลูกตุ้มที่บริเวณมุมรถ
- 2) การปะทะโดยใช้ลูกตุ้มที่บริเวณตามยาวรถ
- 3) การชนโดยมีสิ่งกีดขวางอยู่กับที่

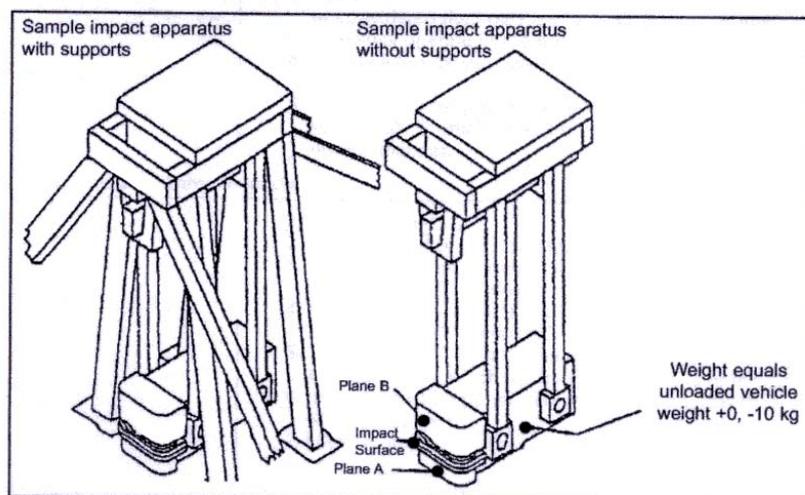
หลังจากถูกทดสอบดังกล่าว ความเสียหายที่ยอมรับได้ มีดังนี้

- 1) ไฟหน้าและอุปกรณ์สะท้อนแสง ยกเว้นแผ่นป้ายทะเบียน จะต้องไม่เกิดการแตกร้าวและยังคงสภาพใช้งานได้
- 2) ฝากระโปรงรถยนต์ รวมถึงประตูข้างต้องสามารถทำงานเปิด ปิดได้ตามปกติ
- 3) ระบบจ่ายเชื้อเพลิงและระบบหล่อเย็นต้องไม่เกิดการรั่วไหล หรือไปหน่วงให้ของไหลเดินไม่สะดวก ซิลยางและฝาปิด ต้องใช้งานได้ปกติ
- 4) ไม่มีการอันหรือรั่วไหล ที่ระบบท่อไอเสีย
- 5) ระบบขับเคลื่อน ระบบกันสะเทือน ชุดบังคับเลี้ยวและระบบเบรกจะต้องสามารถปรับต่างและทำงานได้ตามปกติ

การปะทะโดยใช้ลูกตุ้ม กระทำที่มุมกันชน (pendulum corner impacts)

- 1) ใช้อุปกรณ์ดังที่เห็นในภาพที่ 4

### SAMPLE IMPACT APPARATUS



#### NOTES:

1. Drawing not to scale.
2. The arc described by any point on impact line shall be constant with a minimum radius of 3.3 m and lie in a plane perpendicular to Plane A.

Source: Transport Canada, Safety and Security

#### ภาพที่ 4 อุปกรณ์ยึดติดลูกตุ้ม ขณะทดสอบ

ที่มา: American Iron and Steel Institute (2003)

2) ความเร็วปะทะ 4.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (3.0 ไมล์ต่อชั่วโมง)

3) มุมด้านหน้าที่ทำการชน ที่ความสูงจากพื้น 20 นิ้ว (500 มิลลิเมตร) ด้วยลูกตุ้ม  
ในภาพที่ 2

4) มุมด้านหลังที่ทำการชน ที่ความสูงจากพื้น 20 นิ้ว (500 มิลลิเมตร) ด้วยลูกตุ้ม  
ในภาพที่ 2

5) ระนาบของลูกตุ้มที่ทำการชน ทำมุม 60 องศา กับแนวตามยาวของรถยนต์

6) การชนต้องกระทำทิ้งช่วงห่างกันไม่น้อยกว่า 30 นาที

7) มวลของลูกตุ้มเท่ากับมวลของรถทั้งคัน

8) ขอยึดแผ่นป้ายทะเบียนและชุดล้าไฟตา ต้องทำการถอดออก รวมถึงไฟตัดหมอกที่ยึดกับกันชน ถ้าเป็นอุปกรณ์เสริมให้ทำการถอดออก

การปะทะโดยใช้ลูกตุ้ม กระทำที่แนวตั้งฉากกับกันชน (pendulum longitudinal impacts)

1) ใช้อุปกรณ์ดังที่เห็นในภาพที่ 4

2) ความเร็วปะทะ 8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (5.0 ไมล์ต่อชั่วโมง)

3) ทำการปะทะที่พื้นผิวด้านหน้าโดยใช้ลูกตุ้ม ในภาพที่ 3 ทั้งในแบบชนตั้งฉากและทำมุม

4) ทำการปะทะที่พื้นผิวด้านหลังโดยใช้ลูกตุ้ม ในภาพที่ 3 ทั้งในแบบชนตั้งฉากและทำมุม

5) เส้นแนวการชนอาจอยู่สูงระหว่าง 500 มิลลิเมตร ถึง 400 มิลลิเมตร (16 นิ้วถึง 20 นิ้ว)

6) ระนาบ A ต้องตั้งฉากกับแนวตามยาวของรถยนต์

7) การชนแต่ละครั้งเส้นแนวปะทะ ต้องห่างอย่างน้อย 50 มิลลิเมตรในแนวตั้งจากตำแหน่งใด ๆ ก่อนปะทะ ยกเว้นเมื่อที่จุดกึ่งกลางเส้นแนวปะทะของการชนยาวมากกว่า 300 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) จากแนวลำตัว ที่ตำแหน่ง ๆ ใด ก่อนการปะทะ

8) การชนต้องกระทำทิ้งช่วงห่างกันไม่น้อยกว่า 30 นาที

9) มวลของลูกตุ้มเท่ากับมวลของรถทั้งคัน

10) ขอยึด แผ่นป้ายทะเบียนและชุดล้าไฟตา ต้องทำการถอดออก รวมถึงไฟตัดหมอกที่ยึดกับกันชน ถ้าเป็นอุปกรณ์เสริมให้ทำการถอดออก

การปะทะกับกำแพงยึดนิ่งอยู่กับที่ (impacts into a fixed collision barrier)

- 1) ความเร็วที่ทำการปะทะ 8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (5.0 ไมล์ต่อชั่วโมง)
- 2) การชนกับสิ่งกีดขวางที่ตั้งฉากกับเส้นทางตามแนวยาวรถ ในทิศทางด้านหน้า
- 3) การชนกับสิ่งกีดขวางที่ตั้งฉากกับเส้นทางตามแนวยาวรถ ในทิศทางด้านหลัง

4) ขอยึด แผ่นป้ายทะเบียนและชุดล้าไฟตาต้องทำการถอดออก รวมถึงไฟตัดหมอกที่ยึดกับกันชน ถ้าเป็นอุปกรณ์เสริมให้ทำการถอดออก

### 3. Insurance Institute for Highway Safety: Low –Speed Crash Test Protocol

เงื่อนไขที่จำเป็น

ทดสอบ 4 ลักษณะดังนี้

- 1) ด้านหน้ากับสิ่งกีดขวางชนิดเรียบ เต็มหน้าความยาว
- 2) ด้านหลังกับสิ่งกีดขวางชนิดเรียบ เต็มหน้าความยาว
- 3) ด้านหน้าขวา กับสิ่งกีดขวางที่ทำมุม 30 องศา
- 4) ด้านหลังชนปะทะกับเสา

รถยนต์ที่ทำการทดสอบ (test vehicle)

1) รถคันแรกใช้ในการชนด้านหน้ากับสิ่งกีดขวางชนิดเรียบ เต็มหน้าความยาว และด้านหลังชนปะทะกับเสา รถคันต่อมาด้านหน้าขวา กับสิ่งกีดขวางที่ทำมุม 30 องศา และด้านหลังกับสิ่งกีดขวางชนิดเรียบ เต็มหน้าความยาว

2) แผ่นป้ายทะเบียนหน้าและหลังทำการถอดออก รวมถึงอุปกรณ์เสริมและอุปกรณ์จับยึดต่าง ๆ ต้องถอดออกด้วย

การปะทะเข้ากับสิ่งกีดขวางเรียบหน้าเต็ม (full-width flat-barrier impact)

- 1) ทำการทดสอบสองอย่างด้วยกัน ด้านหน้าและด้านหลังชนเข้าสิ่งกีดขวาง
- 2) ความเร็วปะทะ 5 ไมล์ต่อชั่วโมง (8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- 3) สิ่งกีดขวางคือ คอนกรีตเสริมแรง หน้า 145.15t (160 ตัน) ปะด้านหน้าด้วยแผ่นเหล็กหนา 8.0 เซนติเมตร (3 นิ้ว) และบริเวณที่ทำการชนปกคลุมด้วยแผ่นไม้หนา 2 เซนติเมตร (0.75 นิ้ว)
- 4) สิ่งกีดขวางวางตั้งฉากกับเส้นการเดินทางของรถ ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

การปะทะเข้ากับสิ่งกีดขวางทำมุม 30 องศา (right front into 30 degree angle-barrier impact)

- 1) ความเร็วที่ทำการปะทะ 5 ไมล์ต่อชั่วโมง (8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- 2) แท่นโลหะยึดติดอยู่กับพื้นด้วยสกรู ประกอบไปด้วยแผ่นโลหะกว้าง 214 เซนติเมตร สูง 92 เซนติเมตร และหนา 4.5 เซนติเมตร แผ่นโลหะนี้ประกบด้วยแผ่นไม้หนา 2 เซนติเมตร ที่ขอบพื้นด้านล่างของแผ่นทั้งสองนี้ อยู่สูง 18 เซนติเมตร จากระดับพื้นล่าง ขอบด้านบนของแผ่นทั้งสองอยู่สูง 110 เซนติเมตร จากระดับพื้นล่าง มุมระหว่างเส้นตามแนวยาวรถและแผ่นไม้เท่ากับ 60 องศา

การปะทะที่ด้านหลังรถเข้ากับเสา (rear into pole impact)

- 1) ความเร็วปะทะ 5 ไมล์ต่อชั่วโมง (8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- 2) เสาเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตรและยึดสูงจากพื้น 92 เซนติเมตร

3) แนวตามยาวของรถเป็นเส้นตรงกับเสาที่ทำการปะทะ แต่การออกแบบกันชนในบางประเภท (ที่มีขอลากเกี่ยวที่ด้านหน้า) อาจทำให้ต้องเลื่อนจุดปะทะไปทางซ้ายหรือขวา

4) จุดที่ทำการชนที่แท้จริง ต้องไม่ห่างเกิน 7.5 เซนติเมตร ในทางซ้ายมือหรือขวามือของเป้าหมาย

#### 4. ความเสียหายวิกฤตที่ยอมรับได้ (bumper damage criteria)

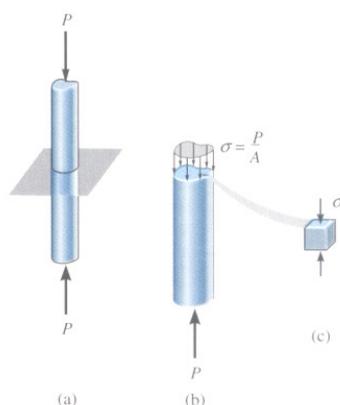
4.1 ความเสียหายเกิดขึ้นที่ผิวด้านนอกของกันชน

4.2 ระยะหดตัวสัมพัทธ์ของกันชนต้องไม่มากไปกว่า  $3/8$  นิ้ว (0.95 เซนติเมตร)

4.3 ระยะหดตัวสัมบูรณ์ของกันชนต้องไม่มากไปกว่า  $3/4$  นิ้ว (1.9 เซนติเมตร)

#### ทฤษฎีความยืดหยุ่น

เมื่อชิ้นส่วนถูกกระทำด้วยแรงจากภายนอกจะเกิดความเค้น (normal stress) และความเค้นเฉือน (shear stress) ขึ้นในเนื้อวัสดุนั้น ดังภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 แสดงความเค้นตั้งฉากที่เกิดในชิ้นงาน

ที่มา: Chung, N. (2001)

ดังแสดงได้ด้วยสมการ 
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

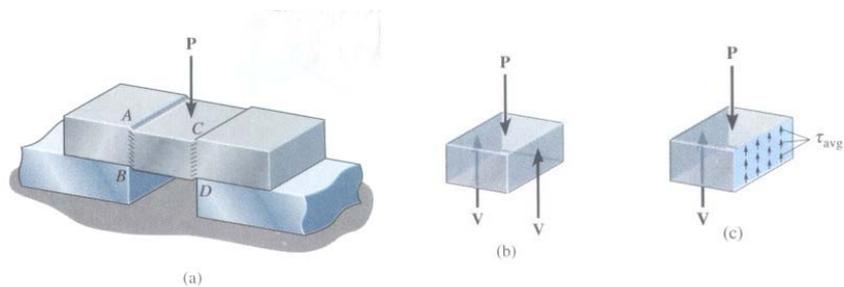
โดยที่

$\sigma$  = ความเค้นตั้งฉาก

$P$  = แรงในแนวตั้งฉาก

$A$  = พื้นที่ตั้งฉาก

และความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้น แสดงได้ด้วยสมการดังนี้



ภาพที่ 6 แสดงความเค้นเฉือนในชิ้นงาน

ที่มา: Chung (2001)

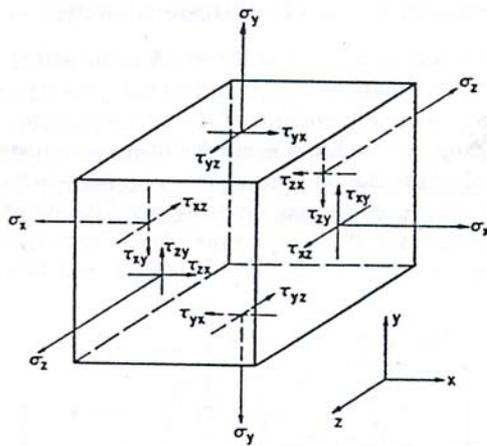
$$\tau_{avg} = \frac{P}{V} \quad (2)$$

โดยที่

$\tau_{avg}$  = ความเค้นเฉือน

$V$  = แรงตั้งฉากที่กระทำกับชิ้นงาน

เมื่อทำการตัดแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นก้อนสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุ จะแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงความเค้น ความเครียดในส่วนย่อยเล็ก ๆ

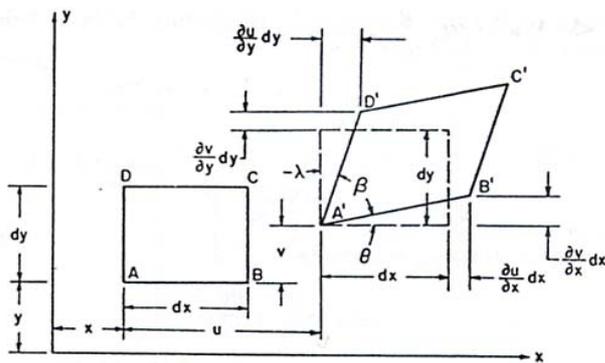
ที่มา: pei chi chou (1924)

เมื่อสมมูล 3 มิติจะพบว่า  $\tau_{xy} = \tau_{yx}$  (3)

$\tau_{xz} = \tau_{zx}$  (4)

$\tau_{yz} = \tau_{zy}$  (5)

ความเครียด แบ่งได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ ความเครียดในแนวตั้งฉาก (normal strain) และความเครียดเฉือน (shear strain) ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ความเครียดแสดงใน 2 มิติ

ที่มา: pei chi chou (1924)

เราสามารถเขียนสมการที่เกี่ยวข้องกับความเครียดที่เกิดขึ้นทั้งหมด ได้ดังนี้

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (6) \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (9)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \quad (7) \quad \gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \quad (10)$$

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (8) \quad \gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \quad (11)$$

โดยที่

$\varepsilon_x$  = ความเครียดในแนวตั้งฉากตามแกน x

$\varepsilon_y$  = ความเครียดในแนวตั้งฉากตามแกน y

$\varepsilon_z$  = ความเครียดในแนวตั้งฉากตามแกน z

u = การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนเล็ก ๆ ในแนวแกน x

v = การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนเล็ก ๆ ในแนวแกน y

w = การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนเล็ก ๆ ในแนวแกน z

$\gamma_{xy}$  = ความเค้นเฉือนบนระนาบ xy

$\gamma_{yz}$  = ความเค้นเฉือนบนระนาบ yz

$\gamma_{xz}$  = ความเค้นเฉือนบนระนาบ xz

สมการความเหมาะสม (compatibility equations)

สมการความเค้นและความเครียดใด ๆ ที่เกิดขึ้น จะต้องเป็นไปตามสมการความเหมาะสม  
จึงจะถือว่าเป็นจริง แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} \quad (12)$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z} \quad (13)$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{zx}}{\partial z \partial x} \quad (14)$$

$$2 \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z \partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) \quad (15)$$

$$2 \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( -\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) \quad (16)$$

$$2 \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x \partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left( -\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) \quad (17)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด Stress-strain Relations

เรียกอีกอย่างว่ากฎของฮุก (generalize hook's law) สำหรับวัสดุไอโซโทรปิกแสดง  
ได้ดังสมการ

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \quad (18)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] \quad (19)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (20)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy} \quad (21)$$

$$\gamma_{yz} = \frac{1}{G} \tau_{yz} \quad (22)$$

$$\gamma_{zx} = \frac{1}{G} \tau_{zx} \quad (23)$$

โดยที่

$E$  = ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus)

$\nu$  = อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio)

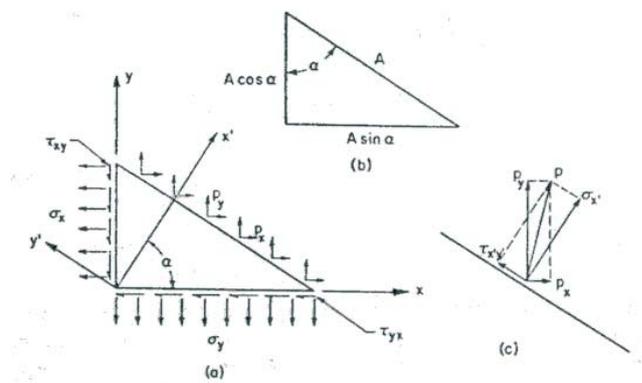
$G$  = ค่ามอดูลัสความแข็งเกร็ง (Modulus of rigidity)

และความสัมพันธ์ของค่ามอดูลัสของยัง อัตราส่วนปัวซอง และค่ามอดูลัสความแข็งเกร็ง  
ยังแสดงได้เป็น

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (24)$$

ความเค้นหลัก Principal Stress

สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงความเค้นหลักในแกน x y

ที่มา: pei chi chou (1924)

สมการแสดงความเค้นบนแกน X' และ Y'

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha + \tau_{xy} \sin 2\alpha \quad (25)$$

$$\sigma_{y'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha - \tau_{xy} \sin 2\alpha \quad (26)$$

$$\tau_{x'y'} = \frac{\sigma_y - \sigma_x}{2} \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cos 2\alpha \quad (27)$$

หาค่ามุมระนาบหลักได้จากสมการ

$$\tan 2\alpha = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (28)$$

และความเค้นหลักสามารถหาได้ดังนี้

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (29)$$

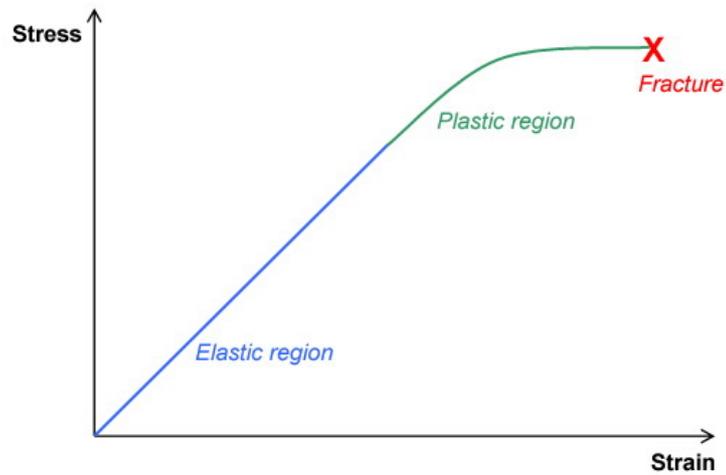
$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (30)$$

โดยที่

$\sigma_1$  = ความเค้นหลักในแกนที่ 1

$\sigma_2$  = ความเค้นหลักในแกนที่ 2

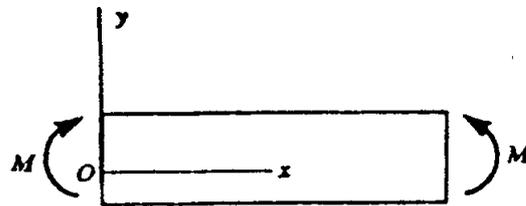
สำหรับวัสดุเหนียว (ductile materials) เมื่อความเค้นที่เกิดขึ้นเกินช่วงยืดหยุ่นแบบเส้นตรงไปแล้ว วัสดุจะประพฤติตัวเหมือนเป็นพลาสติก คือวัสดุจะเปลี่ยนสภาพไปอย่างถาวร และจะเสียหายที่จุดแตกหักหลังจากช่วงนี้ไป ดังแสดงได้จากภาพที่ 10



ภาพที่ 10 พฤติกรรมของวัสดุเหนียว

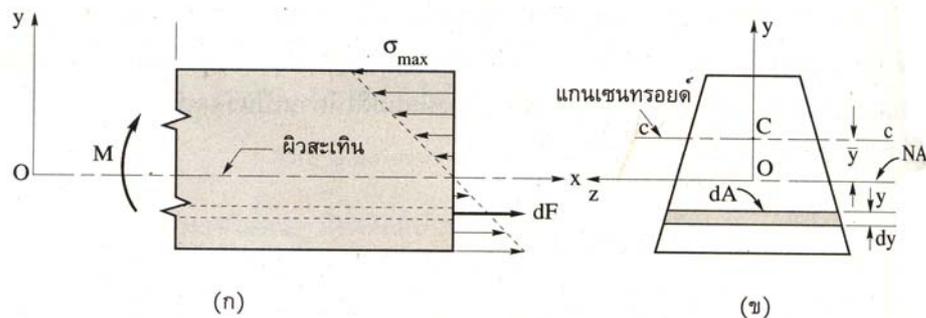
### สมการการโค้งในช่วงอีลาสติก

เมื่อคานที่มีโมเมนต์ดัด  $M$  กระทำดังเช่นสภาพดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 คานเมื่อมีภาระดัดกระทำ

และเมื่อพิจารณาในหน้าตัดของคานจะพบว่า ความเค้นดัดที่แกนสะเทินมีค่าเป็นศูนย์ และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ที่ระยะห่างจากแกนสะเทินออกไปในทิศของแกน  $X$  ดังปรากฏในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ความเค้นที่เกิดขึ้น เมื่อคานถูกภาระดัด

ที่มา: มนตรี (2541)

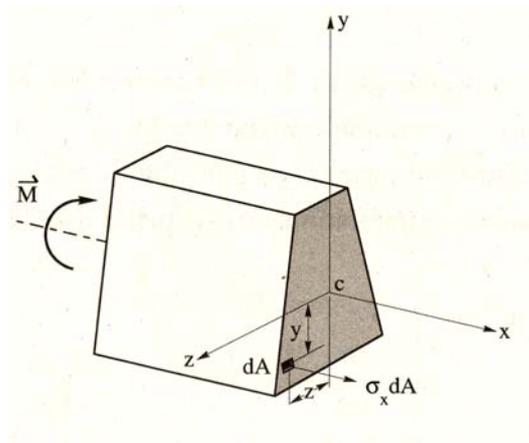
$$\text{เมื่อสมดุลในแนวแกน X จะได้ว่า} \quad \int dF = \int \sigma_x dA = 0 \quad (31)$$

$$\int \frac{E}{\rho} y dA = \frac{E}{\rho} \int y dA = 0 \quad (32)$$

$$\frac{E}{\rho} y A = 0 \quad (33)$$

$$\text{หรือ} \quad \int_A y dA = y = 0 \quad (34)$$

สรุปคือ คานภายใต้ภาระดัดในช่วงยึดหยุ่นได้ แกนสะเทินจะผ่านจุดเซนทรอยด์ของหน้าตัดนั้นเสมอ และหาความเค้นที่เกิดขึ้นในคานได้จากการอินทิเกรตรอบพื้นที่หน้าตัด ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ความเค้นที่กระทำในส่วนเล็กๆภายในคาน

ที่มา: มนตรี (2541)

$$\text{โมเมนต์รอบแกน } y : \quad \int z \sigma_x dA = 0 \quad (35)$$

$$\text{โมเมนต์รอบแกน } Z : \quad \int y \sigma_x dA - M = 0 \quad (36)$$

$$\int y \sigma_x dA = M \quad (37)$$

$$\int y \left( \frac{y \sigma_{\max}}{c} \right) dA = M \quad (38)$$

$$\frac{\sigma_{\max}}{c} \int y^2 dA = \frac{\sigma_{\max}}{c} I = M \quad (39)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I} \quad (40)$$

โดยที่  $I$  คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดรอบแกนสะเทิน (แกน Z)

$c$  คือ ระยะสูงสุดที่วัดจากแกนสะเทินไปยังขอบผิวคานด้านบนหรือด้านล่าง

## ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เป็นวิธีเชิงตัวเลขหนึ่งที่ใช้สำหรับการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง เช่น ความเค้นของชิ้นส่วนเครื่องจักรไม่ว่าวัสดุจะทำการวิเคราะห์จะอยู่ในสภาพยืดหยุ่น (elastic) หรือในสภาพยืดตัว (plastic) นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านพลศาสตร์ เช่น การสั่นสะเทือนของโครงสร้าง รวมทั้งปัญหาด้านการถ่ายเทความร้อนของไหล เป็นต้น

การวิเคราะห์โครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน เราสามารถหาค่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ต้องการทราบได้ โดยอาศัยสมการเชิงอนุพันธ์ และผลเฉลยที่ได้จะเรียกว่าผลเฉลยแม่นยำตรง (exact solution) แต่สำหรับปัญหาที่มีโครงสร้างจำนวนมาก มีภาพทรงที่ซับซ้อน หรือภาพร่างลักษณะประกอบไปด้วยส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ จึงมีผลทำให้ไม่สามารถหาผลเฉลยแม่นยำตรงจากสมการอนุพันธ์สามัญหรือสมการอนุพันธ์ย่อยได้ ฉะนั้นจำเป็นต้องหาด้วยวิธีอื่น เช่น ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สามารถจะประมาณค่าผลเฉลยโดยการแก้ระบบสมการเชิงพีชคณิต แทนการแก้สมการเชิงอนุพันธ์

การแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ชิ้นส่วนของปัญหาจะถูกแบ่งออกเป็น ส่วนย่อย ๆ อย่างต่อเนื่องตามภาพร่างลักษณะที่แท้จริงของชิ้นส่วน ผลเฉลยที่ได้รับจะเป็นผลเฉลยที่จุดต่อของแต่ละเอลิเมนต์ การวิเคราะห์ปัญหาโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เราจะไม่วิเคราะห์ปัญหาที่เดียว แต่เราจะวิเคราะห์หาค่าที่แต่ละเอลิเมนต์แล้วนำมารวมเข้าด้วยกันเป็นผลเฉลยของระบบ

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง สามารถหาได้จากวิธีพื้นฐาน 2 วิธีคือ วิธีแรงหรือวิธียืดหยุ่น (force or flexibility method) และวิธีการกระจัดหรือวิธีสทิฟเนส (displacement or stiffness method)

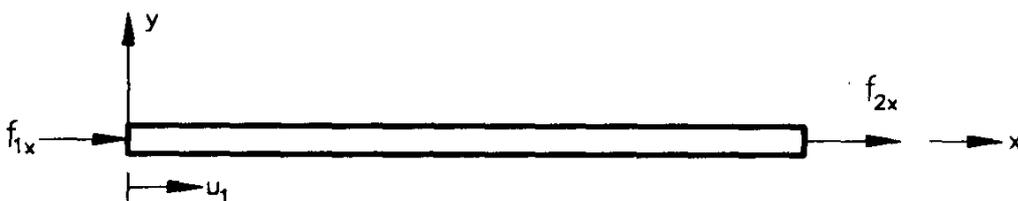
วิธีแรกสามารถหาแรงภายในและแรงปฏิกิริยาโดยอาศัยการสมดุลของแรงและสมการเงื่อนไขการกระจัด ส่วนวิธีที่สองสามารถหาการกระจัดที่สมมติขึ้นโดยมีเงื่อนไขของความต่อเนื่องของเอลิเมนต์ที่แต่ละจุดต่อหรือที่ขอบบริเวณที่สัมผัสกันไม่ว่าก่อนและหลัง โหลดกระทำยังคงมีความต่อเนื่องเหมือนเดิม ดังนั้นสมการสมดุลจะเขียนอยู่ในเทอมของการกระจัดของแต่ละจุดต่อ และค่าของการกระจัดก็สามารถหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการกระจัด

### ขั้นตอนของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1. แบ่งโครงสร้างเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ และเลือกชนิดของเอลิเมนต์ ต้องทำการแบ่งให้เหมือนโครงสร้างเดิมมากที่สุด เช่น ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพทรงกะทันหัน ก็แทนด้วยเอลิเมนต์เล็กเพียงพอ เพื่อที่จะทำให้ผลการวิเคราะห์แม่นยำยิ่งขึ้น แต่ถ้าเล็กมากเกินไป อาจเสียเวลาในการคำนวณมากเกินไป และค่าใช้จ่ายสูงขึ้นด้วย ส่วนการเลือกชนิดของเอลิเมนต์ จะต้องคำนึงถึงภาพร่างลักษณะของโครงสร้าง และการกระทำของโหลด

2. การเลือกฟังก์ชันการกระจัด ให้สอดคล้องกับจำนวนจุดต่อของเอลิเมนต์ หรือสอดคล้องกับระดับความเสรีของเอลิเมนต์ ฟังก์ชันการกระจัดที่นิยมคือ พอลิโนเมียลฟังก์ชัน ฟังก์ชันการกระจัดที่เลือกใช้จะต้องทำให้ผลเฉลยมีความต่อเนื่องทั้งภายในเอลิเมนต์และแบบจำลองของระบบรวม

3. กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด/การกระจัด และความเค้น/ความเครียด การหาสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของแต่ละเอลิเมนต์ ต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการกระจัดและความเค้นกับความเครียด ในกรณีของปัญหามิติเดียวดังภาพ



ภาพที่ 14 การยึดตัวในมิติเดียว

ที่มา: เดช (1998)

โดย

$u$  = การยึดตัวของเอลิเมนต์ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง

$\epsilon_x$  = ความเครียดในทิศทาง  $x$

ดังนั้นความเครียดจะเขียนเป็นสมการ  $\varepsilon_x = \frac{du}{dx}$  และความสัมพันธ์ของความเค้น/ความเครียดจากกฎของฮุกคือ  $\sigma_x = E\varepsilon_x$  การที่ตัวแปรที่หาค่าจะถูกต้องเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาใช้ในการคำนวณ และความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการกระจัด

4. หาสทิพเนสมัทริกซ์และสมการของเอลิเมนต์ สามารถหาได้จากหลายวิธี เช่น

#### 4.1 วิธีสมดุลโดยตรง (direct equilibrium method)

หาได้โดยใช้เงื่อนไขการสมดุลของแรงในเอลิเมนต์ ส่วนมากจะใช้สทิพเนสมัทริกซ์ของเอลิเมนต์เดียวอย่างง่าย ๆ อาทิเช่น เอลิเมนต์สปริง, ท่อนโลหะ เป็นต้น

#### 4.2 วิธีงานหรือพลังงาน (work or energy method)

อาศัยหลักการของงานสมมติ (virtual work) หลักการพลังงานศักย์ต่ำสุด (minimum potential energy) ทำให้การหาสมการของเอลิเมนต์และหาสทิพเนสมัทริกซ์ของสองและสามมิติง่ายขึ้น สำหรับวิธีงานสมมตินั้นสามารถใช้หาสทิพเนสมัทริกซ์ของวัสดุทุกชนิด และวิธีพลังงานศักย์ต่ำสุดใช้หาสทิพเนสมัทริกซ์ของวัสดุยืดหยุ่นเชิงเส้นเท่านั้น

#### 4.3 วิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (method of weighted residuals)

ที่นิยมกันมากที่สุดคือวิธีของกาเลอร์คิน (galerkin's method) มีประโยชน์เป็นอย่างมาก และให้ผลเช่นเดียวกับวิธีพลังงาน มักจะนิยมใช้ในกรณีที่วิธีพลังงานศักย์ต่ำไม่สะดวกในการใช้ เช่น ปัญหาการไหลของเหลว การเคลื่อนมวล เป็นต้น และจากวิธีหนึ่งวิธีใด ก็จะได้สมการสมดุลของแรงในเทอมของสทิพเนสมัทริกซ์ และการกระจัดที่จุดต่อของเอลิเมนต์ สามารถเขียนดังภาพที่ของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \bullet \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \bullet & \bullet & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \bullet & \bullet & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & \bullet & \bullet & k_{3n} \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ k_{n1} & k_{n2} & \bullet & \bullet & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \bullet \\ d_n \end{Bmatrix} \quad (41)$$

หรือภาพย่อๆ  $\{f\} = [k]\{d\}$  (42)

โดยที่

$\{f\}$  คือเมทริกซ์ของแรงที่กระทำที่จุดต่อ

$[k]$  คือสทiffเนสของเอลิเมนต์

$\{d\}$  การกระจัดที่จุดต่อซึ่งยังไม่ทราบค่า

$n$  คือจำนวนระดับความเสรีของเอลิเมนต์

5. หาสมการรวมของระบบและการกำหนดเงื่อนไขขอบ สมการรวมของระบบหาได้จาก การรวมสมการของแต่ละเอลิเมนต์เข้าด้วยกันด้วยวิธีซ้อนทับ โดยอาศัยหลักของการสมดุลของแรง ที่จุดต่อของเอลิเมนต์ และการต่อเนื่องของโครงสร้าง

สมการรวมของระบบโครงสร้างที่ได้รับ เขียนดังภาพที่เมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\{F\} = [K]\{d\} \quad (43)$$

โดยที่

$\{F\}$  คือ เมทริกซ์รวมของแรงที่จุดต่อ

$[K]$  คือ สทiffเนสเมทริกซ์รวมของระบบ

$\{d\}$  คือ เมทริกซ์รวมของการกระจัดของระบบ

เมื่อรู้เงื่อนไขขอบ (boundary condition) หรือเงื่อนไขบังคับ (constraints) หรือจุดรองรับ (supports) ก็จะทำให้สามารถแก้สมการของระบบนี้ได้

6. หากการกระจัดของระบบ เมื่อใส่เงื่อนไขขอบเข้าไปในสมการแล้ว ก็จะสามารถหาการกระจัด  $d_1, d_2 \dots d_n$  ได้โดยการแก้สมการพีชคณิตพร้อม ๆ กันคือ

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \bullet \\ \bullet \\ F_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \bullet & \bullet & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \bullet & \bullet & K_{2n} \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ K_{n1} & K_{n2} & \bullet & \bullet & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \bullet \\ \bullet \\ d_n \end{Bmatrix} \quad (44)$$

7. หากคำนวณหาค่าอื่น ๆ ที่เหลือ ในกรณีที่ต้องการทราบค่าความเครียด, ความเค้น หรือค่าอื่น ๆ สามารถจะคำนวณหาได้โดยความรู้พื้นฐานของกลศาสตร์ของแข็ง เช่น ปัญหามิติเดียว

$$\text{จะหาค่าความเครียดได้จากสมการ} \quad \varepsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (45)$$

$$\text{และหาความเค้นได้จาก} \quad \sigma_x = E\varepsilon_x \quad (46)$$

8. พลศาสตร์เบื้องต้น สำหรับปัญหาในทางปฏิบัติโดยทั่วไป แรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ทำให้เกิดการเคลื่อนที่และความเค้นในวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาด้วย ดังนั้นสมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับภาวะแบบพลศาสตร์แสดงได้ดังนี้

$$[M]\{\ddot{\delta}\} + [C]\{\dot{\delta}\} + [K]\{\delta\} = \{F(t)\} \quad (47)$$

โดยที่

$[M]$  = เมทริกซ์มวล

$[C]$  = เมทริกซ์ของความหน่วง

$\{\ddot{\delta}\}$  = เมทริกซ์ความเร่ง

$\{\dot{\delta}\}$  = เมทริกซ์ความเร็ว

$\{\delta\}$  = เมทริกซ์การกระจัด

$\{F(t)\}$  = แรงทุกชนิดที่มากระทำหรือเกิดขึ้นบนตัววัตถุ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. ซอฟต์แวร์

1.1 โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (ABAQUS)

1.2 โปรแกรมสร้างแบบจำลอง (Solid Works)

#### 2. ฮาร์ดแวร์

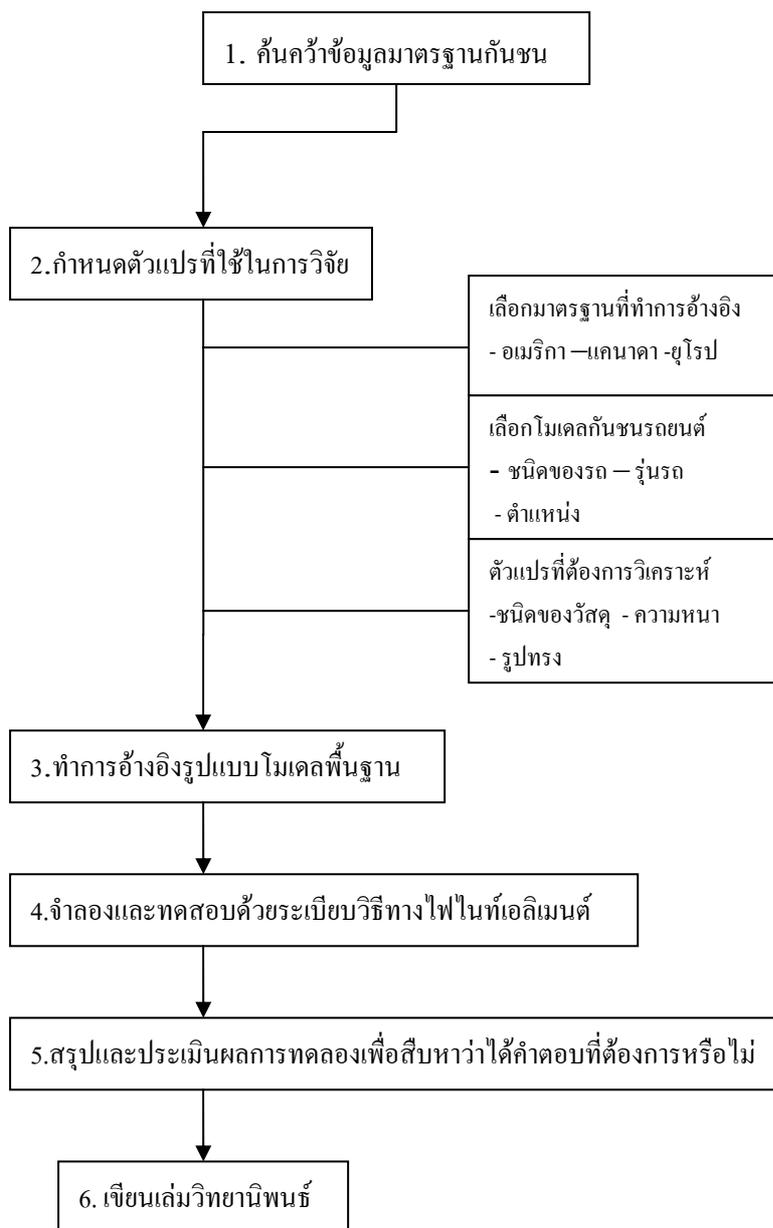
2.1 คอมพิวเตอร์สำหรับติดตั้งโปรแกรมเพื่อการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรง โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- CPU Intel Pentium 4 3.4 GHz
- หน่วยความจำขนาด 2 GB
- ฮาร์ดดิสก์ ขนาด 200 GB
- การ์ดแสดงผล หน่วยความจำขนาด 128 MB
- ระบบปฏิบัติการ Window XP professional

2.2 เครื่องพิมพ์ ชนิดหมึกพ่น

### วิธีการ

แนวทางในการศึกษาสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### ตัวแปรที่พิจารณาในการวิจัย

1. มาตรฐานอ้างอิงที่ใช้ในครั้งนี้เป็น 491 CFR 581 ของประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากมีงานวิจัยหลายๆชิ้น ได้กล่าวถึงและอ้างอิงจากมาตรฐานนี้ทั้งสิ้น อาทิเช่น Cheon et al. (1995); Hosseninzadeh et al. (2004)

2. รูปแบบกันชนที่เลือกมา จะเลือกจากรุ่นรถที่เป็นที่นิยมในท้องตลาดปัจจุบัน นั่นก็คือ Toyota Tiger D4D, Nissan Big-M ดังจะเห็นได้จากภาพ 16 และ 17

Toyota Tiger D4D (Model A)



ภาพที่ 16 รถยนต์ Toyota Tiger

Nissan Big-M (Model B)



ภาพที่ 17 รถยนต์ Nissan Big-M

### 3. ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์

ทางด้านชนิดของวัสดุ อ้างอิงมาจากเหล็ก bumper systems for passenger cars and light trucks และเหล็กกล้ามา 2 ชนิดคือ เหล็ก ASTM A36 และอลูมิเนียม 6061

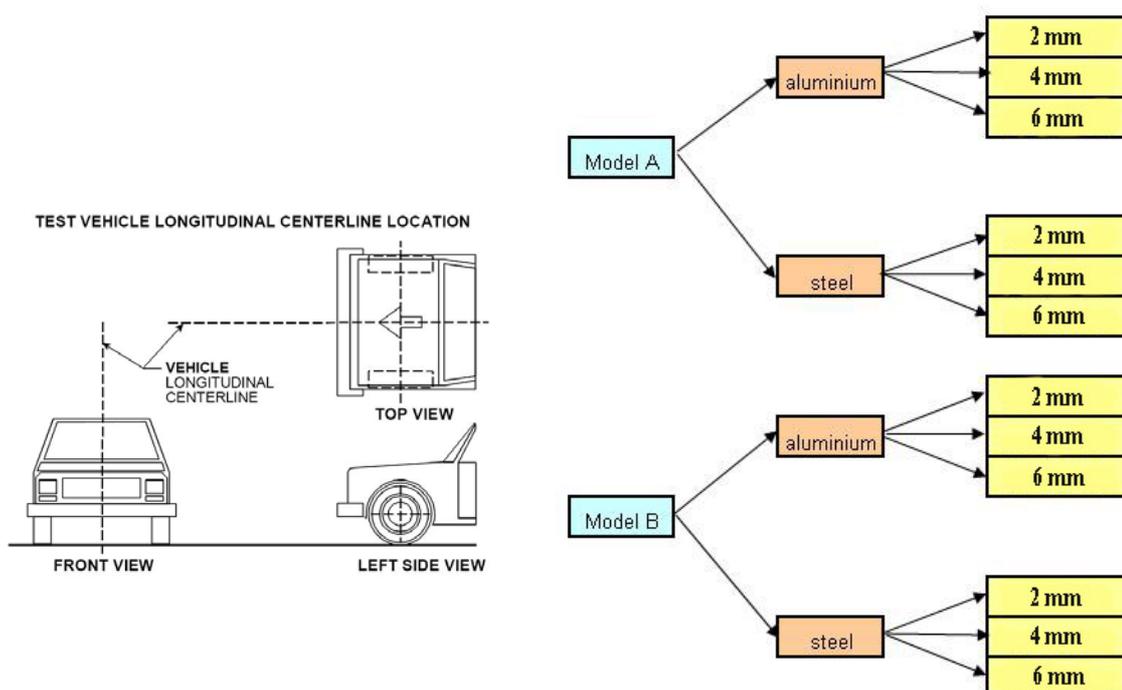
ความหนาของกันชน ได้แนวความคิดจาก งานวิจัย Li et al. (2003) และสรุปที่ความหนา 2 4 และ 6 มิลลิเมตรตามลำดับ

ดังนั้นอาจสรุปเป็นกรณีต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษาในภาพที่ 18 และ 19 ดังนี้

ทดสอบการชนตั้งฉากกับกำแพง

มวลลูกตุ้ม 907 กิโลกรัม

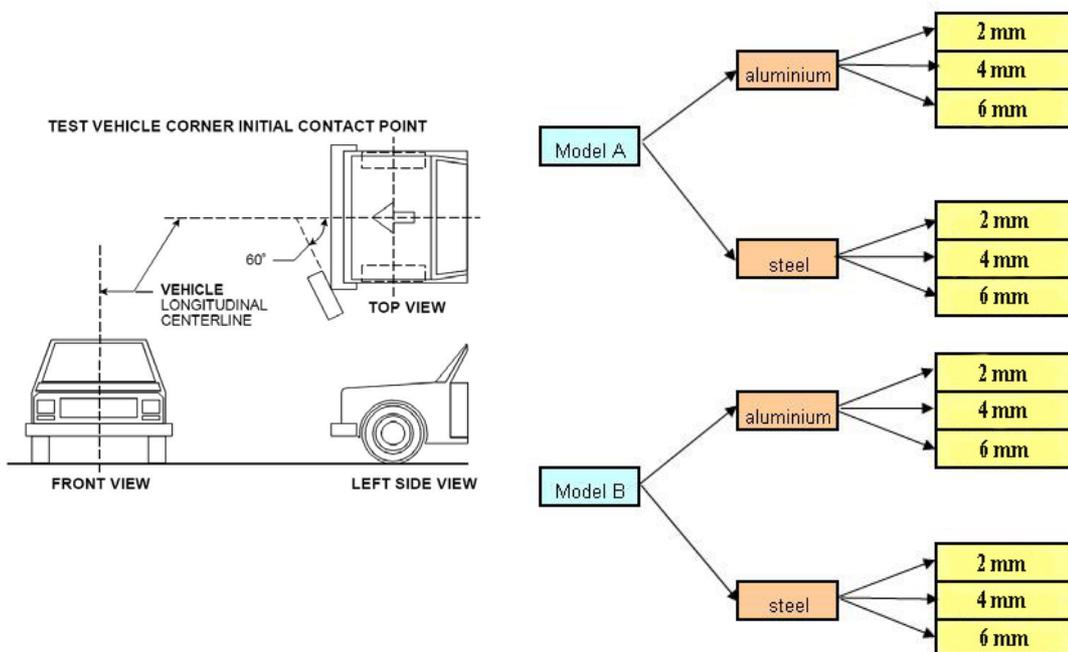
ความเร็วปะทะ 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



ภาพที่ 18 แผนภาพแสดงกรณีทดสอบปะทะแบบตั้งฉาก

1. กันชนแบบ A วัสดุ อลูมิเนียม ความหนา 2 มิลลิเมตร ชนตั้งฉากกับกำแพง
2. กันชนแบบ A วัสดุ อลูมิเนียม ความหนา 4 มิลลิเมตร ชนตั้งฉากกับกำแพง
3. กันชนแบบ A วัสดุ อลูมิเนียม ความหนา 6 มิลลิเมตร ชนตั้งฉากกับกำแพง
4. กันชนแบบ A วัสดุ เหล็ก ความหนา 2 มิลลิเมตร ชนตั้งฉากกับกำแพง
5. กันชนแบบ A วัสดุ เหล็ก ความหนา 4 มิลลิเมตร ชนตั้งฉากกับกำแพง
6. กันชนแบบ A วัสดุ เหล็ก ความหนา 6 มิลลิเมตร ชนตั้งฉากกับกำแพง
7. กันชนแบบ B วัสดุ อลูมิเนียม ความหนา 2 มิลลิเมตร ชนตั้งฉากกับกำแพง
8. กันชนแบบ B วัสดุ อลูมิเนียม ความหนา 4 มิลลิเมตร ชนตั้งฉากกับกำแพง
9. กันชนแบบ B วัสดุ อลูมิเนียม ความหนา 6 มิลลิเมตร ชนตั้งฉากกับกำแพง
10. กันชนแบบ B วัสดุ เหล็ก ความหนา 2 มิลลิเมตร ชนตั้งฉากกับกำแพง
11. กันชนแบบ B วัสดุ เหล็ก ความหนา 4 มิลลิเมตร ชนตั้งฉากกับกำแพง
12. กันชนแบบ B วัสดุ เหล็ก ความหนา 6 มิลลิเมตร ชนตั้งฉากกับกำแพง

ทดสอบการชนทำมุม 60 องศา  
 มวลลูกตุ้ม 907 กิโลกรัม  
 ความเร็วปะทะ 2.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

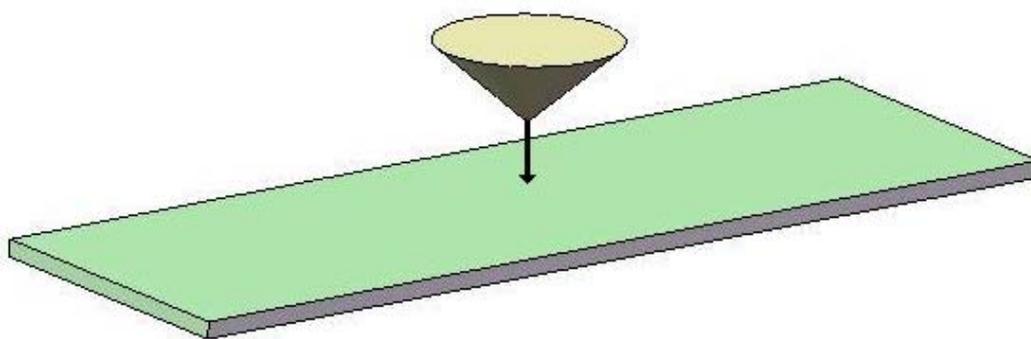


ภาพที่ 19 แผนภาพแสดงกรณีทดสอบปะทะแบบทำมุม 60 องศา

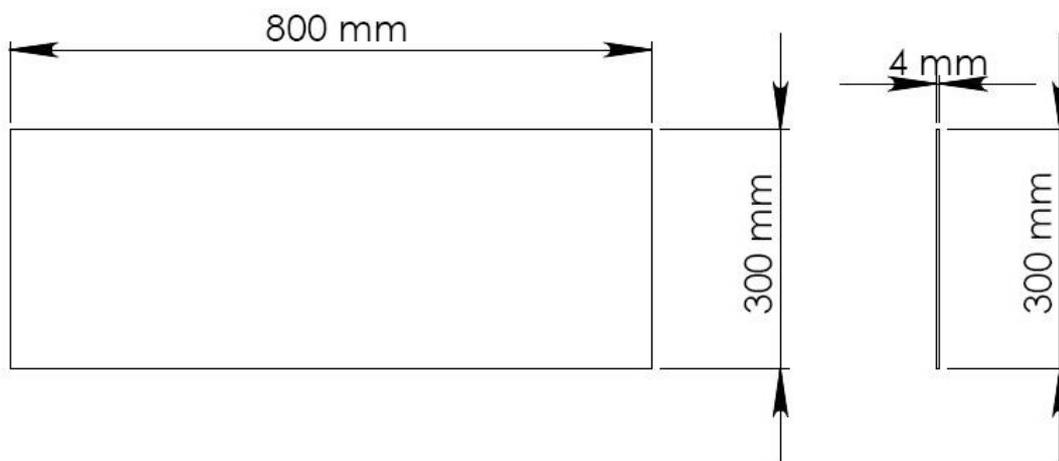
- |     |             |                  |                     |                 |
|-----|-------------|------------------|---------------------|-----------------|
| 13. | กั้นชนแบบ A | วัสดุ อลูมิเนียม | ความหนา 2 มิลลิเมตร | ชนทำมุม 60 องศา |
| 14. | กั้นชนแบบ A | วัสดุ อลูมิเนียม | ความหนา 4 มิลลิเมตร | ชนทำมุม 60 องศา |
| 15. | กั้นชนแบบ A | วัสดุ อลูมิเนียม | ความหนา 6 มิลลิเมตร | ชนทำมุม 60 องศา |
| 16. | กั้นชนแบบ A | วัสดุ เหล็ก      | ความหนา 2 มิลลิเมตร | ชนทำมุม 60 องศา |
| 17. | กั้นชนแบบ A | วัสดุ เหล็ก      | ความหนา 4 มิลลิเมตร | ชนทำมุม 60 องศา |
| 18. | กั้นชนแบบ A | วัสดุ เหล็ก      | ความหนา 6 มิลลิเมตร | ชนทำมุม 60 องศา |
| 19. | กั้นชนแบบ B | วัสดุ อลูมิเนียม | ความหนา 2 มิลลิเมตร | ชนทำมุม 60 องศา |
| 20. | กั้นชนแบบ B | วัสดุ อลูมิเนียม | ความหนา 4 มิลลิเมตร | ชนทำมุม 60 องศา |
| 21. | กั้นชนแบบ B | วัสดุ อลูมิเนียม | ความหนา 6 มิลลิเมตร | ชนทำมุม 60 องศา |
| 22. | กั้นชนแบบ B | วัสดุ เหล็ก      | ความหนา 2 มิลลิเมตร | ชนทำมุม 60 องศา |
| 23. | กั้นชนแบบ B | วัสดุ เหล็ก      | ความหนา 4 มิลลิเมตร | ชนทำมุม 60 องศา |
| 24. | กั้นชนแบบ B | วัสดุ เหล็ก      | ความหนา 6 มิลลิเมตร | ชนทำมุม 60 องศา |

#### การคำนวณอ้างอิงจากสมการคณิตศาสตร์

เพื่อที่จะยืนยันว่าการจำลองการชนจากโปรแกรมอบาคัสนั้น มีความถูกต้องและสามารถใช้งานได้จริง จึงยืนยันความถูกต้องจากสมการทางคณิตศาสตร์ ที่จำลองรูปแบบมาจากสมการของมวลและสปริง แสดงออกได้ดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ 20 แสดงแผ่นบางปะทะด้วยลูกตุ้ม



ภาพที่ 21 แสดงขนาดและพื้นที่หน้าตัดของแผ่นบาง

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาแรงปะทะ

$$\text{จากสูตร } F = w \sqrt{\frac{V^2}{g \delta_{st}}} \quad (48)$$

โดยที่  $w =$  น้ำหนักของลูกตุ้ม

$\delta_{st} =$  ระยะโก่งตัวอันเนื่องมาจากภาระสถิต

$v =$  ความเร็วปะทะ หน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

และระยะโก่งตัวอันเนื่องมาจากภาระสถิต สามารถหาได้จากสมการ

$$\delta_{st} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (49)$$

โดย  $I =$  ความโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \quad (50)$$

$$I = \frac{1}{12}(0.3)(0.004)^3$$

$$I = 1.6 \times 10^{-9} \text{ เมตร}^4$$

$$\delta_{st} = \frac{(907 \times 9.81)(0.8)^3}{48(200 \times 10^9)1.6 \times 10^{-9}}$$

$$\delta_{st} = 0.2966 \text{ เมตร}$$

และแทนค่าในสมการจะได้  $F = (907 \times 9.81) \sqrt{\frac{0.5^2}{9.81(0.2966)}}$

$$F = 2,608 \text{ นิวตัน}$$

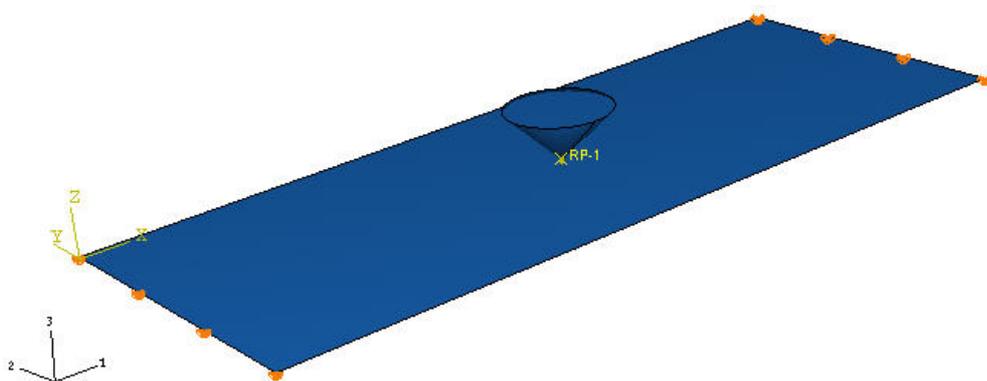
การจำลองอ้างอิงการชนในโปรแกรม

คานสมมาตร ปลายรองรับ ทั้ง 2 ข้าง ดังแสดงในภาพที่ 20

คานมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงในภาพที่ 21

เมื่อจำลองในโปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะแสดงได้ดังภาพที่ 22

มีมวล 907 กิโลกรัม กระทำที่กึ่งกลางคาน ด้วยความเร็ว 0.50 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 22 การวางตำแหน่งของลูกตุ้ม และแผ่นบาง

วัสดุทั้งคู่เป็นเหล็กเกรด ASTM A36 มีคุณสมบัติดังนี้

ค่ายังมอดูลัสเท่ากับ 200 GPa หรือ 200E3 MPa

Poisson's Ratio = 0.3

ความหนาแน่น 7.85 g/cc

7.85 gram/cubic centimeter = 0.00000785 kilogram/cubic millimeter

7.85\*10<sup>-9</sup> tonne/cubic millimeter

สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ระหว่าง เหล็กและเหล็กมีค่าเท่ากับ 0.42

วิเคราะห์แบบ dynamic,explicit ช่วงเวลาที่ทำการวิเคราะห์ 0.1 วินาที

ปะทะแบบ surface to surface

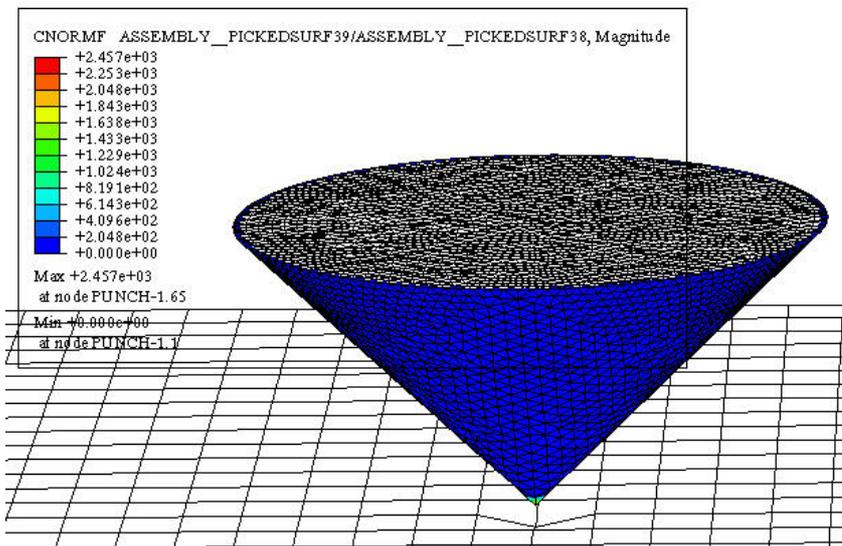
ลักษณะการรองรับเป็นแบบ PINNED ( U1=U2=U3=0 )

ความเร็วที่ลูกตุ้มปะทะ เท่ากับ 500 mm/s หรือ 0.5 เมตรต่อวินาที

จำนวนเอลิเมนต์ของแผ่นบางเท่ากับ 2400 แบบ Quadrilateral: S4R

จำนวนเอลิเมนต์ ของลูกตุ้มเท่ากับ 34386 แบบ Tetrahedron:C3D4

ผลปรากฏดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นขณะจำลองการชน ใน โปรแกรม

แรงสูงสุดที่ลูกตุ้มปะทะใน โปรแกรม มีค่าเท่ากับ 2.457E3 หรือ 2,457 นิวตัน  
 เปรียบเทียบกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ แรงปะทะสูงสุด เท่ากับ 2,608 นิวตัน  
 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ  $\left(\frac{2457}{2608}\right) \times 100 = 94.2\%$  (51)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์จากการคำนวณจากทฤษฎีและการจำลองในโปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ในงานวิจัย จึงอาจถือได้ว่าการใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองการปะทะของกันชนนั้น สามารถเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง แต่มีข้อแม้ที่ว่า การปะทะนั้นความเค้นที่เกิดขึ้น จะต้องไม่เกินจุดครากของวัสดุ มิเช่นนั้นแล้วทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้นจะไม่สามารถอ้างอิงผลได้อีกต่อไป

#### การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมออบาคัส (ABAQUS)

ออบาคัสเป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถวิเคราะห์ปัญหาตั้งแต่ปัญหาเชิงเส้น (linear) ปัญหาทางพลศาสตร์ (dynamic) และปัญหาไม่เชิงเส้น (non linear) อย่างง่ายจนถึงปัญหาที่มีความซับซ้อน ซึ่งผลที่ได้มีความแม่นยำสูงสามารถวิเคราะห์ปัญหาได้หลากหลาย เช่น ปัญหาทางโครงสร้าง ปัญหาด้านอุณหภูมิจำนวนมาก สามารถวิเคราะห์รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ เช่น ผิวดัมผัส, ผลกระทบจากเนื้อวัสดุ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ออบาคัสเป็นซอฟต์แวร์ที่รู้จักกันดีในเรื่องประสิทธิภาพ, คุณภาพ และความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหา รูปแบบต่าง ๆ ได้มากกว่าซอฟต์แวร์ช่วยวิเคราะห์ทางวิศวกรรมอื่น ๆ ออบาคัสแบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ๆ คือ ABAQUS/Standard, ABAQUS/Explicit และ ABAQUS/CAE ซึ่งแต่ละส่วนเหมาะสำหรับงานแต่ละประเภท

โปรแกรมออบาคัสไม่มีหน่วยระบุ เวลาใช้งานโปรแกรม ดังนั้นก่อนทำการวิเคราะห์ต้องคำนึงถึงมาตรฐานของตัวโปรแกรมดังที่ระบุไว้ในตารางด้วย

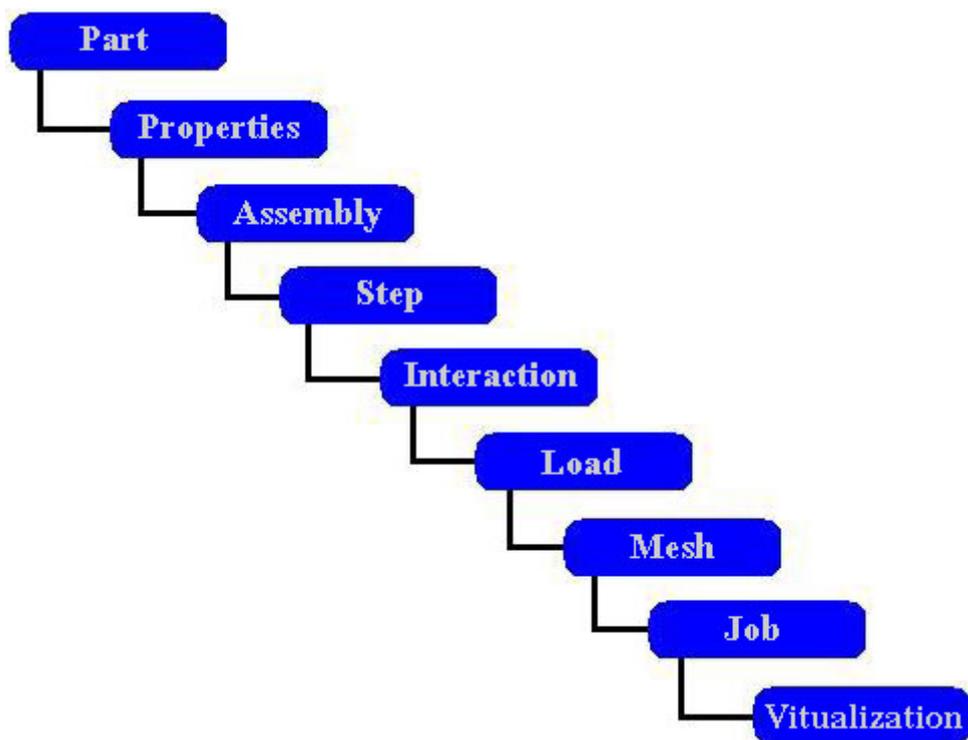
ตารางที่ 1 ตารางแสดงหน่วยที่ใช้งานในโปรแกรม

| Quantity | SI                     | SI (mm)                  | US Unit (ft)         | US Unit (inch)                      |
|----------|------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Length   | m                      | mm                       | ft                   | in                                  |
| Force    | N                      | N                        | lbf                  | lbf                                 |
| Mass     | kg                     | tonne (10 <sup>3</sup> ) | slug                 | lbf s <sup>2</sup> /in              |
| Time     | s                      | s                        | slug                 | s                                   |
| Stress   | Pa (N/m <sup>2</sup> ) | MPa (N/mm <sup>2</sup> ) | lbf/ft <sup>2</sup>  | psi (lbf/in <sup>2</sup> )          |
| Energy   | J                      | mJ (10 <sup>-3</sup> J)  | ft lbf               | in lbf                              |
| Density  | kg/m <sup>3</sup>      | tonne/mm <sup>3</sup>    | slug/ft <sup>3</sup> | lbf s <sup>2</sup> /in <sup>4</sup> |

การวิจัยครั้งนี้เลือกใช้หน่วยของ SI (mm) เนื่องจากความเหมาะสมกับหน่วยที่ได้ใช้  
ในการสร้างแบบจำลองกันชน ในโปรแกรมเขียนแบบ

ในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จำเป็นต้องกำหนดตัวแปรต่าง ๆ อาทิเช่น  
เงื่อนไข คุณสมบัติของแบบจำลองทั้งคุณสมบัติทางกลของวัสดุ เงื่อนไขขอบเขต และแรงที่  
กระทำเพื่อให้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถวิเคราะห์ผลได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์นั้นจะ  
มีความใกล้เคียงกับผลที่เกิดขึ้นจริงมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับข้อกำหนดเงื่อนไขและคุณสมบัติ  
ของแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมที่ทำการวิเคราะห์ด้วย

มีขั้นตอนการตั้งค่าตัวแปรก่อนทำการวิเคราะห์ดังภาพที่ 24



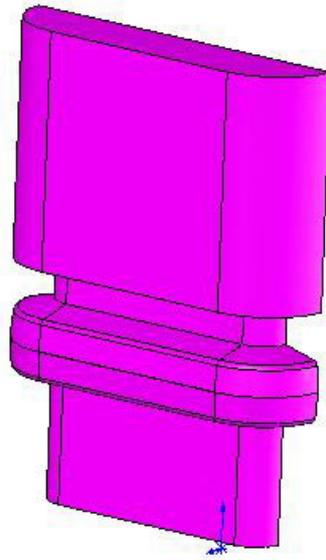
ภาพที่ 24 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการตั้งค่าในโปรแกรมออบาคัส

ในแต่ละหัวข้อจะบรรจุไปด้วยเครื่องมือที่เฉพาะเจาะจงเกี่ยวกับส่วนนั้นๆ

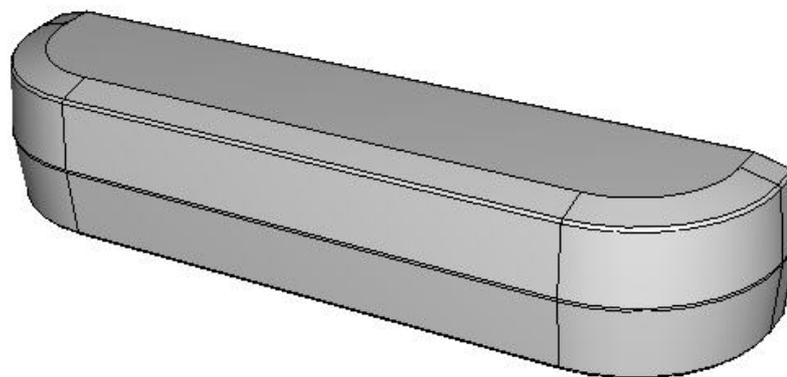
#### 1. Part

เป็นส่วนที่ใช้สร้างชิ้นส่วนขึ้น จากการวาดแบบในตัวโปรแกรมเองโดยตรง หรือจะนำเข้าจากโปรแกรมเขียนแบบอื่น ๆ ก็ได้เช่นเดียวกันในที่นี้ได้ทำการเขียนแบบด้วยโปรแกรมสร้างแบบจำลอง (SolidWorks) ทั้งในส่วนของลูกตุ้ม และกันชนทั้ง 2 รูปแบบ

โดยที่ลูกตุ้มจะทำการเปลี่ยนแปลงรูปทรง จากเดิมตามระเบียบข้อบังคับดังภาพที่ 25 ไปสู่รูปทรงที่ตัดพื้นผิวบนและล่าง คงเหลือไว้แต่บริเวณที่ปะทะกับกันชนจริง ๆ เท่านั้นดังปรากฏดังภาพที่ 26 เพื่อช่วยให้ใช้เวลาในคำนวณลดลง



ภาพที่ 25 ลูกตุ้มตามมาตรฐานอเมริกา



ภาพที่ 26 แบบลูกตุ้มที่ใช้ในการทดสอบในโปรแกรม

แต่เมื่อต้องการให้ลูกตุ้ม มีมวล 907 กิโลกรัม ดังที่มาตรฐานกำหนดไว้ จึงใช้การคำนวณย้อนกลับ เพื่อหาความหนาแน่นที่เหมาะสมกับปริมาตรลูกตุ้มที่ทำการทดสอบ

ปริมาตรลูกตุ้ม เท่ากับ 9,943,247.66258 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

มวล 907 กิโลกรัม

ดังนั้น ความหนาแน่น เท่ากับ มวล/ปริมาตร

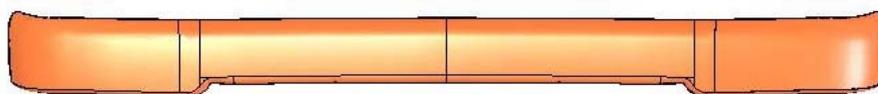
$$\begin{aligned} m/v &= 907/(9,943,247.66258) \\ &= 9.121768 \cdot 10^{-5} \text{ กิโลกรัม/ลูกบาศก์มิลลิเมตร} \end{aligned} \quad (52)$$

จะต้องใช้หน่วยความหนาแน่นเป็น ตัน/มิลลิเมตร<sup>3</sup>

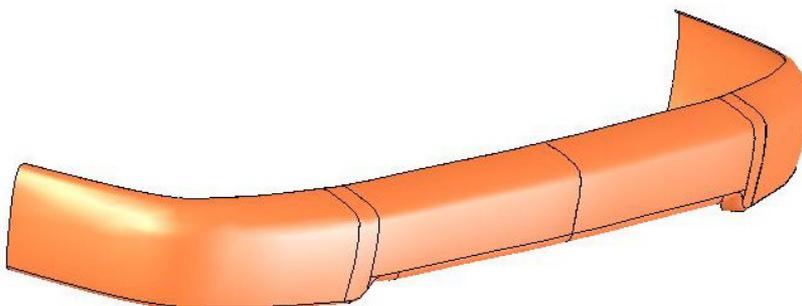
หรือเท่ากับ ความหนาแน่น  $9.121768 \cdot 10^{-8}$  ตัน/มิลลิเมตร<sup>3</sup>

ส่วนกันชนทั้งสองแบบ ได้ทำการเขียนแบบขึ้นมาใหม่ โดยอ้างอิงมิติใด ๆ ตามชิ้นส่วนกันชนของจริง ดังแสดงในภาพที่ 27 ถึง 30

กันชน model A

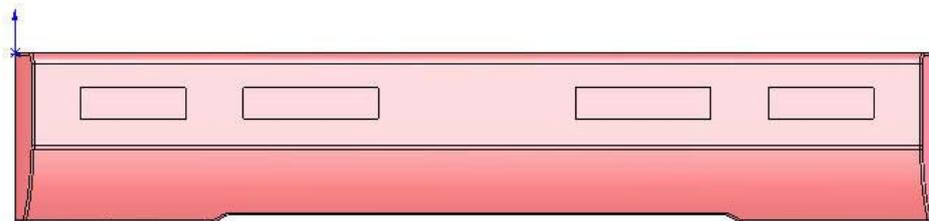


ภาพที่ 27 รูปกันชนแบบ A ที่ใช้ทดสอบ

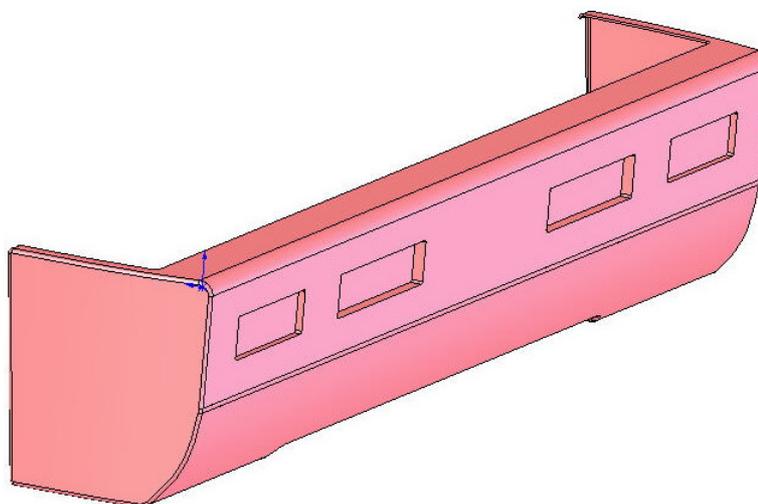


ภาพที่ 28 รูปกันชนแบบ A ที่ใช้ทดสอบ (เพิ่มเติม)

กันชน model B



ภาพที่ 29 กันชนแบบ B ที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 30 กันชนแบบ B ที่ใช้ทดสอบ (เพิ่มเติม)

## 2. Property

ส่วนนี้เพื่อระบุคุณสมบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ หรือขอบเขตของชิ้นส่วน อาทิเช่น กำหนดคุณสมบัติของเนื้อ โลหะ และกำหนดพื้นที่หน้าตัด

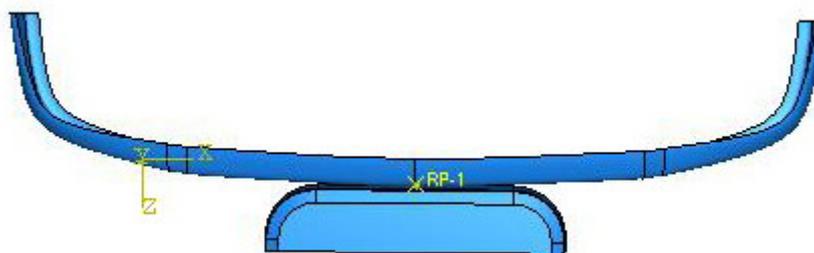
ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดให้มีวัสดุ 2 ชนิดด้วยกัน คือ เหล็ก และอลูมิเนียมเกรด ASTM A36, 6061 ตามลำดับ ซึ่งจากการค้นคว้าได้คุณสมบัติของวัสดุตามตารางในภาคผนวก ก

สำหรับการกำหนดชนิดของวัสดุ (section) เลือกให้แบบจำลองกันชนเป็นพื้นผิวบาง (shell) และกำหนดให้ลูกตุ้มเป็นวัสดุแข็งเกร็ง (solid)

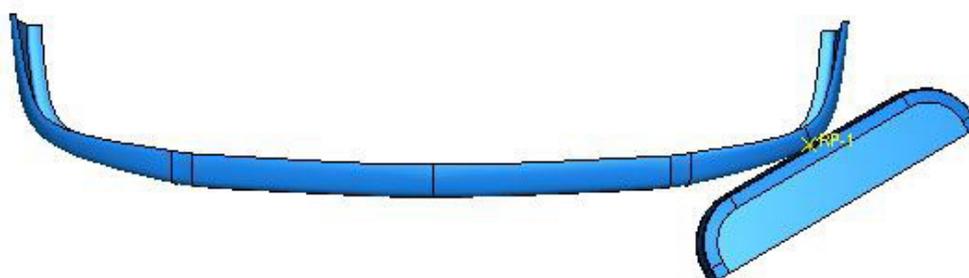
### 3. Assembly

เมื่อสร้างชิ้นส่วนแล้ว พิกัดจะอ้างอิงกับชิ้นงานนั้นเสมอตั้งแต่ต้น ดังนั้นกรณีที่มีชิ้นงานมากกว่า 2 ชิ้นกระทำกัน จึงจำเป็นต้องกำหนดพิกัดโดยรวมและยังเป็นการนำชิ้นงานเข้ามาจัดวางตำแหน่งก่อนการจำลองอีกด้วย

เลือกชิ้นงานที่ต้องการทำการวิเคราะห์ห้้นนั้นก็คือ กันชนและลูกตุ้มจากนั้นตั้งวางตำแหน่งตามกฎข้อบังคับ ทั้งในส่วนของการชนแนวตั้งฉาก และการชนทำมุม 60 องศา ดังปรากฏในภาพที่ 31 และ 32



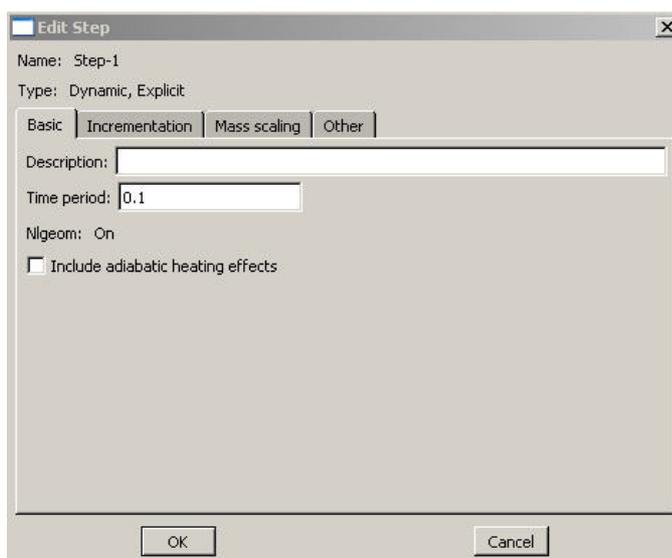
ภาพที่ 31 แสดงการชนในแนวตั้งฉาก



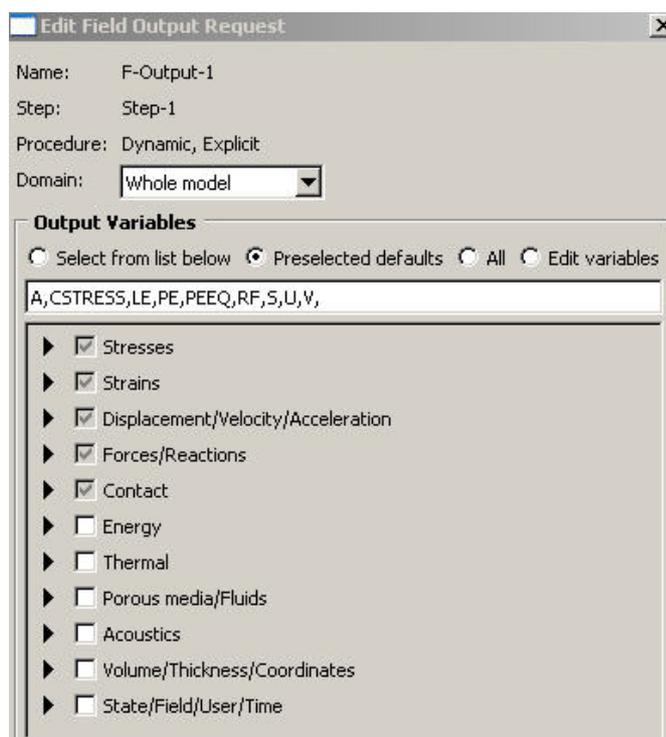
ภาพที่ 32 แสดงการชนในแนวทำมุม 60 องศา

#### 4. Step

ขั้นตอนนี้เพื่อกำหนดขั้นตอนการวิเคราะห์ และระบุตัวแปรของผลลัพธ์ที่ต้องการ อาทิเช่น กำหนดเวลาการจำลองทั้งหมดดังแสดงในภาพที่ 33 กำหนดผลลัพธ์คือ ความเค้น ระยะยวบตัวดังภาพที่ 34 เป็นต้น



ภาพที่ 33 การกำหนดเวลาการจำลองทั้งหมด

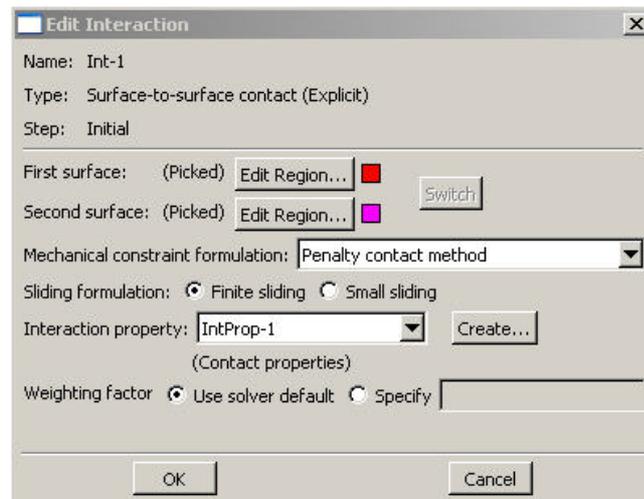


ภาพที่ 34 การตั้งค่าผลลัพธ์ที่ต้องการทราบ

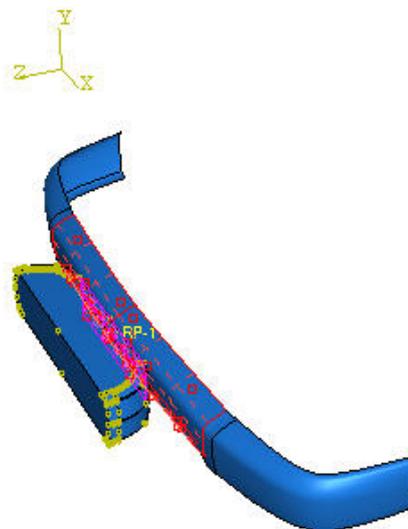
## 5. Interaction

ไว้กำหนดคุณสมบัติทางกลและด้านความร้อนของการกระทำระหว่างชิ้นงาน หรือระหว่างชิ้นงานและส่วนอื่น ๆ อาทิเช่น คุณสมบัติการสัมผัสกันระหว่างพื้นผิว

ในที่นี้การปะทะระหว่างพื้นผิวของลูกตุ้มและกันชน เป็นการปะทะแบบ surface to surface และใช้สูตรการคำนวณแบบ penalty contact method ดังแสดงในภาพที่ 35 และ 36 ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นผิวทั้งคู่ แสดงในตารางภาคผนวกที่ 4



ภาพที่ 35 การตั้งค่าคุณสมบัติระหว่างพื้นผิว

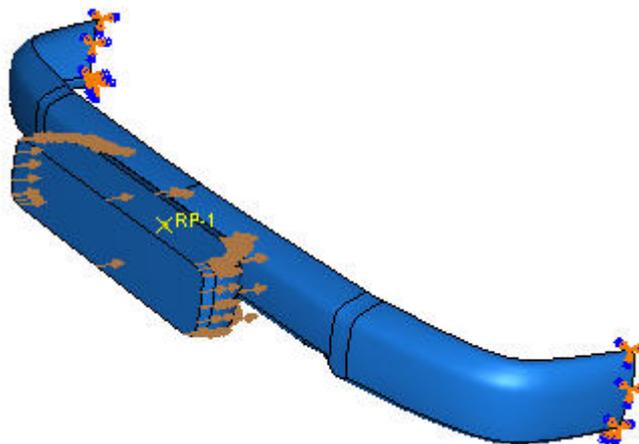


ภาพที่ 36 แสดงการเลือกพื้นผิวที่ทำการปะทะ

## 6. Load

เพื่อกำหนดภาระที่มากกระทำ เงื่อนไขขอบ เช่น แรงที่มากกระทำกับชิ้นงาน และ ลักษณะของจุดรองรับใด ๆ ดังแสดงในภาพที่ 37

ส่วนนี้ต้องระบุรูปแบบของจตุรรองรับที่กันชน และความเร็วและทิศทางของลูกตุ้มที่จะเข้ามาปะทะ ซึ่งกรณีชนในแนวตั้งฉากจะกำหนดความเร็วเท่ากับ 1.111 เมตรต่อวินาที และการชนในแนวทำมุม 60 องศาจะมีความเร็วเท่ากับ 0.667 เมตรต่อวินาที

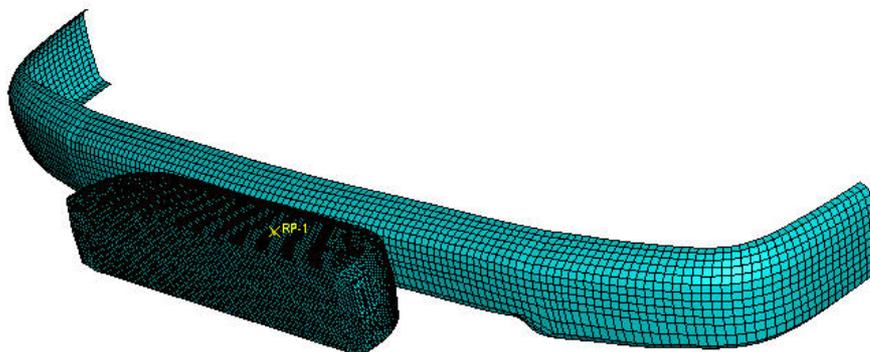


ภาพที่ 37 แสดงรูปแบบการรองรับและทิศทางการปะทะ

## 7. Mesh

ส่วนนี้สำหรับเก็บเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเอลิเมนต์ และกำหนดคุณสมบัติของเอลิเมนต์ทั้งในเรื่องขนาด จำนวน รูปทรง

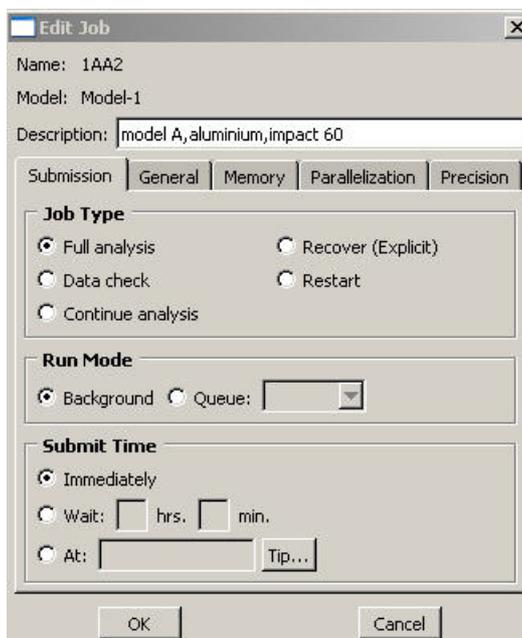
จากงานวิจัยของ Hew and Sung (1993) พบว่าได้ใช้เอลิเมนต์แบบแผ่นบาง รูปทรงสี่เหลี่ยม (shell element) ซึ่งให้ค่าที่แม่นยำจึงได้เลือกใช้เอลิเมนต์เช่นเดียวกัน รูปแบบ S4R และเนื่องจากความซับซ้อนของพื้นผิวที่ลูกตุ้ม จึงได้เลือกใช้เอลิเมนต์แบบรูปทรงสี่หน้า (tetrahedral elements) รูปแบบ C3D4 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ได้ดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ของชิ้นงาน

## 8. Job

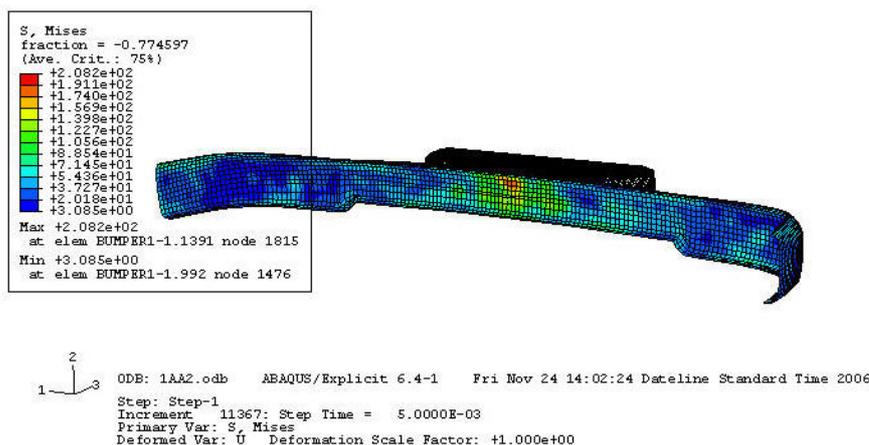
เมื่อเสร็จสิ้นการปรับตั้งค่าใด ๆ แล้ว ส่วนนี้จะเป็นเครื่องมือสั่งงานก่อนทำการวิเคราะห์ และตรวจสอบความก้าวหน้าขณะโปรแกรมทำงาน สามารถพิมพ์ข้อความอธิบายกรณีทำการจำลองนั้น ๆ ได้ หรือแม้กระทั่งตั้งเวลาให้โปรแกรมทำการคำนวณหาผลลัพธ์ที่เวลาใด ๆ ดังแสดงภาพที่ 39



ภาพที่ 39 แสดงการตั้งค่าก่อนการวิเคราะห์ผล

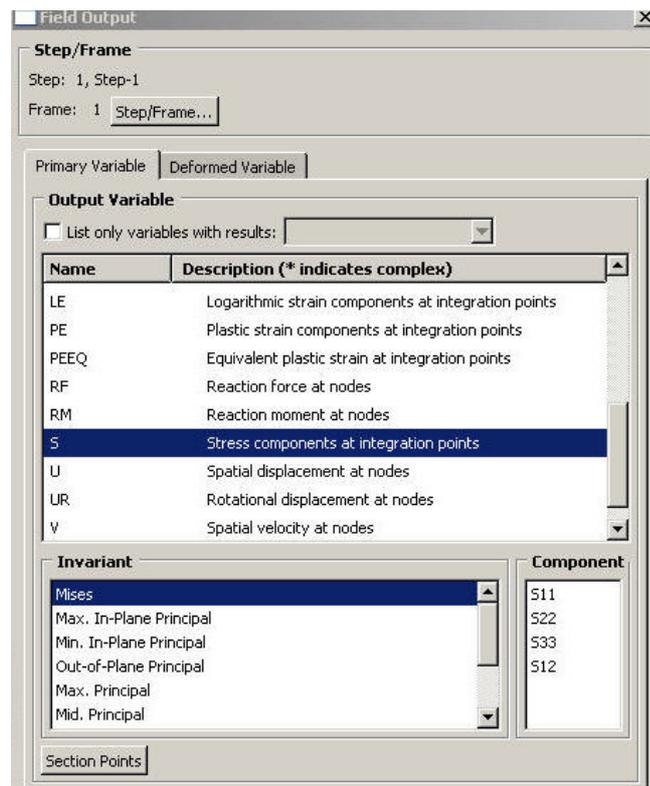
## 9. Visualization

หัวข้อนี้เพื่อเข้ามาดูผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นภายหลังทำการวิเคราะห์เสร็จสิ้น อาจแสดงผลในรูปแบบของกราฟเส้น หรือแม้กระทั่งภาพเคลื่อนไหว จะเห็นผลลัพธ์ได้จากภาพที่ 40



ภาพที่ 40 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเค้นที่เกิดขึ้นบนกันชน

และยังสามารถปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ต้องการทราบผลได้จากหัวข้อ ดังแสดงในภาพที่ 41  
ทั้งในส่วนของระยะยุบตัว แรงที่มากระทำ



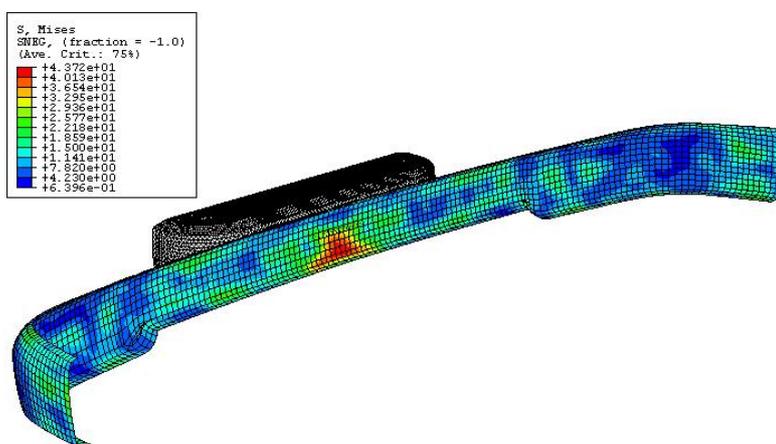
ภาพที่ 41 การเลือกค่าผลลัพธ์ที่ต้องการทราบ

## ผลการทดลอง

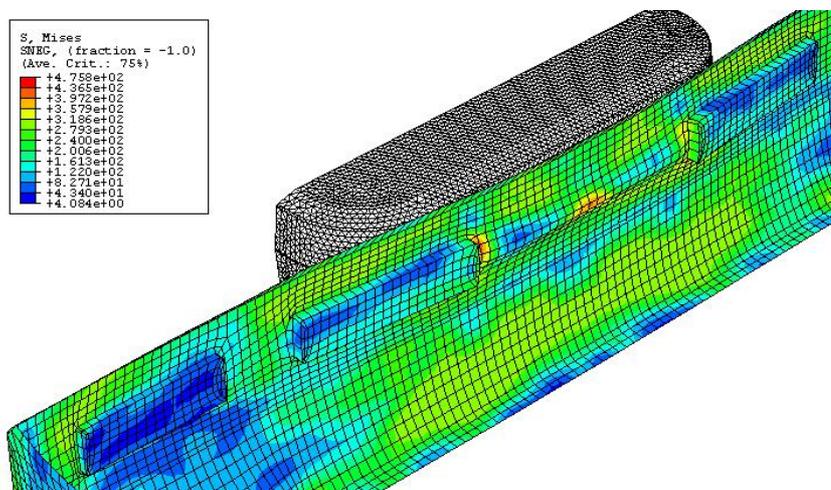
จากการจำลองในโปรแกรมที่ผ่านมาได้ทำการเก็บค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นที่เวลาใด ๆ ภายในช่วง 0.1 วินาที และแบ่งผลลัพธ์ที่ต้องการออกเป็น 4 ชนิดด้วยกัน คือ

1. ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการชน (von mise stress) มีหน่วยเป็นเม็กกะปาสคาล (MPa)
2. ระยะยุบตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการชน (Maximum displacement) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
3. แรงปะทะสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการชน (Maximum Impact Force) มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)
4. แรงปฏิกิริยาสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการชน (Maximum Reaction Force) มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

พิจารณาบริเวณที่เกิดความเค้นสูงสุด มักจะเกิดที่จุดกึ่งกลางของการปะทะ แต่มีบางกรณีที่มีความเค้นสูงสุดเกิดที่บริเวณขอบจุดติดตั้งไฟด้วย เนื่องจากการเกิดความหนาแน่นของความเค้นที่บริเวณพื้นผิวที่เปลี่ยนรูปทรงกะทันหัน ดังแสดงในภาพที่ 42 และ 43



ภาพที่ 42 แสดงความเค้นสูงสุดที่เกิดในกันชน โมเดล A



ภาพที่ 43 แสดงความเค้นสูงสุดที่เกิดในกันชน โมเดล B

ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้น กรณีปะทะแบบตั้งฉาก

ตารางที่ 2 กรณีปะทะแบบตั้งฉากใน โมเดล A

| Bumper  | Materials | Thickness | Stress | Displacement | Reaction Force | Impact Force |
|---------|-----------|-----------|--------|--------------|----------------|--------------|
| Model A | ASTM A36  | 2         | 290.5  | 5.201        | 1835           | 66000        |
|         |           | 4         | 193.7  | 1.194        | 2304           | 73200        |
|         |           | 6         | 180.3  | 0.788        | 3381           | 101000       |
|         | Alu. 6061 | 2         | 170.5  | 3.668        | 1043           | 21330        |
|         |           | 4         | 43.7   | 1.222        | 870            | 25750        |
|         |           | 6         | 37.1   | 0.729        | 1302           | 35420        |

ตารางที่ 3 กรณีปะทะแบบตั้งฉากใน โมเดล B

| Bumper  | Materials | Thickness | Stress | Displacement | Reaction Force | Impact Force |
|---------|-----------|-----------|--------|--------------|----------------|--------------|
| Model B | ASTM A36  | 2         | 475.8  | 69.620       | 3761           | 262500       |
|         |           | 4         | 459.8  | 45.530       | 6943           | 369200       |
|         |           | 6         | 459.2  | 37.940       | 11480          | 550100       |
|         | Alu. 6061 | 2         | 340.7  | 59.790       | 2034           | 92350        |
|         |           | 4         | 340.7  | 41.930       | 3861           | 129900       |
|         |           | 6         | 306.9  | 35.750       | 7973           | 193500       |

ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้น กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศา

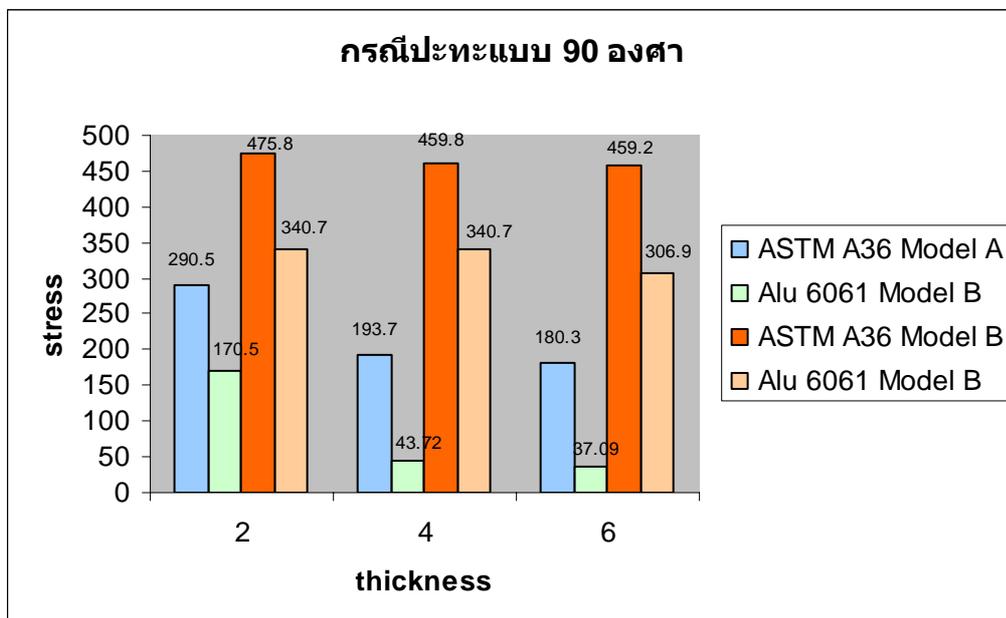
ตารางที่ 4 กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศาใน โมเดล A

| Bumper  | Materials | Thickness | Stress | Displacement | Reaction Force | Impact Force |
|---------|-----------|-----------|--------|--------------|----------------|--------------|
| Model A | ASTM A36  | 2         | 242.3  | 6.937        | 1346           | 151500       |
|         |           | 4         | 253.5  | 4.824        | 2322           | 301700       |
|         |           | 6         | 261.5  | 3.755        | 5657           | 448700       |
|         | Alu. 6061 | 2         | 161.0  | 3.060        | 701            | 52900        |
|         |           | 4         | 167.0  | 2.260        | 1040           | 160000       |
|         |           | 6         | 190.0  | 2.030        | 1700           | 158000       |

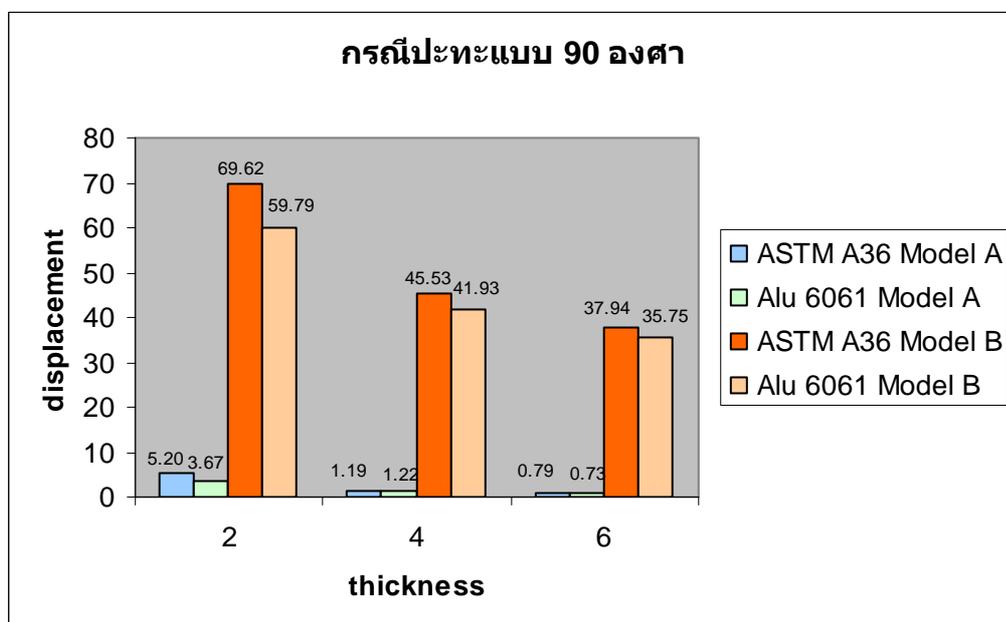
ตารางที่ 5 กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศาใน โมเดล B

| Bumper  | Materials | Thickness | Stress | Displacement | Reaction Force | Impact Force |
|---------|-----------|-----------|--------|--------------|----------------|--------------|
| Model B | ASTM A36  | 2         | 234.0  | 0.648        | 111            | 37900        |
|         |           | 4         | 213.0  | 1.160        | 471            | 164000       |
|         |           | 6         | 224.0  | 0.257        | 958            | 78800        |
|         | Alu. 6061 | 2         | 24.1   | 0.821        | 60             | 13220        |
|         |           | 4         | 220.0  | 1.283        | 442            | 57700        |
|         |           | 6         | 235.5  | 1.458        | 1054           | 119100       |

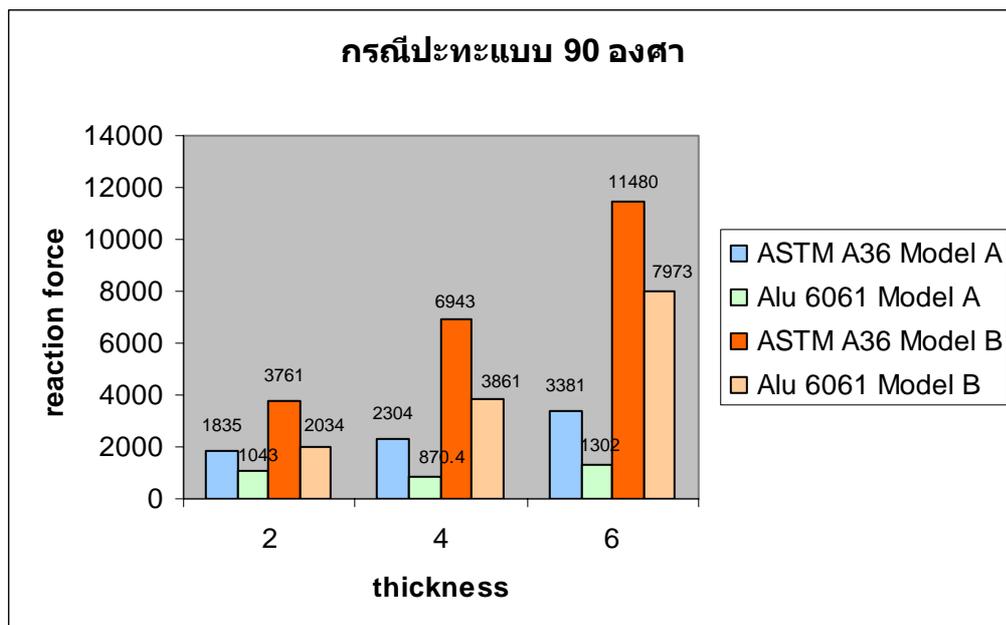
แผนภูมิแท่งแสดงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น



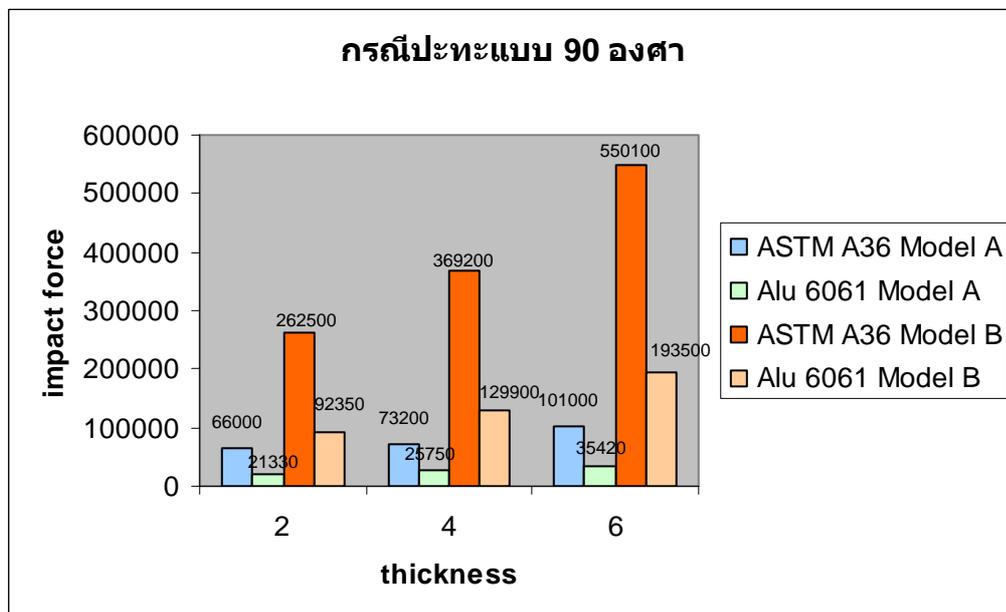
ภาพที่ 44 กรณีปะทะแบบตั้งฉาก แสดงความเค้นกับความหนาของกันชน



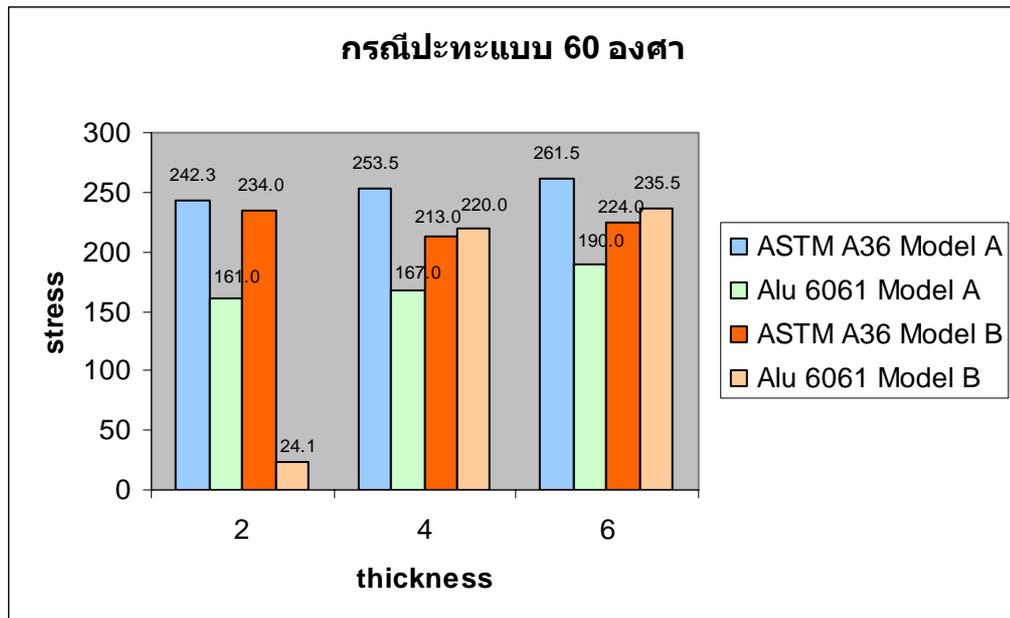
ภาพที่ 45 กรณีปะทะแบบตั้งฉาก แสดงระยะยุบตัวกับความหนาของกันชน



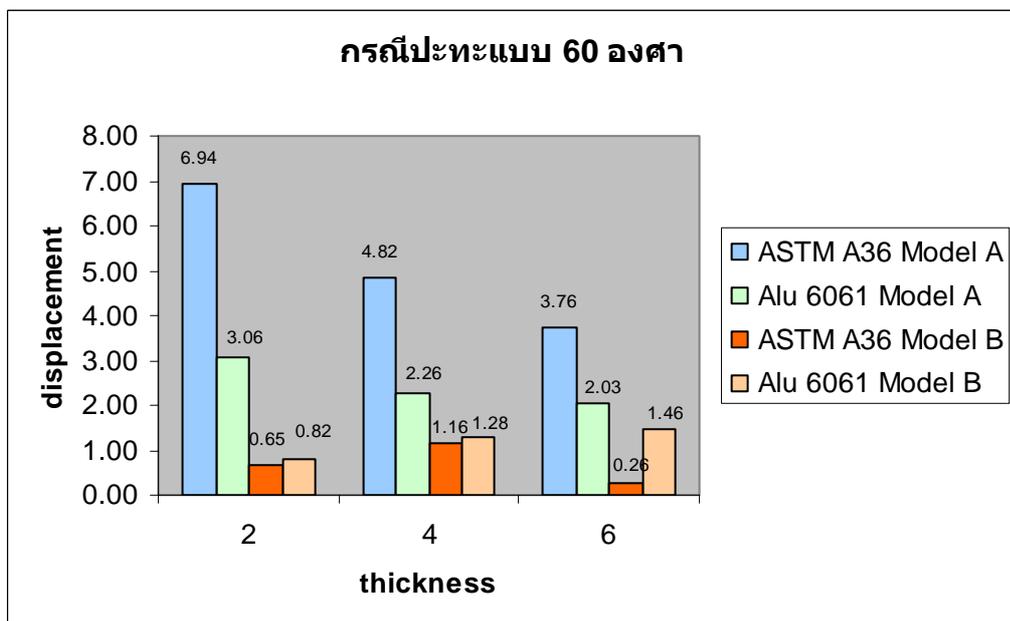
ภาพที่ 46 กรณีปะทะแบบตั้งฉาก แสดงแรงปฏิกิริยากับความหนาของกันชน



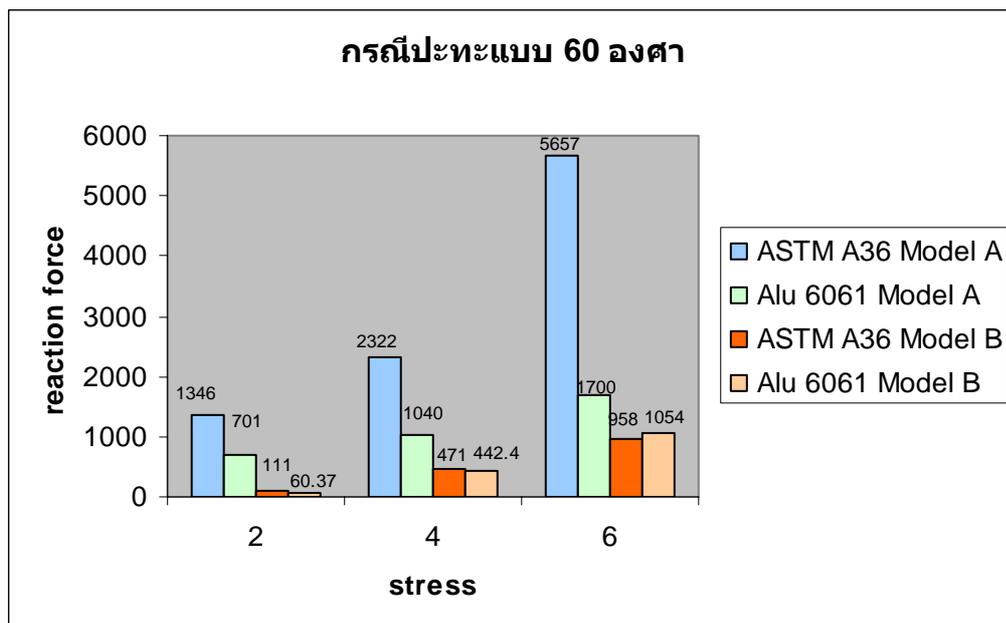
ภาพที่ 47 กรณีปะทะแบบตั้งฉาก แสดงแรงปะทะกับความหนาของกันชน



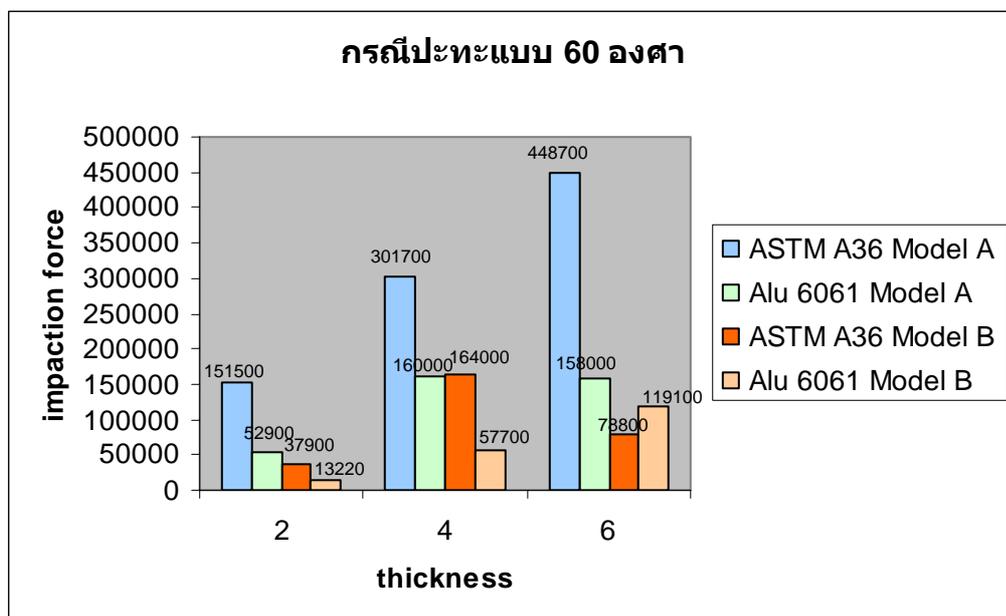
ภาพที่ 48 กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศา แสดงความเค้นกับความหนาของกันชน



ภาพที่ 49 กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศา แสดงระยะยุบตัวกับความหนาของกันชน



ภาพที่ 50 กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศา แสดงแรงปฏิกิริยากับความหนาของกันชน



ภาพที่ 51 กรณีปะทะแบบทำมุม 60 องศา แสดงแรงปะทะกับความหนาของกันชน

## วิจารณ์ผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาถึงความเค้นครากที่ตัววัสดุเอง สำหรับวัสดุ ASTM เท่ากับ 250 MPa ซึ่งในการจำลองการปะทะบางกรณี วัสดุมีความเค้นเกิดขึ้นไม่ถึง 250 MPa จึงอาจสรุปได้ว่า กรณีที่ความเค้นที่เกิดขึ้นไม่ถึงความเค้นคราก ทำให้กันชนไม่เกิดความเสียหายแต่อย่างใด และสามารถผ่านกฎ หรือกฎข้อบังคับเกี่ยวกับความแข็งแรงของกันชนไปได้

การชนแบบทำตั้งฉากของโมเดล B จะทำให้เกิดความเสียหายมากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นค่าความเค้นที่เกิดขึ้น ระยะยุบตัว และค่าความเค้นที่เกิดยังมากกว่าความเค้นครากที่ตัววัสดุ ดังนั้น การชนแบบตั้งฉากของโมเดล B จะทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรง หรือมีระยะยุบตัวไปอย่างถาวร ค่าเท่ากับ 69.620 มิลลิเมตรสำหรับวัสดุเหล็ก และเท่ากับ 59.790 มิลลิเมตรสำหรับวัสดุอลูมิเนียม ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่ามาตรฐานกำหนดไว้มาก (1.9 cm) แต่ทั้งนี้ก็ยังไม่สามารถระบุได้อย่างเด่นชัดว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่มีอยู่ในปัจจุบันหรือไม่ เพราะว่าการทดลองนี้ได้ยึดตัวกันชนอยู่กับที่ไม่ได้ติดตั้งอยู่กับรถยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้หลังการชน

ระหว่างโมเดล A และโมเดล B ยังมีความเค้นที่แตกต่างกันอีก อาจอธิบายได้ว่า โมเดล B มีความยาวและขนาดใหญ่กว่าโมเดล A จึงทำให้เกิดทั้งความเค้นและระยะยุบตัวที่มากกว่า เสมือนกันที่มีจุดยึดที่ปลายทั้งสองข้างที่ความเค้นจะยิ่งมากขึ้น เมื่อกันมีความยาวมากขึ้น หรือเมื่อพิจารณาทางด้านรูปทรง จะเห็นได้ชัดว่า โมเดล B นั้นมีขอบกันชนบนและล่างน้อยกว่า ซึ่งเป็นจุดบกพร่องอย่างหนึ่ง ทำให้มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่าโมเดล A เป็นผลให้เกิดการยุบตัวที่มากกว่านั่นเอง

เมื่อมองในกรณีการชนแบบทำมุม 60 องศา จะเห็นได้ชัดเจนว่า ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นลดน้อยลงกว่ากรณีชนแบบตั้งฉากเป็นอย่างมาก เนื่องด้วยตำแหน่งที่ปะทะอยู่ใกล้กับจุดรองรับ และแรงได้ส่งผ่านไปตามแนวยาวของกันชน แทนที่แรงจะกระทำในแนวขวางอย่างกรณีชนแบบตั้งฉาก ทั้งยังเป็นการปะทะที่กระทำใกล้กับจุดรองรับ ทำให้เกิดโมเมนต์คดน้อยลงมาก และระยะยุบตัวของทุกกรณีที่ชนแบบ 60 องศาไม่เกิน 1.9 เซนติเมตร ซึ่งอาจจะยืนยันได้ทันทีว่าเมื่อทดสอบกันชนในลักษณะนี้ไม่ว่าความหนาจะเป็นเท่าไร จะไม่มีทางเกิดกฎที่กำหนดไว้ และเป็นเช่นเดียวกันไม่ว่ากันชนจะถูกติดตั้งกับรถยนต์ที่เคลื่อนที่ได้ หรือว่าจับยึดอยู่กับที่ก็ตาม

การชนทุกกรณีบ่งบอกได้ว่าเมื่อความหนาของกันชนยิ่งเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่ากันชนนั้นจะรูปทรงเช่นไร หรือวัสดุอะไรก็ตาม จะทำให้เกิดแรงปะทะ และแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับเพิ่มมากขึ้นตามความหนาที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มความหนาขึ้นเรื่อย ๆ จุดที่ต้องพิจารณาต่อไป อาจต้องมองไปถึงจุดรองรับด้วย ซึ่งอาจจะเสียหายก่อนกันชน ในความเป็นจริงแล้วนักออกแบบและวิศวกรมักจะออกแบบให้เกิดการเสียหายที่ตัวกันชน ก่อนจุดรองรับและส่วนอื่น ๆ เพื่อที่เวลาการเกิดเสียหายจะสามารถซ่อมแซมได้เฉพาะส่วน และค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาที่ต่ำกว่า

กรณีพิจารณาในแง่พลังงานจลน์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีต่าง ๆ จะเห็นได้ชัดเจนว่ากราฟมีลักษณะเหมือนกับการประพุดตัวของสปริง ยิ่งกันชนมีความหนาเพิ่มขึ้นมากเท่าไร ก็จะทำให้วัสดุมีความหน่วงมากยิ่งขึ้น และการสั่นกระเพื่อมของกราฟจะยิ่งลดน้อยลงตามไปด้วยที่ 6 มิลลิเมตรแทบจะไม่มีสั่นของเส้นกราฟให้เห็น

สำหรับโมเดลแบบ B พบว่าความเค้นที่เกิดขึ้นสูงสุด ไม่ได้เกิดบริเวณกึ่งกลางแต่อย่างใด แต่ไปเกิดที่บริเวณรอยต่อของพื้นผิวด้วยตรงขอบ ๆ พื้นที่ตั้งไฟตัดหมอก แสดงให้เห็นว่าความเค้นหนาแน่นที่บริเวณจุดนี้ ดังนั้นการออกแบบกันชนที่ดีไม่ควรที่จะติดตั้งอุปกรณ์ใด ๆ หรือออกแบบรูปทรงที่มีหลายๆพื้นผิวประกอบกัน เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงความเค้นที่เกิดขึ้นในจุดนี้

ช่วงเวลาที่พิจารณาของการทดลองนี้คือ 0.1 วินาที เท่ากับ 100 มิลลิวินาที แต่การจากทดลองที่ผ่านมาสังเกตได้ว่าค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรง จะเกิดแค่เฉพาะเวลาในช่วง 0.06 วินาที

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

เนื่องจากความสำคัญของกันชนรถยนต์ที่มีในปัจจุบัน เมื่อถูกอ้างอิงหรือทดสอบภายใต้มาตรฐานสากล ก็จะทำให้กันชนเกิดความปลอดภัยและน่าเชื่อถือได้ยิ่งขึ้น ทั้งยังช่วยยกระดับมาตรฐานกันชนของไทยให้เทียบเท่านานาชาติได้ งานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปร 4 ชนิด ที่มีผลต่อความแข็งแรงของกันชน สรุปเป็นหัวข้อต่างๆได้ดังนี้

1. ความหนาของกันชน เมื่อเพิ่มความหนามากขึ้นจะทำให้ระยะยุบตัวและความเค้นในวัสดุลดลง แต่แรงปฏิกิริยาและแรงปะทะจะยิ่งเพิ่มสูงขึ้น
2. รูปทรงของกันชน กันชนที่มีรูปทรงซับซ้อนและมีความยาวของกันชนมากกว่ากันชนนั้นจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อการปะทะได้มากกว่า
3. วัสดุของกันชน อลูมิเนียมจะเกิดความเค้น ระยะยุบตัว และแรงปะทะที่ต่ำกว่าวัสดุเหล็ก
4. มาตรฐานการทดสอบ ทั้งในแบบปะทะตั้งฉาก และทำมุม 60 องศา พบว่ากรณีที่กันชนจะเสียหายมากที่สุด เกิดจากการชนแบบตั้งฉาก

เมื่อพิจารณาจาก 24 กรณีที่ทำการวิจัยจะพบว่ากันชนรูปแบบ A ทั้งวัสดุเหล็กและอลูมิเนียมที่ความหนาใด ๆ สามารถผ่านการทดสอบไปได้ทั้งในรูปแบบปะทะตั้งฉาก และทำมุม 60 องศา จึงชี้ให้เห็นได้ว่าการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ นำมาใช้งานได้จริง และเป็นประโยชน์ต่อวงการยานยนต์ในอนาคต ซึ่งจะช่วยลดเวลาและงบประมาณในการออกแบบ

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรพิจารณาอุปกรณ์รองรับของกันชนด้วย
2. มีการเสริมความแข็งแรงบริเวณที่เกิดความเค้นสูงของกันชน

3. ก้นชนที่ดี ไม่ควรมีรอยหยัก หรือการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวมากนัก
4. หาความหนาของก้นชน ที่สามารถผ่านเกณฑ์ข้อบังคับ
5. ทดลองเปลี่ยนรูปแบบ ของระบบก้นชน เช่นการมีคานเสริมภายใน

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

เดช พุทธเจริญทอง. 2541. การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์. ศูนย์สื่อสารกรุงเทพ, กรุงเทพฯ.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2537. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

มนตรี พิรุณเกษตร. 2541. กลศาสตร์ของวัสดุ เล่ม 1. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. 2543. กลศาสตร์ของแข็ง. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ABAQUS, Inc. 2003. **ABAQUS user's Manual**. U.S.A.

American Iron and Steel Institute. 2003. **Steel Bumper Systems for Passenger Cars and Light Trucks**. 2<sup>nd</sup> ed. n.p.

Brewer, J.C. n.d. **Effect of angles and offsets in crash simulations of automobile with light truck**. Volpe National Transportation System Center United States Paper Number 308.

Cheon, S. S., J. H. Choi and D. G. Lee. 1995. Delopment of the composite bumper beam for passenger cars. **Composite Structures**. 32: 491-499.

Chou, P. C. and N. J. Pagano. 1992. **Elasticity tensor, dyadic and engineering approaches**. Dover Publications, New York.

Ferdinarnd, L.S. 1987. **Strength of Material**. Harper & Row Publishers, New York.

Hew, W.L. and K. J. Sung. 1993. **Bumper design using computer simulation**. R&D Department SsangYong Motor Company.

- Hosseinzadeh, R., M.M. Shokrieh and L.B. Lessard. 2004. **Parametric study of automotive composite bumper beams subjected to low-velocities impacts.** Composite Structures.
- Li, Y., Z. Lin, A. Jiang and G. Chen. 2003. Use of high strength steel sheet for lightweight and crashworthy car body. **Material & Design** 24: 177-182.
- Reid, J. D. 1996. Crashworthiness of Automotive Steel Members: Thickness and Material Sensitivity. **Thin-Walled Structures** 26: 83-103.
- Sharpe, N. and K. Houtzager. **Improved design for frontal protection.** Paper No. 329.
- Trantina G. and R. Nimmer. 1994. **Structural Analysis of Thermoplastic Components.** McGraw-Hill Book Co, Singapore.
- Thole, C. A. and L. Mei. 2003. **Reasons for scatter in crash simulation results.** NAFEMS Seminar. May 7-8. Wiesbaden Germany.
- Warren G. L. and F. G. Ephraim. 1987. An Evaluation of the bumper standard. **NHTSA Report** Number DOT HS 807 072.
- Yang, R. J., C. H. Tho, C. C. Wu, D. Johnson and J. Cheng. 1999. **A Numerical study of crash optimization.** ASME Design Engineering Technical Conference. September 12-15. Las Vegas Nevada.

**ภาคผนวก**

**ภาคผนวก ก**  
**ตารางคุณสมบัติของวัสดุ**

ตารางผนวกที่ ก1 ความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดของวัสดุ ASTM A36

| Stress (MPa) | Strain |
|--------------|--------|
| 276          | 0      |
| 292.01       | 0.01   |
| 298.09       | 0.02   |
| 310.26       | 0.04   |
| 322.43       | 0.06   |
| 333.38       | 0.08   |
| 340.68       | 0.1    |

ที่มา: University of New Mexico (2004)

ตารางผนวกที่ ก2 ความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดของวัสดุอลูมิเนียม 6061

| Stress (MPa) | strain |
|--------------|--------|
| 313.675      | 0      |
| 332.617      | 0.025  |
| 405.354      | 0.05   |
| 441.722      | 0.075  |
| 463.694      | 0.1    |
| 475.817      | 0.125  |

ที่มา: Whaley (2000)

ตารางผนวกที่ ก3 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ 2 ชนิด

| Materials | Density<br>(g/cc) | Ultimate Tensile  | Tensile Yield     | Modulus of          | Poisson's |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-----------|
|           |                   | Strength<br>(MPa) | Strength<br>(MPa) | Elasticity<br>(GPa) | Ratio     |
| ASTM A36  | 7.85              | 400-550           | 250               | 200                 | 0.3       |
| Alu 6061  | 2.7               | 310               | 276               | 68.9                | 0.33      |

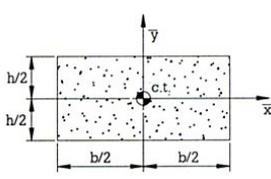
ที่มา: www.matweb.com

ตารางผนวกที่ ก4 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นผิว

| material 1 | material 2 | Coefficient Of Friction |         |
|------------|------------|-------------------------|---------|
|            |            | static                  | dynamic |
| steel      | steel      | 0.78                    | 0.42    |
| steel      | aluminium  | 0.61                    | 0.47    |

ที่มา: J.R.Davis (1998)

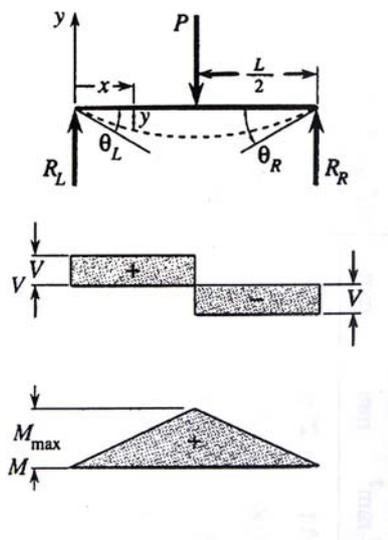
ตารางผนวกที่ ก5 คุณสมบัติของหน้าตัดคาน

| ภาพหน้าตัดของพื้นที่  | ขนาดของพื้นที่ (A) | โมเมนต์ความเฉื่อย<br>รอบแกนสะเทิน                                     |
|---|--------------------|---|
| <p>สี่เหลี่ยมผืนผ้า</p>  | $A = bh$           | $(J_z = I_x + I_y)$ $I_x = \frac{1}{12}bh^3$ $I_y = \frac{1}{12}b^3h$ |

ที่มา: ศุภชัย (2543)

ภาคผนวก ข  
การคำนวณการปะทะในแบบต่างๆ

## สมการการโก่งของคาน



ภาพผนวกที่ ข1 แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคานสมมาตร มีโหนดกระทำที่กึ่งกลาง

ที่มา: ศุภชัย (2543)

$$R_L = R_R = V = \frac{P}{2}$$

$$M_{\max} = \frac{PL}{4} \text{ ที่ } x = \frac{L}{2}$$

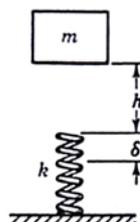
$$\theta_L = -\theta_R = -\frac{PL^2}{16EI}$$

$$y = -\frac{Px}{48EI}(3L^2 - 4x^2) \quad 0 < x < \frac{L}{2}$$

$$y_{\max} = -\frac{PL^3}{48EI}$$

### การวิเคราะห์ในรูปแบบงาน-พลังงาน

การหาค่าในตัวในวัตถุยืดหยุ่น (elastic body) อันเนื่องมาจากภาวะกระแทกจะประพฤติตัวเหมือนกับสปริง แต่เราไม่จำเป็นต้องหาค่าคงที่แล้วจะพิจารณาให้ปัญหาการกระแทกแบบนี้เสมือนวัตถุตกลงมา และหยุดโดยสปริงมีค่าคงที่  $K$ , มวล  $m$  มีความเร็วต้นเท่ากับศูนย์ที่จุดเริ่มต้น



#### ภาพผนวกที่ 2 การยุบตัวของมวลและสปริง

ที่มา: Ferdinand (1987)

จากกฎทรงพลังงาน

$$mg(h + \delta) - \frac{1}{2}k\delta^2 = 0$$

จัดภาพสมการใหม่ได้เป็น

$$\delta^2 - \frac{2mg\delta}{k} - \frac{2mgh}{k} = 0$$

โดยที่  $\delta_{st}$  = static deformation ระยะหดตัวอันเนื่องมาจากน้ำหนัก

$$= \frac{mg}{k}$$

$$\therefore \delta = \delta_{st} + \sqrt{(\delta_{st})^2 + 2\delta_{st}h}$$

กรณี  $h$  มีค่ามากกว่า  $\delta$  จนอาจตัดทิ้งงาน  $mg\delta$  ออกไปได้

$$\delta = \sqrt{\frac{2mgh}{k}} = \sqrt{2\delta_{st}h}$$

ในกรณีที่  $h=0$  (โหลดกระทำทันทีทันใด)

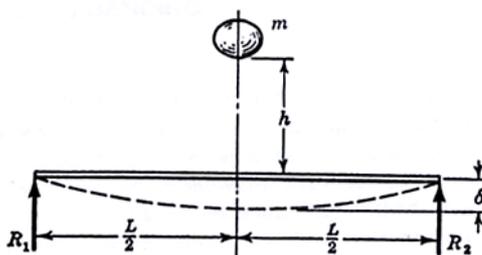
$$\delta = \frac{2mg}{k} = 2\delta_{st}$$

เพราะว่าโหลดกระทำทันทีทันใด ระยะยุบตัว, ความเค้นจะแปรผันโดยตรง และมีค่าเป็นสองเท่าของโหลดที่กระทำแบบนิ่ง ๆ

Impact factor = maximum dynamic deformation / static deformation

$$\delta = \delta_{st} + \delta_{st} \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}} = \delta_{st} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}} \right)$$

$$\frac{\delta}{\delta_{st}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}}$$



ภาพผนวกที่ ข3 การโก่งตัวของคานเมื่อมีโหลดตกมากระทำ

ที่มา: Singer (1987)

สมมติฐาน  $h \gg \delta_{st}$

$$\delta = \sqrt{2h\delta_{st}}$$

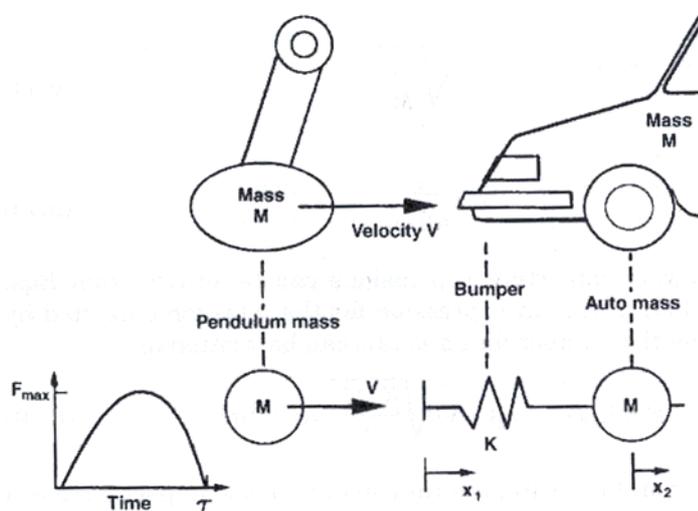
$$\delta_{st} = \frac{mgL^3}{48EI} \quad (\text{simple beam})$$

$$\frac{\delta}{\delta_{st}} = \sqrt{\frac{2h}{\delta_{st}}} = \sqrt{\frac{96EIh}{mgL^3}}$$

$$\sigma_{st} = \frac{Mc}{I} = \frac{mgL}{4} \cdot \frac{c}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{\delta}{\delta_{st}} \sigma_{st} = \sqrt{\frac{6mghEc^2}{LI}}$$

### การวิเคราะห์ในภาพแบบของมวลและสปริง



### ภาพผนวกที่ ข4 การจำลองการชนของรถยนต์ในรูปแบบมวลและสปริง

ที่มา: Trantina and Nimmer (1994)

จะพิจารณาระบบกันชน ให้เป็นสปริงและมวล โดยให้ลูกตุ้มเป็นวัตถุแข็งเกร็งมวล  $M$  มีความเร็ว  $V$

Stiffness ของลูกตุ้มมีค่ามากเมื่อเทียบกับกันชน และตัวรถที่ติดตั้งกันชนก็มีมวลเท่ากับ  $M$  เช่นเดียวกัน ดังนั้นน้ำหนักของกันชน จึงน้อยมากเมื่อเทียบกับรถยนต์ และจะไม่คำนึงถึงในการคำนวณ ให้ค่าคงที่ของสปริงมีค่า  $K_B = \frac{F}{X}$

จากสมการเชิงอนุพันธ์

$$M\ddot{x}_1 + K_B(x_1 - x_2) = 0$$

$$M\ddot{x}_2 + K_B(x_1 - x_2) = 0$$

และจากเงื่อนไขขอบข้างต้น

$$x_1(0) = 0$$

$$\dot{x}_1(0) = V$$

$$x_2(0) = 0$$

$$\dot{x}_2(0) = 0$$

โดยที่  $x_1$  และ  $x_2$  ที่เวลาใดๆ เท่ากับ

$$x_1 = \frac{V}{2}t + \frac{V}{2\sqrt{2}\omega} \sin \sqrt{2} \omega t$$

$$x_2 = \frac{V}{2}t + \frac{V}{2\sqrt{2}\omega} \sin \sqrt{2} \omega t$$

$$\omega = \sqrt{\frac{K_B}{M}}$$

และ  $t \leq \frac{\pi}{\sqrt{2}\omega}$

ลูกตุ้มที่ปะทะไปที่กันชน จะอยู่ในช่วงเวลา  $t \leq \pi / \sqrt{2}\omega$  หรืออาจจะเขียนภาพสมการใหม่ได้เป็น

$$F = K_B(x_1 - x_2) = V \sqrt{\frac{K_B M}{2}} \sin \sqrt{2} \omega t$$

แรงสูงสุดที่ปะทะก็คือ

$$F_{\max} = V \sqrt{\frac{K_B M}{2}}$$

การปะทะจะสิ้นสุดเมื่อ แรงเท่ากับศูนย์ และแสดงได้ดังสมการ

$$\tau = \frac{\pi}{\sqrt{2}}$$

พลังงานที่ดูดซับโดยกันชน

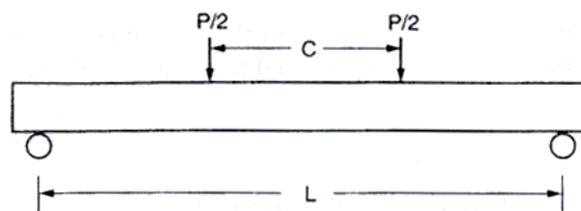
ขณะปะทะลูกตุ้มจะมีความเร็วจาก  $V$  ไปสู่  $0$  และรถยนต์จะมีความเร็วจาก  $0$  ไปสู่  $V$

รถยนต์จอดอยู่นิ่ง ไม่มีการใช้เบรก เป็นผลให้กันชนไม่ได้ดูดซับพลังงานจลน์ทั้งหมด จะมีพลังงานบางส่วนถูกส่งต่อไปที่ตัวรถยนต์ด้วย

ดังนั้นพลังงานสูงสุดที่กันชนได้ดูดซับไว้ระหว่างปะทะ อาจแสดงได้ด้วยสมการ

$$U_B = \frac{1}{2} K_B [(x_1 - x_2)_{\max}]^2 = \frac{1}{4} M V^2$$

และสมการข้างต้นยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับคานอีกภาพแบบหนึ่ง มีสมการแสดง  
ดังนี้



ภาพผนวกที่ ข5 คานสมมาตรมีโหนดกระทำ 2 จุด

ที่มา: Trantina and Nimmer (1994)

$$\omega = \frac{P(L-c)^2}{48EI}(L+2c)$$

P = โหลดที่กระทำลงบนคาน

L = ความยาวของคานระหว่างจุดรองรับ

C = ความยาวของลูกค้ำที่ทำการทดสอบ

E = ค่ายังก์มอดูลัส

ภาคผนวก ค  
ตัวอย่างการตั้งค่าตัวแปรในโปรแกรม

## 1. Part

ในส่วนนี้ของตัวโปรแกรม เป็นการนำเอาโมเดลเข้ามา โดยอาจจะเขียนแบบในโปรแกรม เขียนแบบทางวิศวกรรมอื่น ๆ แล้วนำไฟล์เข้าสู่โปรแกรมออบาคัสเอง หรือเขียนแบบในตัวโปรแกรม ออบาคัสเองก็ได้ การวิจัยในครั้งนี้ได้ เขียนแบบกันชนขึ้นจากโปรแกรม โซลิดเวิร์ค ทั้งภาพแบบกันชน และลูกตุ้มเอง

## 2. Properties

### Bumper A

Mass Density = 2.7E-9

Young's Modulus = 68900

Poisson's Ratio = 0.33

### Pendulum

Mass Density = 9.12177E-8

Young's Modulus = 200000

Poisson's Ratio = 0.3

Section: Shell Homogeneous

Shell thickness: 2, 4, 6 มิลลิเมตร

## 3. Assembly

เพื่อนำชิ้นงานเข้าสู่โปรแกรม และอ้างอิงพิคตามทิศทางที่ใช้งาน พร้อมด้วยการตั้งค่า เริ่มต้นการปะทะกันของชิ้นงานทั้งคู่

## 4. Step

ช่วงเวลาทำการวิเคราะห์การปะทะของกันชนเท่ากับ 0.1 วินาที

ตัวแปรที่ต้องการดูผลลัพธ์ ได้แก่

Stress, Displacement, Impact Force, Reaction Force

## 5. Interaction

Type: surface to surface contact (Explicit)

Step: Initial

First surface: ที่ผิวของกันชน

Second surface: ผิวหน้าของลูกตุ้ม

Mechanical constraint formulation: penalty contact method

Sliding formulation: finite sliding

Contact Property: Tangential Behavior

Friction formulation: penalty

Friction Coefficiency: 0.47 (aluminium & steel)

## 6. Load

Boundary Condition: Type Sy มิลลิเมตร etry/Antisy มิลลิเมตร etry/Encastre

Step: Initial

Region: เลือกที่บริเวณขอบของกันชน

Encastre ( $U1=U2=U3=UR1=UR2=UR3=0$ )

Field

Type: velocity

Step: Initial

Region: เลือกลูกตุ้มทั้งหมด

Definition: Translational only

$V1 = 0$

$V2 = 0$

$V3 = -1111$  หรือคิดเป็น 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

## 7. Mesh

Bumper: Model A

Element Shape: Quad

Technique: Free

Algorithm: Medial Axis

Element Library: Explicit

Family: Shell

Pendulum

Element Shape: Tet

Technique: Free

Element Library: Explicit

Family: 3D stress

Geometric order: linear

## 8. Job

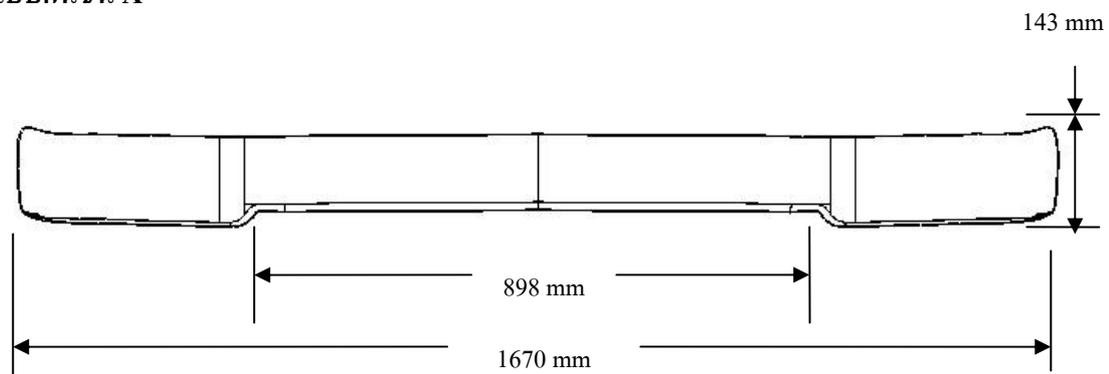
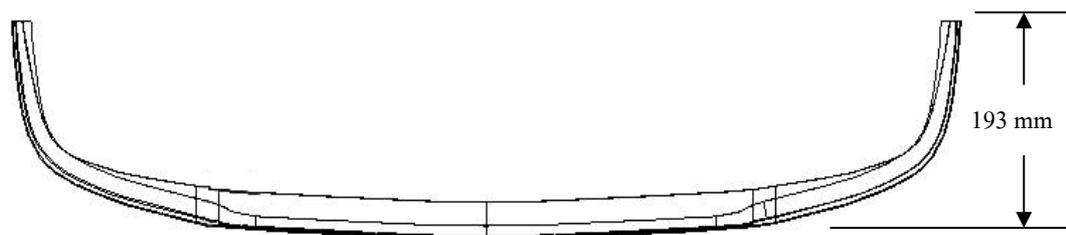
โมดูลที่ตั้งค่าต่าง ๆ ก่อนกระทำการวิเคราะห์

- ภาพแบบการวิเคราะห์
- ตั้งค่าหน่วยความจำชั่วคราวที่ต้องการแบ่งให้โปรแกรมใช้
- จำนวนซีพียูที่ใช้ คออร์เดียล หรือคออร์คู

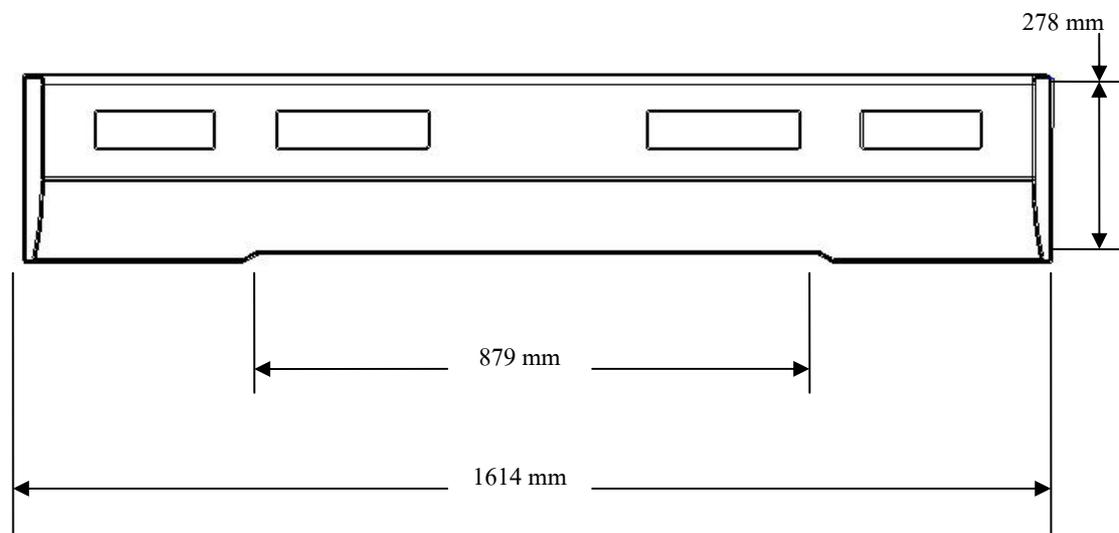
## 9. Visualization

หลังจากทำการวิเคราะห์เสร็จสิ้น โมดูลนี้จะไว้เพื่อการดูผลลัพธ์ทั้งหมด ทั้งในภาพแบบแผนภูมิเส้น หรือภาพทรงที่เปลี่ยนไปของตัวโมเดล

ภาคผนวก ง  
มติของกัณฑ์ทั้ง 2 แบบ

**แบบกันชน A****ภาพผนวกที่ ๑1 ขนาดกันชนแบบ A มุมมองด้านหน้า****ภาพผนวกที่ ๑2 ขนาดกันชนแบบ A มุมมองด้านบน**

## แบบกันชน B



ภาพผนวกที่ 3 ขนาดกันชนแบบ B มุมมองด้านหน้า



ภาพผนวกที่ 4 ขนาดกันชนแบบ B มุมมองด้านบน

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

|                      |   |
|----------------------|---|
| ชื่อ-นามสกุล         | อภิสิทธิ์ สุภตระกูลรัตน์  |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด | วันที่ 19 สิงหาคม 2522  |
| สถานที่เกิด          | จังหวัดสระบุรี  |
| ประวัติการศึกษา      | ระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์<br>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล<br>มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |