

## การวิเคราะห์ความแข็งแรงกลไกประตูเลื่อนสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล Stress Analysis for Slide-Passenger Door of Compact-Size Vehicles

ณัฐพล จันทร์พานิชย์<sup>1,2</sup> ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ<sup>1,3\*</sup> เกียรติกร อัครมาศบันลือ<sup>3</sup> และคุณยุต เอี่ยมสะอาด<sup>1,3</sup>  
<sup>1</sup>ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 \*โทรศัพท์ 02-9427188 \*โทรสาร 02-9427189 \*E-mail: fengssr@ku.ac.th

Nattapon Chantarapanich<sup>1,3</sup> Supasit Rodkwan<sup>1,2\*</sup> Krangkrai Assawamartbunlue<sup>3</sup> and Kunyayut Eiamsa-ard<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Center of Excellence of Rubber Mould, Research and Development Institute of Industrial Production Technology,  
Faculty of Engineering, Kasetsart University

<sup>2</sup>Department of Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

<sup>3</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

Ladyao, Jatujak, Bangkok 10900 \*Tel. 02-9427188 \*Fax 02-9427189 \*E-mail: fengssr@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ในปัจจุบันมีการพัฒนารูปทรงและกลไกของระบบการทำงานต่างๆ ซึ่งนับว่ามีความสำคัญต่อการแข่งขันทางการตลาดเป็นอย่างมาก เทคโนโลยีระบบกลไกเปิดปิดประตูรถก็เป็นอีกระบบหนึ่งในรถยนต์ที่ได้รับความนิยมในการออกแบบให้มีลักษณะการปิดเปิดที่แตกต่างเพื่อสร้างกลยุทธ์ทางการตลาด เช่นระบบกลไกแบบบานพับ ระบบกลไกแบบปีกนกและโดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบกลไกแบบบานเลื่อนซึ่งสามารถประยุกต์นำมาติดตั้งในรถยนต์ขนาดเล็กและขนาดกลางเพื่อช่วยเหลือการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยหรือผู้พิการเข้าออกรถยนต์ที่ทำได้ยาก โดยไม่จำเป็นต้องใช้รถตู้ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีราคาแพงซึ่งมีระบบกลไกแบบบานพับติดตั้งจากผู้ผลิตอยู่แล้ว

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ และการวิเคราะห์ (Computer Aided Design/Engineering, CAD/CAE) มาออกแบบ ทดสอบการทำงานและวิเคราะห์ความแข็งแรงระบบกลไกดังกล่าวตามระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) แทนที่การอาศัยประสบการณ์และการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ของผู้ผลิตรถต่างๆ ซึ่งไม่ได้เป็นไปตามหลักวิชาการและอาจจะทำให้เกิดอันตรายทั้งต่อตัวผู้ใช้และบุคคลรอบข้าง ซึ่งการออกแบบระบบกลไกแบบบานเลื่อนมีอยู่ 2 แบบ โดยในการทดสอบการเคลื่อนที่ระบบกลไกเปิดปิดทั้ง 2 แบบไม่ได้ติดขัดภายในระบบกลไกด้วยตัวเองหรือกับโครงสร้างของตัวรถ สามารถทำงานได้ดี นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงปรากฏว่าทั้ง 2 แบบมีค่าความ

ปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.) มากกว่า 3 ขึ้นไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความแข็งแรงเพียงพอและปลอดภัยต่อการใช้งาน โดยการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้สามารถนำไปประยุกต์กับการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงระบบประตูกลไกแบบบานพับสำหรับรถยนต์ประเภทอื่นๆ ได้อีกด้วย

### Abstract

Recently, there are great challenges in the development in the global automotive part market. Among those parts, the automotive door mechanism is one of the important markets. There are many types of door mechanism which are designed for the customer attention; for an example, a conventional door, a wing-bird door and a large slide door. In general, the slide door mechanism is installed on the vans; however, a van is large and expensive, most people are not able to afford the cost. Thus, the slide door mechanism will be studied to apply installing for the compact-size vehicle.

Computer Aided Design/Engineering (CAD/CAE) will be applied in order to design the mechanism and strength analysis using Finite Element Method (FEM) over the mechanism rather than worker experience which mainly trial and error. This may lead the accident during in use. There are two types of

mechanism designed for compact-size car. Both designed mechanisms show the excellent result during door sliding operation in CAD simulation. Also, the stress analysis of the mechanisms, both have the factor of safety over than 3. The result can be drawn that, the mechanisms are safe during the operation. Moreover, this process of design and analysis can be applied to other styles for slide door mechanism.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันรถยนต์ขนาดเล็กและขนาดกลางกำลังเป็นที่นิยม เพราะมีราคาที่ไม่สูงมากนัก และสามารถซื้อได้โดยคนที่มีความฐานะปานกลางซึ่งเป็นประชากรส่วนใหญ่ของประเทศ ทำให้มีรถยนต์ประเภทนี้อยู่มากมายบนท้องถนน อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดข้อหนึ่งของรถประเภทนี้คือมีขนาดเล็ก การเข้าออกจากรถทำได้ยาก ทำให้มีความพยายามในการตัดแปลงประตูของรถยนต์ให้สามารถเข้าออกได้สะดวกยิ่งขึ้นโดยอยู่เกาะบนสัณฐานต่าง ๆ จากเดิมซึ่งมีลักษณะเป็นประตูแบบบานพับกลายเป็นประตูแบบบานเลื่อน ซึ่งการออกแบบและติดตั้งโดยผู้เหล่านี้ไม่ได้เป็นไปตามหลักวิชาการ อาศัยประสบการณ์และการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอันตรายทั้งต่อตัวผู้ใช้และบุคคลรอบข้างได้โดยง่าย

จากเหตุผลข้างต้น การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนกลไกหลักที่ใช้ในการรับแรงสำหรับเปิดปิดประตูที่มีลักษณะเป็นบานเลื่อนสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลขนาดเล็กและขนาดกลางที่ได้จัดสร้างขึ้นจึงเกิดขึ้น โดยในการวิเคราะห์ชิ้นส่วนกลไกจะถูกจำลองขึ้นมาบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design, CAD) แล้วทำการวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ซึ่งในกรณีที่พบว่าชิ้นส่วนที่วิเคราะห์มีปัญหาด้านความแข็งแรง ก็จะทำการนำเสนอการปรับปรุงชิ้นส่วนดังกล่าวให้มีความแข็งแรงตามความเหมาะสม เมื่อได้ชิ้นส่วนที่มีความแข็งแรงถูกต้องแล้ว ก็จะทำการจัดสร้างชิ้นตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบโดยการติดตั้งจริงลงบนประตูของรถยนต์ต่อไป

## 2. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [1] คือการแบ่งขอบเขตของปัญหาให้เป็นเอลิเมนต์ย่อยหลายเอลิเมนต์และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้มาซึ่งผลของคำตอบของขอบเขตปัญหานั้นๆ ซึ่งในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในอุตสาหกรรมยานยนต์มากขึ้น เช่นการวิเคราะห์การชนในรถยนต์หรือการใช้ออกแบบรูปทรงรถยนต์ให้เป็นไปตามหลักอากาศพลศาสตร์เพื่อลดแรงต้าน (Drag Force) ที่เกิดขึ้น

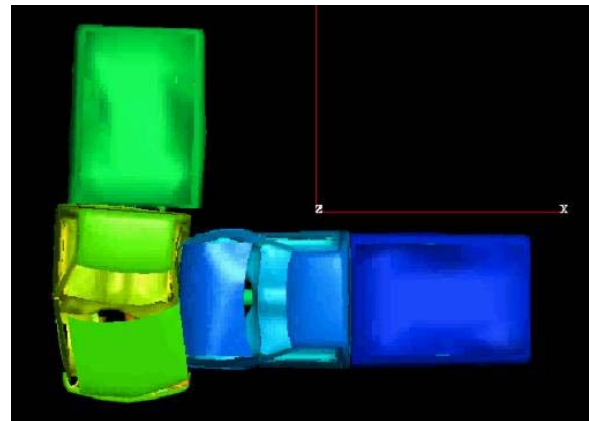
โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์ตามระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มี 3 ขั้นตอนหลักๆ คือ [2]

1. ขั้นตอนการเตรียมปัญหาที่จะวิเคราะห์ (Preprocessing Phase) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วยกำหนดขอบเขตของปัญหา โดยจะแบ่งปัญหาเป็นเอลิเมนต์และจุดต่อ (Node) โดยแต่ละเอลิเมนต์จะถูกกำหนดคุณสมบัติของแต่ละเอลิเมนต์นั้น เช่น ชนิดของวัสดุ และ

ประเภทของเอลิเมนต์ เป็นต้น จากนั้นโปรแกรมจะสร้างสมการเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา แล้วจึงกำหนดขอบเขตของปัญหา เช่น การกำหนดภาระงานที่กระทำ (Load) และการกำหนดดีกรีอิสระ (Degree of Freedom) มาประกอบกับสมการที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่ได้ถูกสร้างไว้ข้างต้นเพื่อเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) ในการแก้ปัญหา

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์และแก้สมการ (Solution Phase) ในขั้นตอนนี้สมการที่ถูกสร้างไว้ข้างต้นเพื่อเป็นเงื่อนไขเริ่มต้นจะถูกแก้สมการทั้งหมดพร้อมๆ กันเพื่อให้ได้มาซึ่งผลคำตอบต่างๆ ในแต่ละจุดต่อและเอลิเมนต์ เช่นค่าการยึดหดตัวของวัสดุ (Displacement)

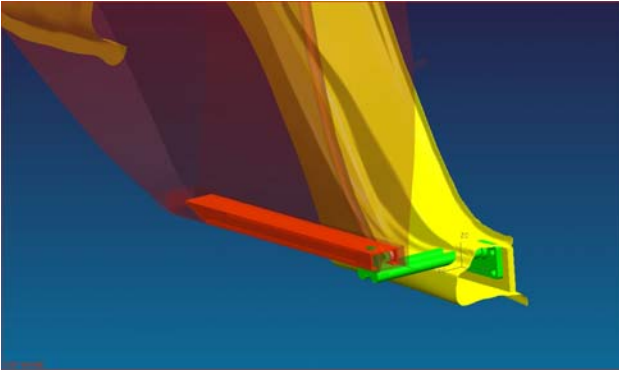
3. ขั้นตอนการสำรวจผลคำตอบ (Postprocessing Phase) ในขั้นตอนนี้ผลคำตอบในแต่ละจุดต่อและเอลิเมนต์จากขั้นตอนการวิเคราะห์และแก้สมการจะถูกแสดงในรูปของตัวเลขหรือแผนภาพสี ซึ่งผู้ใช้โปรแกรมสามารถเลือกดูข้อมูลที่สนใจและค่าตัวเลขทางคณิตศาสตร์ตามต้องการได้



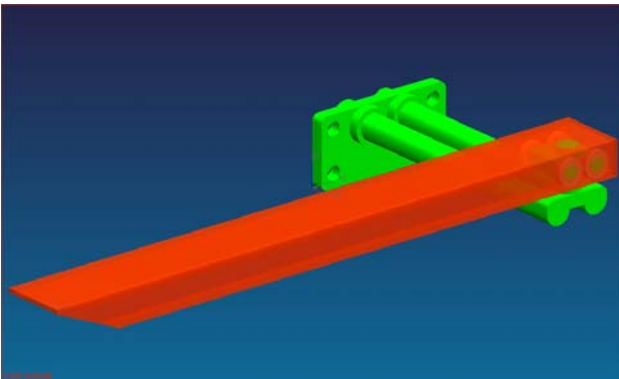
ภาพที่ 1 การวิเคราะห์การชนด้านข้างของรถยนต์ [3]

## 3. อุปกรณ์และวิธีการ

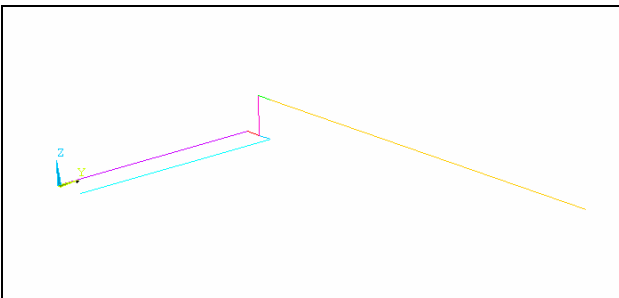
การทดสอบการแข็งแรงจะนำระบบกลไกประตูที่ออกแบบสำหรับรถ TOYOTA รุ่น SOLUNA ค.ศ. 2002 ไว้ทั้ง 2 ประเภทมาทดสอบความแข็งแรงของระบบกลไกด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น โดยนำแบบจำลองกลไกสามมิติมาศึกษาเพื่อหาลักษณะการใช้แบบจำลองการวิเคราะห์ (Analysis Model) และประเภทเอลิเมนต์ (Element Type) ให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนของระบบกลไกจากการศึกษาพบว่าทั้ง 2 แบบนั้นสามารถใช้แบบจำลองชนิดเส้น (Line Model) 2 มิติแทนรูปทรง 3 มิติในการวิเคราะห์ได้ดังแสดงในภาพที่ 1



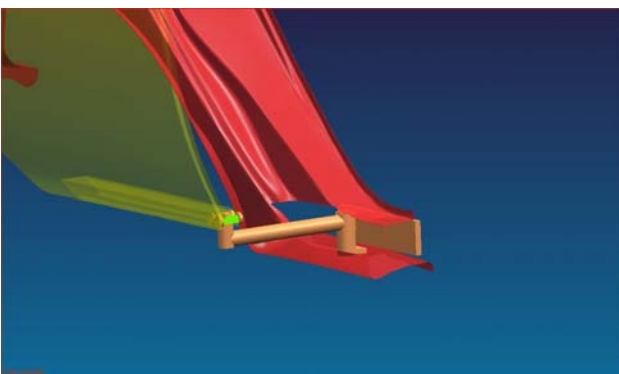
ภาพที่ 2 ตำแหน่งของระบบกลไกที่ 1 ที่ติดตั้งกับประตูดรถยนต์



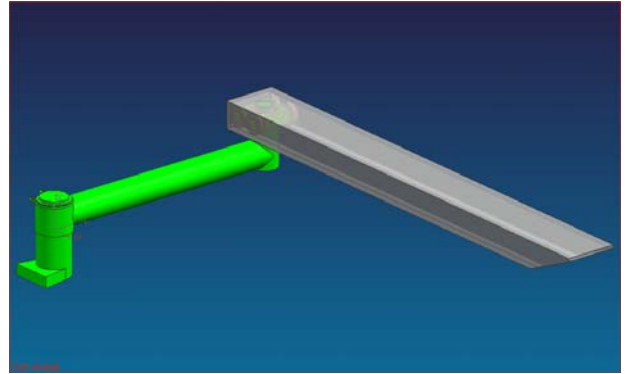
ภาพที่ 3 ระบบกลไกแบบที่ 1 ออกแบบในโปรแกรม Unigraphics NX2



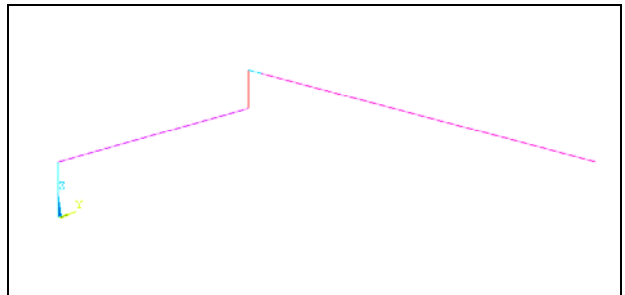
ภาพที่ 4 แบบจำลองชนิดเส้นของระบบกลไกแบบที่ 1



ภาพที่ 5 ตำแหน่งของระบบกลไกที่ 1 ที่ติดตั้งกับประตูดรถยนต์



ภาพที่ 6 ระบบกลไกแบบที่ 2 ออกแบบในโปรแกรม Unigraphics NX2



ภาพที่ 7 แบบจำลองชนิดเส้น ของระบบกลไกแบบที่ 2

โดยการใช้แบบจำลองชนิดเส้น 2 มิติแทนรูปทรง 3 มิติดังกล่าวนี้ จำเป็นต้องบอกค่าสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ของเอลิเมนต์เพื่อใช้แทนสมบัติของรูปทรง 3 มิติกับแต่ละเส้นที่ใช้ในระบบกลไกทั้ง 2 แบบซึ่งมีรูปทรงหน้าตัดในแต่ละส่วนของระบบกลไก (Cross sectional Geometry) และ ชนิดของวัสดุที่ใช้ในระบบกลไก (Material)

ในระบบกลไกแบบที่ 1 ค่าทางกายภาพสามารถกำหนดได้ดังแสดงในภาพที่ 4 และ ตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงรูปหน้าตัดและชนิดของวัสดุในส่วนต่างๆ ของระบบกลไกแบบที่ 1

ส่วนที่	รูปทรงหน้าตัด
1	วงกลมตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มม.
2	วงกลมตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มม.
3	สี่เหลี่ยม กว้าง 20 มม. สูง 9 มม.
4	วงกลมตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มม.
5	สี่เหลี่ยม กว้าง 48 มม. สูง 25 มม.
6	หน้าตัดรูปตัวซี (C-Profile) กว้าง 48 มม. สูง 25 มม ความหนาผิว 3 มม.

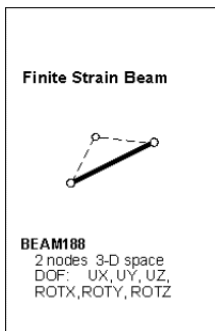
ในระบบกลไกแบบที่ 2 สามารถกำหนดค่าทางกายภาพได้ดังแสดงในภาพที่ 7 และตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงรูปหน้าตัดและชนิดของวัสดุในส่วนต่างๆ ของระบบกลไกแบบที่ 2

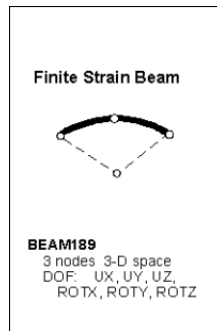
ส่วนที่	รูปทรงหน้าตัด
1	วงกลมตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม.
2	วงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 25 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 23 มม.
3	วงกลมตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม.
4	สี่เหลี่ยม กว้าง 48 มม. สูง 25 มม.
5	หน้าตัดรูปตัวซี (C-Profile) กว้าง 48 มม. สูง 25 มม. ความหนาผิว 3 มม.

เมื่อทำการกำหนดค่าคุณสมบัติทางกายภาพลงไปในแต่ละส่วนแล้ว จากนั้นจึงกำหนดชนิดของเอลิเมนต์รองลงในแบบจำลองแต่ละส่วน โดยลักษณะแบบจำลองทั้ง 2 แบบสามารถใช้เอลิเมนต์ประเภท Beam และเอลิเมนต์รองชนิด Beam 188 และ Beam 189 ได้ดังแสดงในภาพที่ 8ก. และ 8ข. โดยผู้วิจัยได้นำเอลิเมนต์รองทั้ง 2 ประเภทมาศึกษาคุณสมบัติในการวิเคราะห์ตามระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยสร้างแบบทดสอบจำลองคานยาว 300 มิลลิเมตร หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 10 x 10 มิลลิเมตรขึ้นมา คุณสมบัติของคานให้ใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้ามีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) = 200 GPa และค่าอัตราส่วนปัวซอง (V) = 0.3 มีแรงกระทำ ณ ปลายคานขนาด 100 นิวตัน (N) ปลายด้านหนึ่งยึดติดกับผนังไม่มีการเคลื่อนไหวในทุกทิศทางอิสระ (Degree of Freedom) [5] นั่นคือ

$$\delta(x) = \delta(y) = \delta(z) = \delta R(x) = \delta R(y) = \delta R(z) = 0 \quad (1)$$



(ก.)

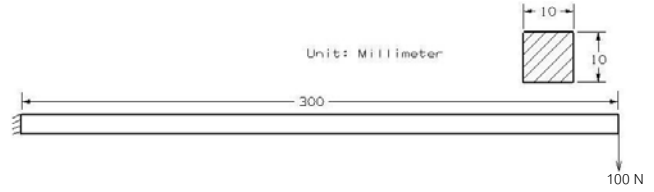


(ข.)

ภาพที่ 8(ก.) ลักษณะของเอลิเมนต์ Beam 188 [4]

ภาพที่ 8(ข.) ลักษณะของเอลิเมนต์ Beam 189 [4]

โดย  $\delta$  คือค่าความยืดหดตัว (Displacement) ณ จุดต่อ และ  $\delta R$  คืออัตราการเปลี่ยนแปลงเชิงมุม (Rotational Displacement) ณ จุดต่อ (Node) ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แบบจำลองคานที่ใช้ในการทดสอบ

จากตัวอย่างการทดสอบดังกล่าวสามารถนำมาหาคำตอบแม่นยำตรง (Exact Solution) โดยใช้สมการกลศาสตร์ [6] ของวัสดุดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2 เพื่อหาระยะยืดหดตัวสูงสุดและความเค้นชนิด Von Mises Stress สูงสุดตามลำดับ

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI} \quad (2)$$

เมื่อ P คือ แรงที่กระทำ ณ ปลายคาน (N)

L คือ ความยาวของคานทั้งหมด (m)

E คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Pa)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด (m<sup>4</sup>)

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I} \quad (3)$$

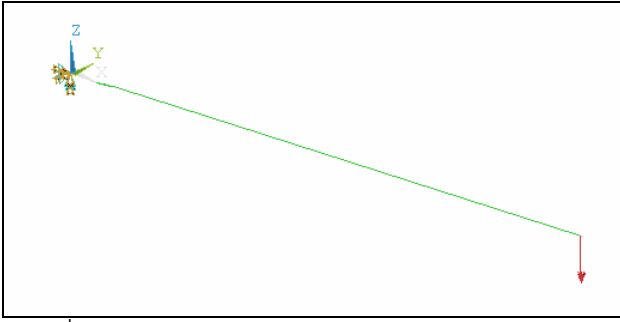
เมื่อ  $\sigma$  คือ แรงที่กระทำ ณ ปลายคาน (N)

M คือ โมเมนต์ดัดของคาน (N.m)

c คือ ระยะจากของคานถึงจุดศูนย์กลางพื้นที่ (m)

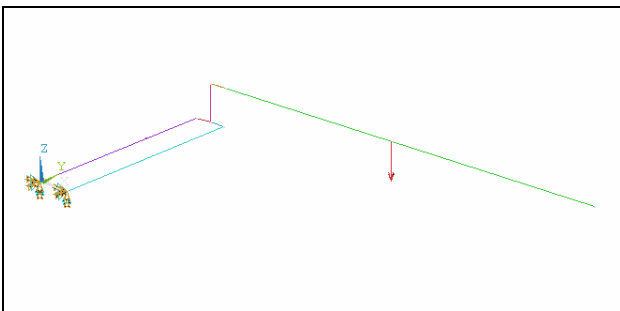
I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด (m<sup>4</sup>)

ผลปรากฏว่ามีระยะยืดหดตัวสูงสุด 5.40 มิลลิเมตรและความเค้นชนิด Von Mises Stress สูงสุด 180.0007 MPa ซึ่งจากผลการวิเคราะห์เบื้องต้นโดยใช้แบบจำลองชนิดเส้นดังแสดงในภาพที่ 10 โดยกำหนดจำนวนเอลิเมนต์ต่างๆ กันพบว่าเอลิเมนต์รองชนิด Beam 189 สามารถให้ค่าผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับผลคำตอบแม่นยำตรง โดยใช้จำนวนเอลิเมนต์น้อยกว่าและใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าเอลิเมนต์ชนิดรอง Beam 188 แต่เมื่อจำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์มากขึ้น การใช้เอลิเมนต์รอง Beam 189 จะให้ผลได้ไม่เที่ยงตรง (Divergent Solution) แต่การใช้เอลิเมนต์รอง Beam 188 จะให้ผลได้ใกล้เคียงกับคำตอบแม่นยำตรงมากขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงของคำตอบยังเคลื่อนไหวไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เอลิเมนต์น้อยลงครั้งหนึ่ง แต่กลับใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า จากผลการศึกษาดังกล่าวจึงเลือกใช้เอลิเมนต์รองชนิด Beam 189 โดยใช้จำนวนเอลิเมนต์ในจำนวนที่ไม่มากในการทดสอบความแข็งของระบบกลไกทั้ง 2 แบบ เพื่อให้ได้ผลที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุดและใช้เวลาน้อยที่สุด

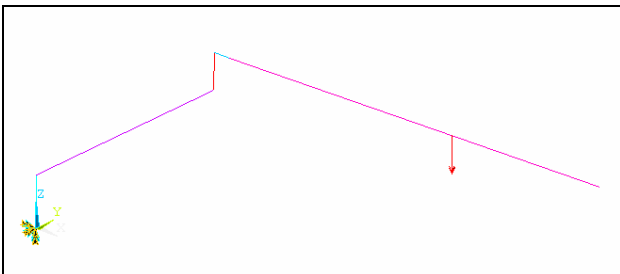


ภาพที่ 10 แบบจำลองชนิดเส้น (Line Model) 2 มิติของแบบทดสอบจำลองของคาน

เมื่อทำการกำหนดชนิดของเอลิเมนต์และสมบัติทางกายภาพของแบบจำลองชนิดเส้นจึงนำมากำหนดขอบเขตของปัญหาในการวิเคราะห์ โดยในระบบกลไกแบบที่ 1 ส่วนที่ 1 และ 2 ของระบบกลไกจะถูกยึดกับโครงสร้างของรถยนต์โดยให้มีลักษณะไม่มีการเคลื่อนไหวในทุกดีกรีอิสระ (Degree of Freedom) ทั้ง 2 จุด และมีแรงเนื่องจากน้ำหนักของประตुरถยนต์ขนาด 200 นิวตันมากระทำ ณ ตำแหน่ง 200 มิลลิเมตรจากด้านล่างแสดงในภาพที่ 11 ส่วนในระบบกลไกแบบที่ 2 นั้นส่วนที่ 1 ของระบบจะถูกยึดกับโครงสร้างของรถยนต์โดยให้มีลักษณะไม่มีการเคลื่อนไหวในทุกดีกรีอิสระ (Degree of Freedom) และมีแรงเนื่องจากน้ำหนักของประตुरถยนต์ขนาด 200 นิวตันมากระทำ ณ ตำแหน่ง 200 มิลลิเมตรจากด้านล่างเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 11 แบบจำลองเส้น 2 มิติเมื่อกำหนดขอบเขตของปัญหาของระบบกลไกแบบที่ 1



ภาพที่ 12 แบบจำลองเส้น 2 มิติเมื่อกำหนดขอบเขตของปัญหาของระบบกลไกแบบที่ 2

จากนั้นจึงนำมาคำนวณเพื่อหาความเค้นชนิด Von Mises Stress และค่ายึดหดตัวของวัสดุ (Displacement) โดยใช้จำนวนเอลิ

เมนต์ต่างกันทั้งหมด 5 ครั้ง โดยในแบบที่ 1 จะให้เอลิเมนต์จำนวน 350 700 1,050 1,750 1,400 และ 2,100 ขึ้นตามลำดับ ส่วนแบบที่ 2 นั้นใช้เอลิเมนต์จำนวน 250 500 750 1,000 1,250 และ 1,500 ขึ้นตามลำดับ แล้วจึงนำผลที่ได้มาหาค่าความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)

#### 4. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ (Computer Aided Engineering, CAE) ANSYS 8.0 ผลปรากฏว่าทั้งระบบกลไกแบบที่ 1 และแบบที่ 2 มีค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) ซึ่งพิจารณาจากค่า Von Mises Stress ไม่เกินจุดคราก (Yield Stress, 294 MPa) ของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างระบบกลไก โดยผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นสูงสุดชนิด Von Mises Stress และค่าระยะขยายตัวของวัสดุของระบบกลไกแบบที่ 1

ครั้งที่	จำนวนเอลิเมนต์	ความเค้นสูงสุด (MPa)	ค่าระยะยึดหดตัว (mm)
1	350	81.367	3.489
2	700	81.367	3.489
3	1,050	81.367	3.489
4	1,750	81.367	3.489
5	1,400	81.367	3.489
6	2,100	81.367	3.489

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นสูงสุดชนิด Von Mises Stress และค่าระยะขยายตัวของวัสดุของระบบกลไกแบบที่ 2

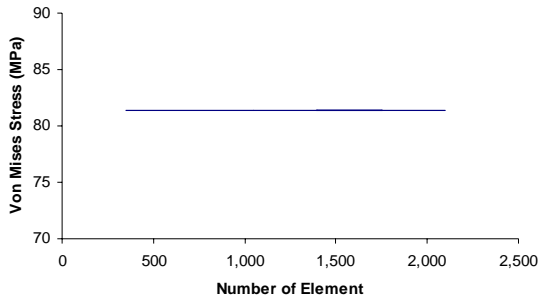
ครั้งที่	จำนวนเอลิเมนต์	ความเค้นสูงสุด (MPa)	ค่าระยะยึดหดตัว (mm)
1	250	83.358	4.334
2	500	83.358	4.334
3	750	83.358	4.334
4	1,000	83.358	4.334
5	1,250	83.483	4.347
6	1,500	83.462	4.345

#### 5. วิจัยผลการวิจัย

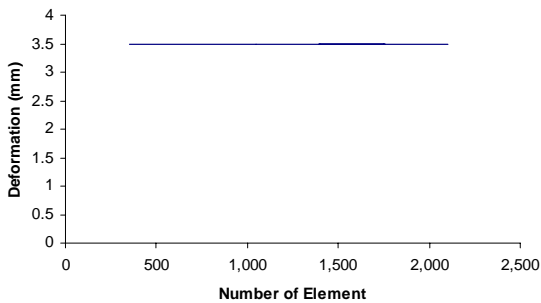
##### 5.1 ความน่าเชื่อถือของผลที่ได้จากการทดสอบจากโปรแกรมช่วยในทางวิศวกรรม

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของระบบกลไกทั้ง 2 แบบนั้นผลการทดสอบโดยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (CAE) ผลการทดสอบทั้ง 5 ครั้งโดยใช้จำนวนเอลิเมนต์ต่างกันของระบบกลไกแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ซึ่งแสดงในตารางที่ 3 และ 4 เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาทำสร้างแผนภูมิกราฟ สำหรับความเค้นชนิด Von Mises Stress ปรากฏผลว่ากราฟที่ได้มานั้นเป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นว่าผลการ

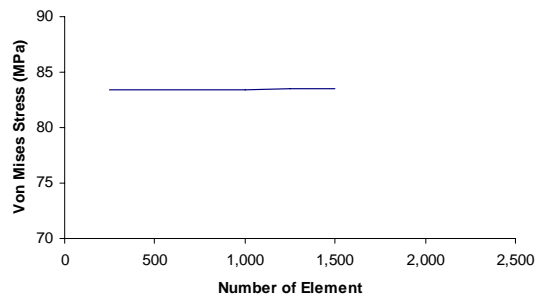
ทดสอบโดยใช้จำนวนเอลิเมนต์ที่ต่างกันนั้นมีค่า และมีค่าความเค้นสูงสุดชนิด Von Mises Stress และค่าการยืดหดตัวของวัสดุ (Deformation) ดังแสดงในภาพที่ 13 - 16 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือ (Reliability)



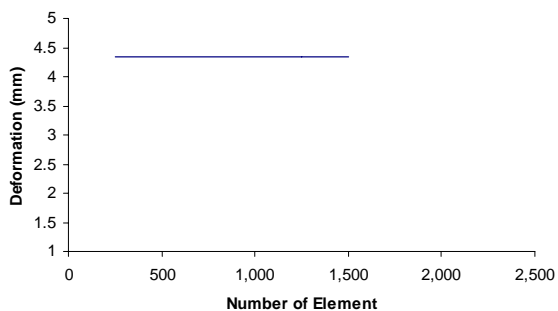
ภาพที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเอลิเมนต์กับค่าความเค้นชนิด Von Mises Stress ของผลการวิเคราะห์ระบบกลไกแบบที่ 1



ภาพที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเอลิเมนต์กับค่าความยืดหดตัวของวัสดุของผลการวิเคราะห์ระบบกลไกแบบที่ 1



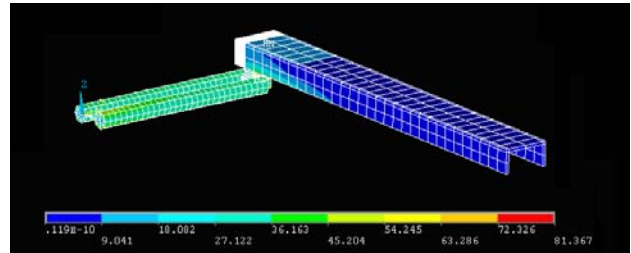
ภาพที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเอลิเมนต์กับค่าความเค้นชนิด Von Mises Stress ของผลการวิเคราะห์ระบบกลไกแบบที่ 2



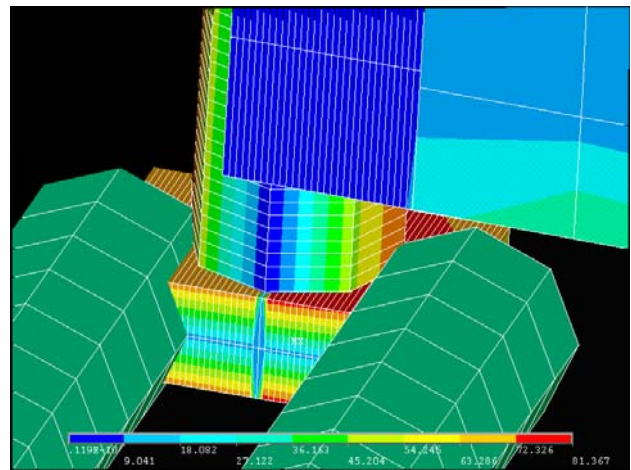
ภาพที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเอลิเมนต์กับค่าความยืดหดตัวของวัสดุของผลการวิเคราะห์ระบบกลไกแบบที่ 2

## 5.2 การทดสอบความแข็งแรงของระบบกลไกด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

โดยผลการทดสอบปรากฏว่าในระบบกลไกแบบที่ 1 นั้นมีค่าความเค้นสูงสุดและค่าการยืดหดตัวของวัสดุไม่มีความแปรปรวนเมื่อเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์ ดังนั้นผลของค่าความเค้นสูงสุดประมาณ 81.367 MPa และค่าการยืดหดตัวของวัสดุ 3.489 mm และบริเวณที่เกิดความเค้นสูงที่สุดคือส่วนของฐานของตัวเลื่อนประตูดังแสดงในรูปที่ 17 และ 18

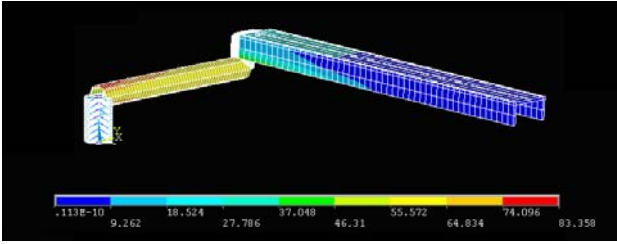


ภาพที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของระบบกลไกแบบที่ 1 ด้วย 350 เอลิเมนต์

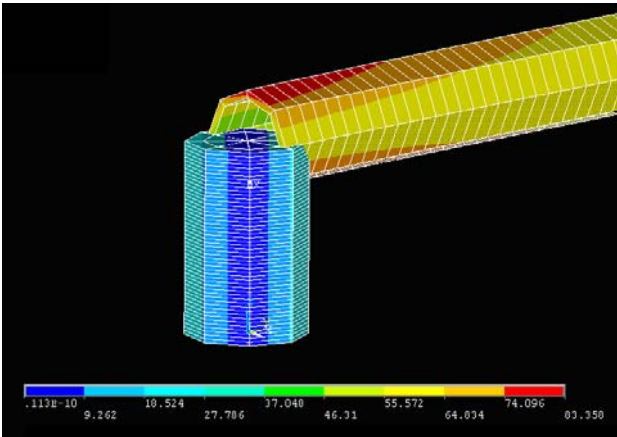


ภาพที่ 18 ตำแหน่งที่มีความเค้นชนิด Von Mises Stress สูงสุดของระบบกลไกแบบที่ 1

โดยผลการทดสอบปรากฏว่าในระบบกลไกแบบที่ 2 นั้นมีค่าความเค้นสูงสุดและค่าการยืดหดตัวของวัสดุมีความแปรปรวนเมื่อจำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้มากกว่า 1250 เอลิเมนต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลกระทบของการใช้เอลิเมนต์ Beam 189 เมื่อทดสอบด้วยจำนวนเอลิเมนต์สูงจะทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้แปรปรวนออกไป ดังนั้นผลของค่าความเค้นสูงสุดจึงใช้ในส่วนที่มีการวิเคราะห์ด้วยเอลิเมนต์น้อยนั่นคือ 83.358 MPa และค่าการยืดหดตัวของวัสดุ 4.334 mm โดยในระบบประตูกลไกแบบที่ 2 บริเวณที่เกิดความเค้นสูงที่สุดคือส่วนของแกนเหล็กกลางสำหรับเลื่อนประตูดังแสดงในรูปที่ 19 และ 20



ภาพที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของระบบกลไกแบบที่ 2 ด้วย 250 เอลิเมนต์



ภาพที่ 20 ตำแหน่งที่มีความเค้นชนิด Von Mises Stress สูงสุดของระบบกลไกแบบที่ 2

## 6. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงที่ได้จะถูกนำมาคำนวณค่าความปลอดภัย (Factor of Safety, FS.) โดยการวิเคราะห์ระบบกลไกสำหรับการปิดและเปิดประตูรถยนต์นั้น ค่าความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้คือค่าความเค้น ณ จุดคดง (Yield Stress) ของวัสดุที่ใช้ในการสร้างต้นแบบของระบบกลไกซึ่งก็คือ Steel AISI 1020 โดยมีค่าความเค้น ณ จุดคดงเท่ากับ 294.8 MPa และค่าความเค้นสูงสุดของการใช้งานปกติก็คือค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของระบบกลไกซึ่งในระบบกลไกแบบที่ 1 และในแบบที่ 2 นั้นมีความเค้นที่ 81.367 MPa และ 83.358 MPa ตามลำดับ ดังนั้นการคำนวณค่าความปลอดภัยจะใช้สมการที่ 4 โดยผลการคำนวณค่าความปลอดภัยแสดงในตารางที่ 5

$$\text{ค่าความปลอดภัย} = \frac{\text{ความเค้นที่จุดคดงของวัสดุ}}{\text{ความเค้นสูงสุดที่กระทำต่อระบบ}} \quad (4)$$

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงการคำนวณค่าความปลอดภัยของระบบกลไกแต่ละประเภท

แบบระบบกลไก	ค่าความเค้นเฉลี่ยสูงสุด (MPa)	ความเค้น ณ จุดคดงของวัสดุ (MPa)	ค่าความปลอดภัย
1	81.367	294.8	3.623
2	83.620	294.8	3.536

จากค่าความปลอดภัยทั้งกลไกระบบแบบที่ 1 และแบบที่ 2 นั้นมีค่ามากกว่า 3.5 ซึ่งมากเพียงพอที่จะนำไปติดตั้งและใช้งานจริงสำหรับการติดตั้งเพื่อใช้งานจริงในรถยนต์

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับงบประมาณที่ใช้ในการวิจัย และบริษัท บีเอส การ์เซอร์วิส จำกัด สำหรับต้นแบบประตูรถยนต์ TOYOTA รุ่น SOULNA ปี ค.ศ. 2002

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Internet Sources: <http://www.wikipedia.com>, Keyword: Finite Element Analysis. (accessed on November 2006).
- [2] Moaveni, S., *Finite Element Analysis. Theory and Application with ANSYS*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 1999.
- [3] Internet Sources: <http://www.vss.psu.edu>. (accessed on November 2006).
- [4] Internet Sources: <http://www.ansys.com>. (accessed on December 2006).
- [5] ปราโมทย์ เตชะอำไพ, *ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม*, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ, 2537.
- [6] Beer, F.P., R. Jhonston, Jr., *Mechanics of Materials 2<sup>nd</sup> Edition*, McGraw-Hill, Maidenhead, Berkshire, United Kingdom, 1992.