

การวิเคราะห์ความเค้นของแม่แรงรยนต์นั่งส่วนบุคคลด้วย วิธีพลศาสตร์มัลติบอดีและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Passenger Car Jack Stress Analysis Using Multi-Body Dynamics and Finite Element Methods

อนุชิต มงคล มนต์ศักดิ์ พิมสาร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

แม่แรงรยนต์นั่งส่วนบุคคลมี 2 ประเภทหลักๆด้วยกันคือ แม่แรงแบบไฮดรอลิกและแม่แรงแบบแพนโทกราฟ (pantograph jack) ซึ่งแบบหลังนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีน้ำหนักเบาและมีขนาดกะทัดรัด งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์ความเค้นภายในชิ้นส่วนของแม่แรงแบบแพนโทกราฟ ในเบื้องต้นของงานวิจัยทำการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแบบจำลอง 3 มิติของแม่แรงโดยชิ้นส่วนต่างๆของแม่แรงจะถือว่าเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (rigid body) รับน้ำหนักที่ค่าต่างๆ ด้วยกรรมวิธีพลศาสตร์มัลติบอดี (multi-body dynamics method) เพื่อหาแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อ (joint) ที่ความสูงการยกค่าตั้งแต่ 183-320 มิลลิเมตร จากนั้นนำแรงปฏิกิริยาที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ความเค้นในแต่ละชิ้นส่วนของแม่แรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method) ผลของความเค้นที่ได้จากการวิเคราะห์ถูกนำมาเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดลอง จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากทั้งสองวิธีพบว่าให้ผลลัพธ์ของความเค้นที่สอดคล้องและเป็นไปในทางเดียวกัน โดยค่าความเค้นมากที่สุดที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เกิดขึ้นที่ Arm Upper (Right) มีค่าตัวประกอบความปลอดภัย 1.24- 3.73 ดังนั้นวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์แม่แรงในงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำไปใช้ออกแบบและพัฒนาแม่แรงรยนต์นั่งส่วนบุคคลให้มีขนาดที่เหมาะสม

คำสำคัญ : แม่แรงรยนต์นั่งส่วนบุคคล วิธีพลศาสตร์มัลติบอดี ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

Passenger car jacks consist of two main types, hydraulic and pantograph. The latter is the most widely used because it is lightweight and compact. This research presents stress analysis of pantograph jack. In this research, at first, dynamic of a passenger car jack, treated as rigid body system with connecting joints, was numerically analyzed to evaluate the reaction forces at the joints. The jack strokes were varied from 183 to 320 mm. Later, the calculated reaction forces were employed in the finite element model to investigate the stress distribution in each body. The stress results obtained from finite element method were compared with experimental result. It was found that the stress results from both methods are consistent and have the same trend. The maximum stress, predicted using finite element method, is

found in the Arm Upper (Right) with safety factor 1.24 - 3.73. Therefore, this research can be used as a guideline to design and develop a passenger car jack having optimum size.

Keywords : passenger car jack, multi-body dynamic method, finite element method

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมรถยนต์มีการขยายตัวและเติบโตเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะประเทศไทยมีการผลิตรถยนต์ในประเทศออกมามีหลายแสนคัน แม่แรงรถยนต์เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญและจำเป็นต้องมีไว้สำหรับรถยนต์ทุกคันเพื่อใช้ในการฉีกูกเงินหรือใช้ในการซ่อมบำรุงรักษารถยนต์ การศึกษาการออกแบบแม่แรงรถยนต์ [1] และการวิเคราะห์แม่แรงจึงมีความสำคัญทำให้สามารถพัฒนาการออกแบบแม่แรง [2-5] ให้มีขนาดที่เหมาะสมได้

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแม่แรงรถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยแม่แรงที่นำมาทำการวิเคราะห์นี้เป็นแม่แรงที่มีการผลิตใช้งานจริงกับรถยนต์ยี่ห้อหนึ่งที่ใช้ในประเทศไทยซึ่งผู้วิจัยได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลของแม่แรงดังกล่าวจากผู้ผลิตคือ บริษัท ไทยซัมมิท โอโตพาร์ท อินดัสตรี จำกัด ซึ่งเป็นการศึกษาความเค้นและพฤติกรรมของแม่แรงแบบกลไก โดยจะเป็นการวิเคราะห์การทำงานของแม่แรง แรงที่มากระทำกับชิ้นส่วนต่างๆของแม่แรง [6] และทำการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อต่างๆของแม่แรงในขณะที่แม่แรงทำงานในรูปแบบของแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยวิธีพลศาสตร์มัลติบอดี [7] จากนั้นจะนำแรงที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [8] เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้นที่แขนของแม่แรงและนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบที่ได้ค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าสามารถที่จะนำกระบวนการวิเคราะห์หาความเค้นของแม่แรงดังกล่าวมาเป็นแนวทางเพื่อที่จะใช้ในการออกแบบแม่แรงให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ลดเวลาในการออกแบบและสามารถออกแบบให้ลดการใช้วัสดุเพื่อลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย

2. สมการที่เกี่ยวข้อง

สมการพื้นฐานของข้อต่อในแบบต่างๆและสมการการเคลื่อนที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์มัลติบอดี เพื่อหาค่าของแรงกระทำที่ข้อต่อ สามารถแสดงได้ดังนี้ [7]

2.1 สมการข้อต่อแบบหมุน (Revolute joint)

เมื่อมีวัตถุ 2 ชิ้นมาเชื่อมต่อกันโดยใช้ข้อต่อแบบหมุน ความสัมพันธ์ของวัตถุ 2 ชิ้น แสดงได้ดังรูปที่ 1 คือวัตถุ i และ j เชื่อมต่อกันแบบหมุน ที่จุด P ดังนั้นสมการแสดงความสัมพันธ์ของข้อต่อแบบหมุน คือ

$$\vec{h}^i \times \vec{h}^j = \vec{0} \quad (1)$$

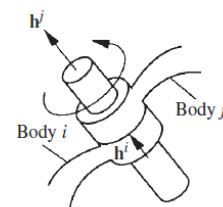
$$\vec{h}^i \times \vec{s}^{ij} = \vec{0} \quad (2)$$

$$\vec{s}^{ijT} \times \vec{s}^{ij} = \vec{0} \quad (3)$$

$\vec{h}^i$ คือ เวกเตอร์ที่เขียนบนชิ้นส่วน i ตามแนวแกนหมุน

$\vec{h}^j$ คือ เวกเตอร์ที่เขียนบนชิ้นส่วน j ตามแนวแกนหมุน

$\vec{s}^{ij}$ คือ เวกเตอร์ลากเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วน i และ j



รูปที่ 1 แสดงข้อต่อแบบหมุน

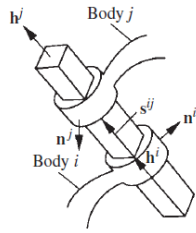
2.2 สมการข้อต่อแบบเลื่อน (Translation Joint)

เมื่อวัตถุ 2 ชิ้นมาต่อกันและความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนเป็นแบบการเคลื่อนที่ในแนวแกน แสดงได้ดังรูปที่ 2 ดังนั้นสมการแสดงความสัมพันธ์ของข้อต่อแบบเลื่อน คือ

$$\vec{h}^i \times \vec{h}^j = \vec{0} \quad (4)$$

$$\vec{h}^i \times \vec{s}^{ij} = \vec{0} \quad (5)$$

$$\vec{n}^{iT} \cdot \vec{n}^j = 0 \quad (6)$$



รูปที่ 2 แสดงข้อต่อแบบเลื่อน

เมื่อ $\vec{h}^i$ และ $\vec{h}^j$ คือ เวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน i และ j ตามลำดับ

2.3 สมการข้อต่อแบบสกรู (Screw Joint)

เมื่อวัตถุ 2 ชิ้นมาต่อกันและความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนเป็นการเคลื่อนที่แบบสกรู แสดงได้ดังรูปที่ 3 สมการแสดงความสัมพันธ์ของข้อต่อแบบสกรูคือ

$$\vec{h}^i \times \vec{h}^j = \vec{0} \quad (7)$$

$$\vec{h}^i \times \vec{s}^{ij} = \vec{0} \quad (8)$$

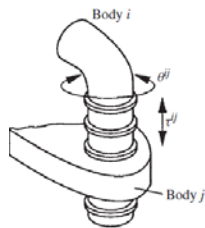
$$\vec{\tau}^{ij} \times \alpha \vec{\theta}^{ij} = c_1 \quad (9)$$

เมื่อ $\vec{\tau}^{ij}$ คือ ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่

$\vec{\theta}^{ij}$ คือ การหมุนสัมพัทธ์ของชิ้นส่วน i และ j

α คือ ระยะพิทช์

c_1 คือ ค่าคงที่



รูปที่ 3 แสดงข้อต่อแบบสกรู

2.4 สมการความสัมพันธ์แบบสัมผัส

เมื่อวัตถุ i และ วัตถุ j มีผิวสัมผัสกันที่จุดใดๆ (สมมติให้เป็นจุด P) สมการแสดงความสัมพันธ์แบบสัมผัสของวัตถุทั้ง 2 ชิ้น คือ

$$\vec{r}_p^i = \vec{r}_p^j \quad (10)$$

$$\vec{n}^i = c_2 \vec{n}^j \quad (11)$$

เมื่อ $\vec{r}_p^i$ และ $\vec{r}_p^j$ คือ เวกเตอร์แสดงตำแหน่งจุด P ของวัตถุ i และ j ตามลำดับ

$\vec{n}^i$ และ $\vec{n}^j$ คือ เวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวสัมผัสของวัตถุ i และ j ตามลำดับ

c_2 คือ ค่าคงที่

2.5 สมการการเคลื่อนที่

ในระบบมัลติบอดี ชิ้นส่วนในระบบจะสมมติให้เป็นวัตถุเกร็ง (rigid body) และถูกเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อพิกัดสมบูรณ์ (absolute coordinate) ของแต่ละชิ้นส่วนสามารถอธิบายด้วยพารามิเตอร์อย่างน้อยที่สุด 6 ตัว จากนั้นจะถูกนำมาพิสูจน์หาสมการการเคลื่อนที่ของแต่ละชิ้นส่วน รวมกับสมการการเชื่อมต่อ (constraint equations) ซึ่งเมื่อเขียนรวมกันจะได้สมการการเคลื่อนที่ของทั้งระบบมัลติบอดีดังนี้

$$\begin{bmatrix} M & C_q^T \\ C_q & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_e \\ Q_d \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$Q_d = C_q \ddot{q} \quad (13)$$

M คือ เมตริกมวลของระบบ

C_q คือ เมตริกจาโคเบียน

$\ddot{q}$ คือ เมตริกความเร่งของระบบ

λ คือ เมตริกแรง

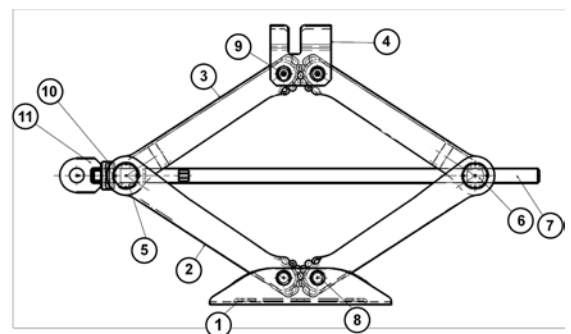
Q_e คือ เมตริกแรงภายนอก

จากนั้นทำการหาคำตอบเมตริกแรงข้างบนรวมกับการใช้ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น ก็จะได้ค่าของแรงปฏิกิริยาที่ข้อต่อ

3. การดำเนินการวิจัย

3.1 ส่วนประกอบของแม่แรงรถยนต์หนึ่งส่วนบุคคล

แม่แรงรถยนต์หนึ่งส่วนบุคคลประกอบไปด้วยชิ้นส่วนต่างๆหลายชิ้นที่ประกอบเข้าด้วยกันและสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ซึ่งแบบจำลองแม่แรงที่นำมาทำการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วยชิ้นส่วน ดังรูปที่ 4

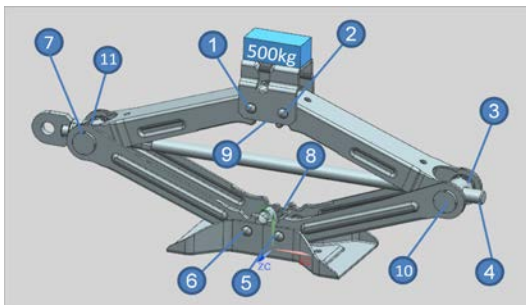


หมายเลข	ชื่อ	จำนวน
1	Seat	1
2	Arm Lower	2
3	Arm Upper	2
4	Top Holder Body	1
5	Metal Screw	1
6	Nut Screw	1
7	Screw	1
8	Livet L	2
9	Livet S	2
10	Bearing Set	1
11	Joint	1

รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบของแม่แรง

3.2 แบบจำลอง 3 มิติ แม่แรงรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

ในการวิจัยได้สร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของแม่แรงรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองในโปรแกรมเขียนแบบ 3 มิติ ให้มีขนาดและรูปร่างเหมือนแม่แรงจริง เพื่อจะนำแบบจำลองไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์แบบวิธีพลศาสตร์มัลติบอดี และโปรแกรมการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตำแหน่งความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนแม่แรง

3.3 การหาแรงที่ข้อต่อของแม่แรงรถยนต์นั่งส่วนบุคคลด้วยวิธีพลศาสตร์มัลติบอดี

การวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์มัลติบอดีจะทำโดยการนำแบบจำลอง 3 มิติ เข้ามาวิเคราะห์ในโปรแกรมการวิเคราะห์พลศาสตร์มัลติบอดี จะวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่แรงและหาแรงที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อของแม่แรงและจะต้องทำการกำหนดความสัมพันธ์ของข้อต่อระหว่างชิ้นส่วนให้ครบทุกชิ้นเพื่อให้แม่แรงสามารถเคลื่อนที่ได้เสมือนจริง ความสัมพันธ์ระหว่าง

ชิ้นส่วนที่ใส่เข้าไปที่ข้อต่อของชิ้นส่วนในแบบจำลองนี้คือ แบบหมุน (revolution joint) แบบเลื่อน (translation joint) และแบบสกรู (screw joint) ซึ่งความสัมพันธ์สามารถระบุตำแหน่งแสดงได้ดังรูปที่ 5

1) ความสัมพันธ์แบบหมุน หมายเลข 1 2 5 6 7 10 และ 11

2) ความสัมพันธ์แบบเลื่อน หมายเลข 4

3) ความสัมพันธ์แบบสกรู หมายเลข 3

4) ความสัมพันธ์แบบสัมผัส หมายเลข 8 และ 9

ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแม่แรงจะกำหนดให้สกรูหมุนด้วยความเร็ว 180 องศา/วินาที และรับน้ำหนัก 500 กิโลกรัม เมื่อสกรูที่ใช้มีระยะพิทช์ (α) 2 มิลลิเมตร และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสกรู 0.16 [3, 9]

3.4 การวิเคราะห์แขนแม่แรงรถยนต์นั่งส่วนบุคคลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ผู้วิจัยได้นำแขนของแม่แรง ในแบบจำลอง 3 มิติ เข้ามาวิเคราะห์ในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงได้ดังรูปที่ 6 เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้นในแต่ละแขนของแม่แรงโดยนำแรงที่หาได้จากวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์พลศาสตร์มัลติบอดีตามข้อ 3.3 เป็นแรงที่กระทำที่ข้อต่อแขนของแม่แรง

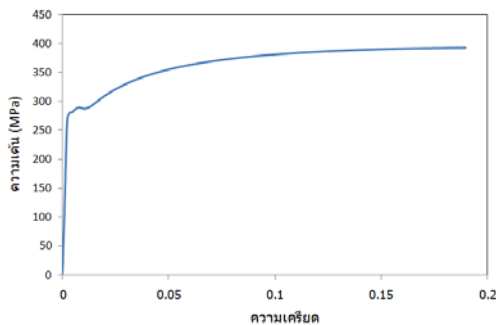


รูปที่ 6 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ Arm Lower(Right)

ผู้วิจัยได้ทำการตัดชิ้นส่วนตัวอย่างของแม่แรงนำไปทำการทดสอบแรงดึง (tensile test) เพื่อหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ SAPH370 ได้ค่าโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ค่าความต้านแรงดึงคราก (yield strength) และค่าความต้านแรงดึง (tensile strength) จากผลการทดสอบได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ ความเค้น - ความเครียด ของวัสดุ แสดงได้ดังรูปที่ 7 และคุณสมบัติของวัสดุแสดงได้ดังตารางที่ 1

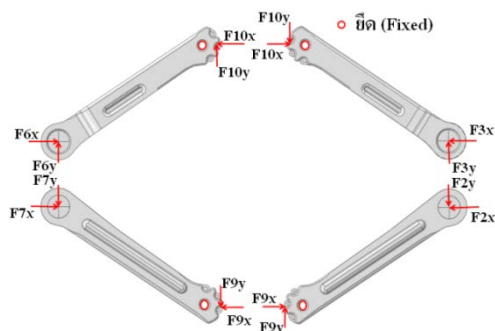
ตารางที่ 1 คุณสมบัติวัสดุ SAPH370

Tensile Strength (MPa)	394
Yield Strength (MPa)	280
Modulus of Elasticity (GPa)	157
Poisson's ratio (ν)	0.3



รูปที่ 7 ผลทดสอบแรงดึงวัสดุ

ในการวิเคราะห์แขนของแม่แรงด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์จะทำการวิเคราะห์แยกกันในแต่ละแขนของแม่แรง เริ่มจากกำหนดคุณสมบัติให้กับวัสดุและกำหนดสภาวะขอบ (boundary condition) สร้างเอลิเมนต์และทำการวิเคราะห์ ในการกำหนดสภาวะขอบจะกำหนดให้มีการยึดที่รูแกนทั้งสองด้านของแขนแม่แรง และอีกด้านจะใส่แรงในแนวแกน x และแนวแกน y ที่จุดกึ่งกลางของตัวเชื่อมแขนแม่แรงและจุดสัมผัสระหว่างแม่แรง แสดงได้ดังรูปที่ 8

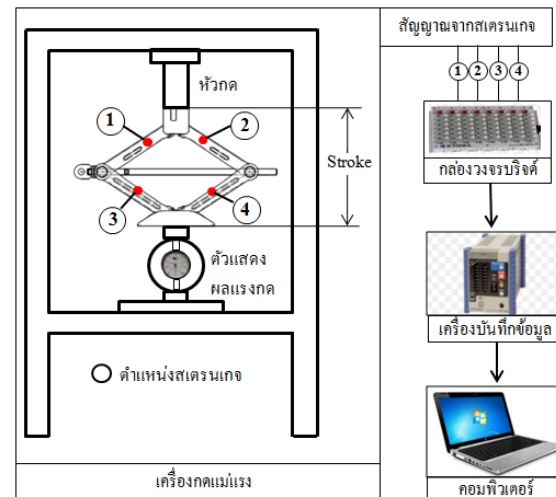


รูปที่ 8 กำหนดสภาวะขอบและแรงกระทำ

3.5 การทดสอบการรับน้ำหนักของแม่แรงรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแม่แรงรถยนต์นั่งส่วนบุคคลให้รับน้ำหนัก 500 กิโลกรัม ที่ความสูงการยกของแม่แรง (stroke) 183 230 270 และ 320 มิลลิเมตร เริ่มจากปรับระดับความสูงของแม่แรงจากนั้นใช้เครื่องกด

(compressing machine) ทำการกดน้ำหนัก ซึ่งหัวกดจะเคลื่อนที่ลงมาที่ส่วนรับน้ำหนักของแม่แรงโดยมีตัวแสดงผลแรงกดและวัดค่าความเครียดจากเซนตรอนเกจที่แขนของแม่แรงทั้งหมด 4 จุด สายสัญญาณของเซนตรอนเกจจะต่อเข้ากับกล่องวงจรบริจด์ เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) และบันทึกค่าลงในคอมพิวเตอร์ ซึ่งแสดงผลแผนผังเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 9

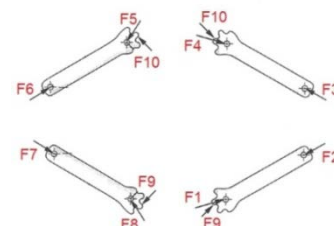


รูปที่ 9 แผนผังเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์แรงที่ข้อต่อของแม่แรงรถยนต์นั่งส่วนบุคคลด้วยวิธีพลศาสตร์มัลติบอดี้

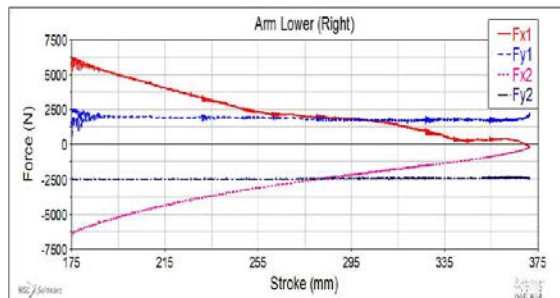
รูปที่ 10 ผังโครงร่างอิสระแรงที่กระทำในแต่ละแขนของแม่แรง



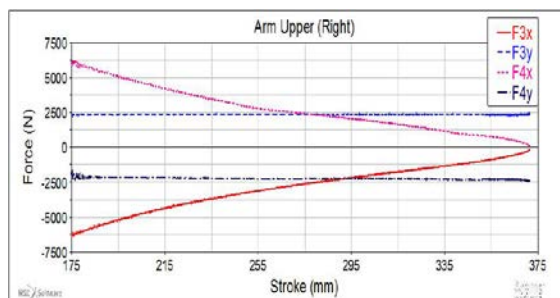
รูปที่ 10 ผังโครงร่างอิสระแรงกระทำที่แขนของแม่แรง

รูปที่ 11 แสดงแรงที่กระทำกับข้อต่อของ Arm Lower (Right) ในกราฟจะแสดงแรง F1x F1y F2x และ F2y รูปที่ 12 แสดงแรงที่กระทำกับข้อต่อของ Arm Upper (Right) ในกราฟจะแสดงแรง F3x F3y F4x และ F4y รูปที่ 13 แสดงแรงที่กระทำกับข้อต่อของ Arm Upper(Left)ในกราฟจะแสดงแรง F5x F5y F6x และ F6y

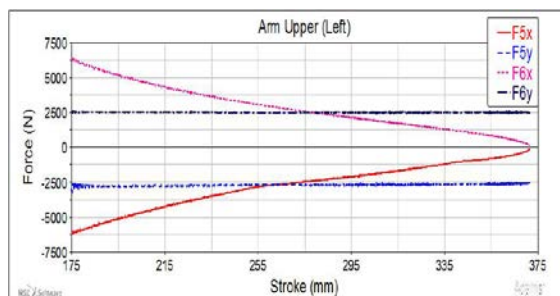
รูปที่ 14 แสดงแรงที่กระทำกับข้อต่อของ Arm Lower (Left) ในกราฟจะแสดงแรง F7x F7y F8x และ F8y



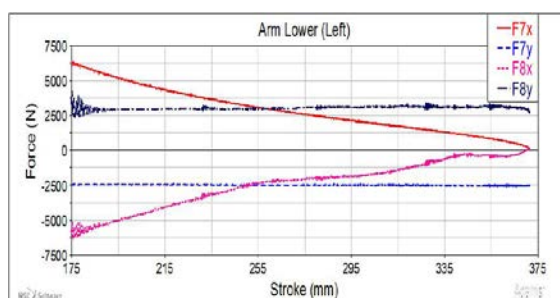
รูปที่ 11 แรงที่กระทำกับข้อต่อของ Arm Lower (Right)



รูปที่ 12 แรงที่กระทำกับข้อต่อของ Arm Upper (Right)



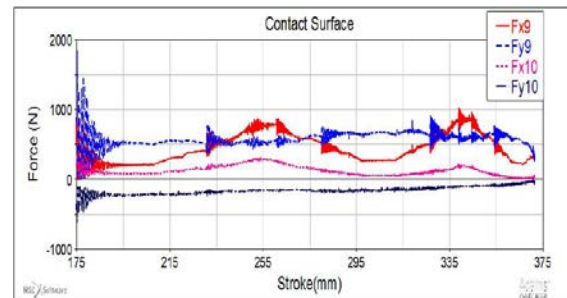
รูปที่ 13 แรงที่กระทำกับข้อต่อของ Arm Upper (Left)



รูปที่ 14 แรงที่กระทำกับข้อต่อของ Arm Lower (Left)

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 11-14 จะเห็นได้ว่าเมื่อความสูงการยกของแม่แรงเพิ่มขึ้นขนาดของแรงที่กระทำกับข้อต่อในแนวแกน x มีแนวโน้มลดลงและแรงกระทำกับข้อต่อในแนวแกน y มีแนวโน้มคงที่โดยแนวโน้มจะ

เหมือนกันทั้ง 4 รูป ซึ่งตำแหน่งของแรง F1- F8 ในแต่ละกราฟจะสอดคล้องกับไดอะแกรมของแรงตามรูปที่ 11



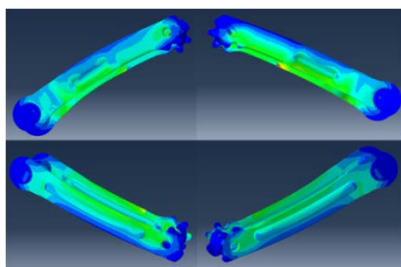
รูปที่ 15 แสดงแรงที่กระทำที่ผิวสัมผัสหมายเลข 8 และ 9

จากรูปที่ 15 เป็นการแสดงแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่าง Arm Upper (Left) กับ Arm Upper (Right) แสดงโดย F10x และ F10y และ Arm Lower (Left) กับ Arm Lower (Right) แสดงโดย F9x และ F9y โดยแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสมีแนวโน้มไม่แน่นอนทั้งในแนวแกน x และ y ของทั้ง 2 คู่ผิวสัมผัสและตำแหน่งของผิวสัมผัสจะเปลี่ยนแปลงไปตามความสูงการยกของแม่แรงซึ่งจากรูปที่ 10 แรง F9 และ F10 ที่แสดงเป็นทิศทางและตำแหน่งของแรงที่เกิดขึ้นที่ระดับความสูงการยก 183 และ 230 มิลลิเมตร

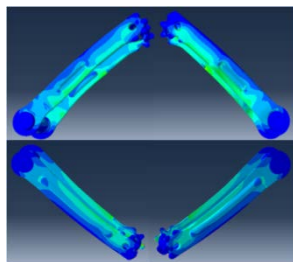
4.2 ผลการวิเคราะห์ความเค้นแกนแม่ของแรงรถยนต์นั่งส่วนบุคคลด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าเมื่อความสูงการยกของแม่แรงเพิ่มขึ้นความเค้นที่เกิดขึ้นที่แกนของแม่แรงจะมีค่าลดลงและเป็นไปในแนวทางเดียวกันทั้ง 4 แกนของแม่แรงรูปที่ 16-19 แสดงความเค้นที่เกิดขึ้นที่แกนของแม่แรงที่ความสูงการยกของแม่แรง 183 230 270 และ 320 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ใช้แถบสีเดียวกันจากรูปที่ 19) และจะพบว่าที่ระดับความสูง 183 มิลลิเมตร จะเกิดความเค้นสูงสุดที่แกนของแม่แรงมากกว่าระดับความสูงอื่น และความเค้นมากที่สุดจะสังเกตได้ที่จุดสีแดงดังรูปที่ 16 จะป็นบริเวณเดียวกันทั้ง 4 แกน คือ Arm Lower (Right) Arm Upper (Right) Arm Upper (Left) และ Arm Lower (Left) คือ 137 MPa 225 MPa 170 MPa และ 193 MPa ตามลำดับโดยบริเวณดังกล่าวสามารถออกแบบให้เหมาะสมเพื่อลดความเค้น

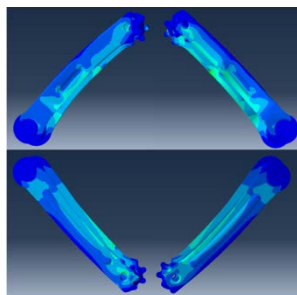
ได้แล้วเมื่อนำค่าความเค้นสูงสุดในแต่ละแขนและแต่ละความสูงมาหาค่าความปลอดภัย (safety factor) จากค่าความต้านแรงดึงคราก (yield strength) จะได้ค่าความปลอดภัยอยู่ในช่วง 1.24 - 3.73 ซึ่งค่าความปลอดภัยตามลักษณะการใช้งานของแม่แรงสามารถออกแบบให้มีค่าได้ 1.5-2.0 [9] อีกทั้งแขนคู่ล่างที่สัมผัสกัน Arm Lower (Left) จะเกิดความเค้นของการสัมผัสสูงสุด คือ 228 MPa ซึ่งยังน้อยกว่าค่าความต้านแรงดึงครากดังนั้นแม่แรงนี้ยังสามารถที่จะออกแบบให้มีค่าความปลอดภัยที่เหมาะสมในช่วงดังกล่าวได้



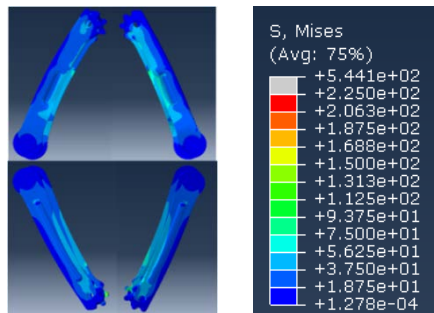
รูปที่ 16 แสดงความเค้นของแขนแม่แรงที่ stroke 183mm



รูปที่ 17 แสดงความเค้นของแขนแม่แรงที่ stroke 230mm



รูปที่ 18 แสดงความเค้นของแขนแม่แรงที่ stroke 270 mm



รูปที่ 19 แสดงความเค้นของแขนแม่แรงที่ stroke 320mm

4.3 ผลทดสอบการรับน้ำหนักของแม่แรง

ผลทดสอบการวัดค่าความเครียดที่แขนของแม่แรงทั้ง 4 แขน ได้ค่าความเครียดแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความเครียดที่วัดได้จากการทดสอบ

Stroke (mm)	ความเครียด ($\times 10^{-6}$)			
	Arm Lower (Right)	Arm Upper (Right)	Arm Upper (Left)	Arm Lower (Left)
183	519	247	312	610
230	388	177	278	400
270	356	106	246	289
320	250	105	240	229

จากนั้นแปลงค่าความเครียดเป็นค่าความเค้น จากสมการ

$$\sigma = E\varepsilon \quad (14)$$

เมื่อ σ คือ ค่าความเค้น

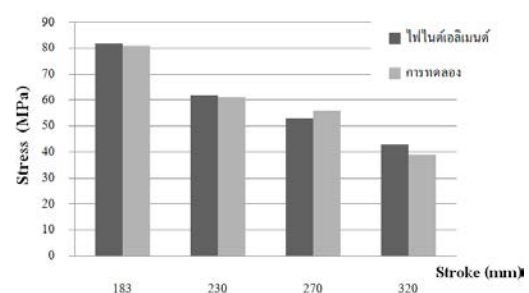
E คือ โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (157 GPa)

ε คือ ความเครียด

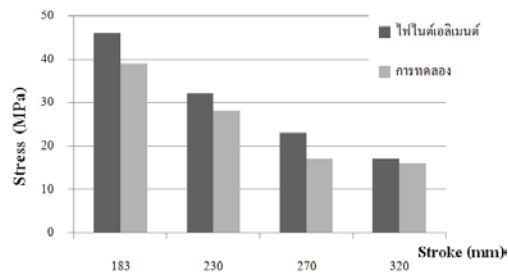
และจะได้ค่าความเค้นเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป

4.4 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลอง

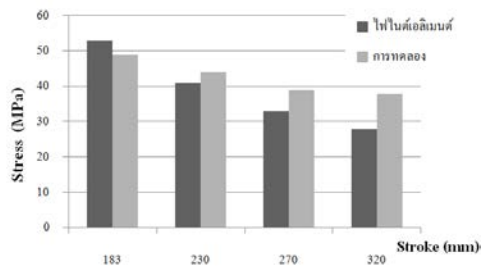
เมื่อนำผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลองของแขนแม่แรงทั้ง 4 แขน มาเปรียบเทียบกับในตำแหน่งเดียวกันกับที่ติดสเตรนเกจพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือเมื่อความสูงการยกของแม่แรงเพิ่มขึ้นความเค้นที่เกิดขึ้นจะลดลงจากการเปรียบเทียบดังกล่าวสามารถยืนยันได้ว่าการวิเคราะห์ความเค้นของแขนแม่แรงด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าใกล้เคียงกับความเค้นที่เกิดขึ้นจากการรับน้ำหนักจริง แสดงได้ดังรูปที่ 20-23



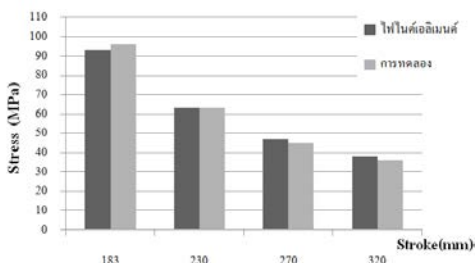
รูปที่ 20 Arm Lower (Right)



รูปที่ 21 Arm Upper (Right)



รูปที่ 22 Arm Upper (Left)



รูปที่ 23 Arm Lower (Left)

5. สรุป

1. การวิเคราะห์แม่แรงรถยนต์นั่งส่วนบุคคลด้วยวิธีพลศาสตร์มัลติบอดีไดนามิกส์ พบว่าเมื่อความสูงการยกของแม่แรงเพิ่มขึ้นแรงที่กระทำที่ข้อต่อของแม่แรงมีแนวโน้มลดลง

2. การวิเคราะห์แม่แรงรถยนต์นั่งส่วนบุคคลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าเมื่อความสูงการยกของแม่แรงเพิ่มขึ้นความเค้นที่กระทำที่แขนของแม่แรงมีแนวโน้มลดลง

3. ผลการทดสอบแม่แรงพบว่าเมื่อความสูงการยกของแม่แรงเพิ่มขึ้นความเค้นที่กระทำที่แขนของแม่แรงมีแนวโน้มลดลง

4. จากข้อ 2 และ 3 ผลความเค้นที่เกิดขึ้นที่ความสูงการยกของแม่แรงเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าวิธีการวิเคราะห์หาความเค้นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีพลศาสตร์มัลติบอดีไดนามิกส์ในงานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางเพื่อนำไปใช้ออกแบบแม่แรงได้

5. ค่าความเค้นมากที่สุดที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เกิดขึ้นที่ Arm Upper (Right) มีค่าความปลอดภัย 1.24–3.73 และจุดที่เกิดความเค้นสูงสุดสามารถออกแบบให้มีค่าความปลอดภัยที่เหมาะสมได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Mounika.Kandi.Reddy and Priyanka CH “Design and Fabrication of Motorized Screw Jack for a four wheeler” Project Report, 2011
- [2] A. S. Akinwonmi and A. Mohammed, “Modification of Existing Design of a Car Jack” Journal of Engineering Trends in Engineering and Applied Sciences, pp.581-588, 2012
- [3] Reena M Arona et al, “Design Optimization of Power Screw Jack” International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies, Vol.9, No.2, pp.171-177, 2011
- [4] Nitinchandra R. Patel et al “Design of Toggle Jack Considering Material Selection of Screw-Nut Combination” International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology, Vol. 2, Issue5, 2013
- [5] M. M. Nor, K. Kadirgama and M. M. Rahman, “Analysis of Auto Car Jack” National Conference in Mechanical Engineering Research and Postgraduate Students, pp.198-203, 2010
- [6] Robert L.Norton “Machine Design” Singapore, Pearson, 2006
- [7] AHMED A. SHABANA, “Computational Dynamics” 3 rd ed. Singapore-Wiley, 2010
- [8] Daryl L. Logan, Finite Element Method, 3rd ed, Thomson, 2002
- [9] V. Uengpakorn and C.Thanadngan, Machine Design, Se-Education Pubic Company Limited, 2005