

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแขนควบคุมบนภายใต้แรงสถิต

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF UPPER CONTROL ARM

UNDER STATIC LOADING

วัชระ เกร็อรฐติกาล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengwkr@ku.ac.th

ชาญเวช ศीलพิพัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengchse@ku.ac.th

อดุลย์ พัฒนภักดี

ภาควิชาวิศวกรรมระบบเครื่องกลและนวัตกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: adual.pa@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบกันสะเทือนรองรับตัวถังของรถยนต์และส่งผ่านแรงระหว่างตัวรถและถนน แขนควบคุมบนเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญของระบบกันสะเทือน งานวิจัยนี้เน้นวิเคราะห์ความเค้นของแขนควบคุมบนภายใต้แรงสถิต การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ค่าความเค้นวอนมิสเสสสูงสุด 17.005 เมกะปาสคาล ที่จุดสัมผัสระหว่างแขนบนและท่อ ระยะการเสียรูปสูงสุด 0.0131 มิลลิเมตร ที่รูของแขนบน ค่าความเค้นวอนมิสเสสสูงสุดไม่เกินค่าความเค้นครากหมายความว่าแขนควบคุมบนไม่ได้เสียหายขณะที่มีแรงสถิตกระทำ

คำสำคัญ: แขนควบคุมบน การวิเคราะห์ความเค้น ไฟไนต์เอลิเมนต์

ABSTRACT

The suspension system carries the vehicle body and transmit forces between the body and the road. The upper control arm is one of the most effective parts in the suspension systems. In this research work focused on stress analysis of upper control arm under static loading. Finite element analysis gives maximum Von-Misses stress was 17.005 MPa at contact point between arm upper and pipe, maximum deformation was 0.0131 mm at hole of arm upper. The value of maximum Von-Misses stress not exceed to yield strength that mean the upper control arm do not failure during static force was applied.

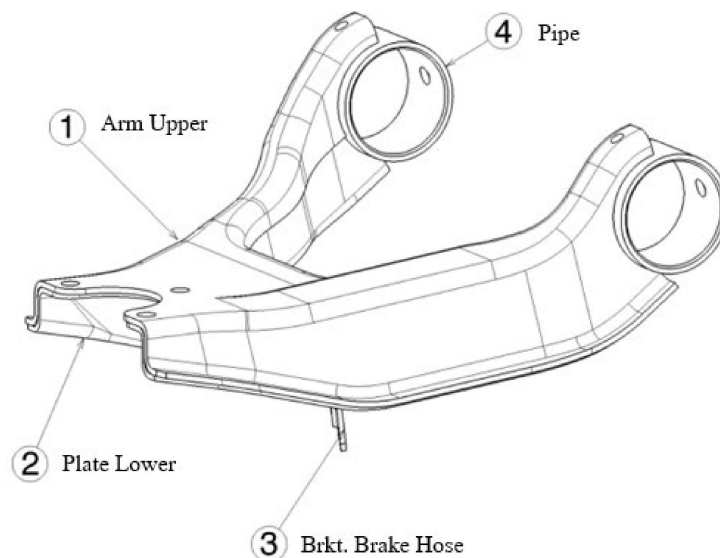
Keywords: Upper Control Arm, Stress Analysis, Finite Element

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการนำเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการทดสอบมาประยุกต์ใช้ ปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพสูง ทำให้การประมวลผลเป็นไปอย่างรวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้ การนำระเบียบวิธีทางคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบนั้น ทำให้สามารถช่วยลดระยะเวลาการออกแบบและทดสอบลง รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายได้มาก

ชิ้นส่วนที่สำคัญชิ้นหนึ่งของรถยนต์คือ แขนควบคุมบน (Upper Control Arm) และแขนควบคุมล่าง (Lower Control Arm) เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในการรองรับน้ำหนักบรรทุกรวมของรถ มีสปริงและโช้คอัพช่วยในการรองรับน้ำหนัก แขนควบคุมบน และ แขนควบคุมล่าง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จับยึดล้อหน้าเข้ากับรถยนต์ โดยล้อทั้งสองด้านไม่เกี่ยวพันกัน คือ การยึดล้อแต่ละล้อเข้ากับตัวรถแยกจากกัน ทำให้ขณะที่ล้อเคลื่อนที่ขึ้นลง หรือขณะล้อป็นก้อนหินหรือตกหลุม จะมีผลต่อการโคลงตัวของตัวรถน้อยมาก จึงทำให้การทรงตัวของรถดีขึ้น แขนควบคุมล่าง ยังเป็นส่วนที่ติดตั้งโช้คอัพหน้า เพื่อรับการส่งสะเทือนจากสภาพท้องถนน อีกทั้งยังมีการติดตั้งลูกหมากที่ แขนควบคุมบน และลูกหมากที่ แขนควบคุมล่าง ทำหน้าที่แทนสลักคิงพิน เพื่อใช้เป็นแกนหมุนเลี้ยวของรถยนต์ ดังนั้นการออกแบบจึงจำเป็นต้องคำนึงความแข็งแรงและความทนทานที่สูง โดยแขนควบคุมบนเป็นส่วนบนของปีกนกบนที่เชื่อมต่อระหว่างล้อกับตัวรถ

ลักษณะของ แขนควบคุมบน แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งมีประกอบด้วย ชิ้นส่วนทั้งหมด 4 ชิ้นส่วน หน้าที่ของส่วนต่างๆ ของแขนควบคุมบน มีดังนี้ ชิ้นงานทั้งหมดต้องนำมาเชื่อมยึดติดกัน ส่วนของรู 3 ของชิ้นงานที่ 1 แขนบน (Arm Upper) และชิ้นงานที่ 2 แผ่นล่าง (Plate Lower) ยึดเข้ากับลูกหมากซึ่งยึดเข้ากับชุดเคลื่อนที่ของล้อ ส่วนบริเวณชิ้นงานที่ 3 ขายึดสายเบรก (Brkt. Brake Hose) ยึดเข้ากับสายเบรกของรถ และส่วนบริเวณชิ้นงานที่ 4 ท่อ (Pipe) ต้องสวมด้วยบุช แล้วยึดเข้ากับแชสซีของรถ



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนของแขนควบคุมบน

M. Sadiq A. Pachapuri และคณะ (2021) คำนวณหาแรงที่กระทำต่อแขนควบคุมล่างของรถยนต์ขับเคลื่อนสี่ล้อมีระบบกันสะเทือนแบบแมคเฟอร์สันสตรัท ผลการคำนวณได้แสดงถึงการกระจายตัวของความเค้น ระยะการเสถียรสูงสุดของแขนควบคุมล่าง Ayman E. Nabawy และคณะ (2019) คำนวณหาผลกระทบต่อระบบช่วงล่าง

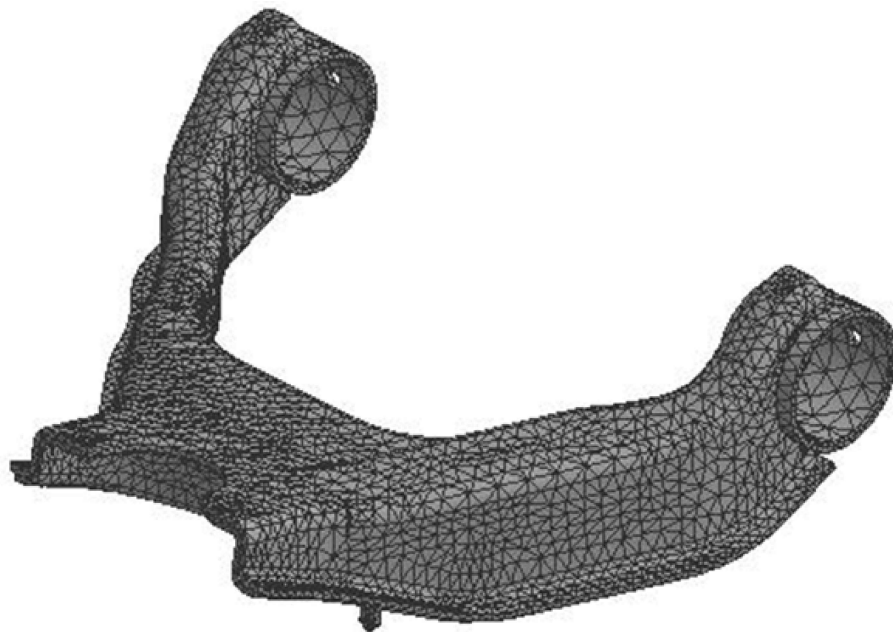
ของรถยนต์จากถนนในรูปแบบต่างๆ K. Vikranth Reddy และคณะ (2016) คำนวณเปรียบเทียบการการเสียรูปของระบบช่วงล่างแบบปีกนกคู่ (Double wishbone) และแมคเฟอร์สันสตรัท (MacPherson strut) A. M.Patil และคณะ (2013) คำนวณหาความเค้นที่เกิดกับปีกนกกลางจากขนาดของภาระแรงกระทำที่ส่งผ่านจาก ปีกนกบน โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ B. Gadade และ R. G. Todkar (2015) ใช้ระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ คำนวณหาความเค้นและระยะการเสียรูปที่เกิดขึ้นกับปีกนกกลางแบบรูปทรงเอ ขนาดของภาระที่กระทำกับล้อ 5,000 นิวตันในแนวตั้ง โดยผลที่ได้สอดคล้องกับการทดสอบจริง M. Sridharan และ S. Balamurugan (2016) ได้สร้างแบบจำลองคำนวณหาการ โกงของแกนควบคุมล่างเพื่อหาขนาดที่เหมาะสม โดยการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ U. A. Ramesh และคณะ (2017) วิเคราะห์ความแข็งแรงแกนควบคุมล่างที่ทำจากวัสดุคอมโพสิตและเหล็ก Dehkordi. H. Banitalebi (2014) วิเคราะห์หาความเค้นที่เกิดกับแกนควบคุมบนที่เกิดจากแรงพลศาสตร์เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความเสียหาย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการความเค้นที่เกิดกับแกนควบคุมบนของรถยนต์ภายใต้แรงสถิตที่กระทำในแนวระดับ โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์คำนวณหาค่าความเค้นวอนมิสเสส ความเค้นเฉือน และระยะการเสียรูปของแกนควบคุมบน

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

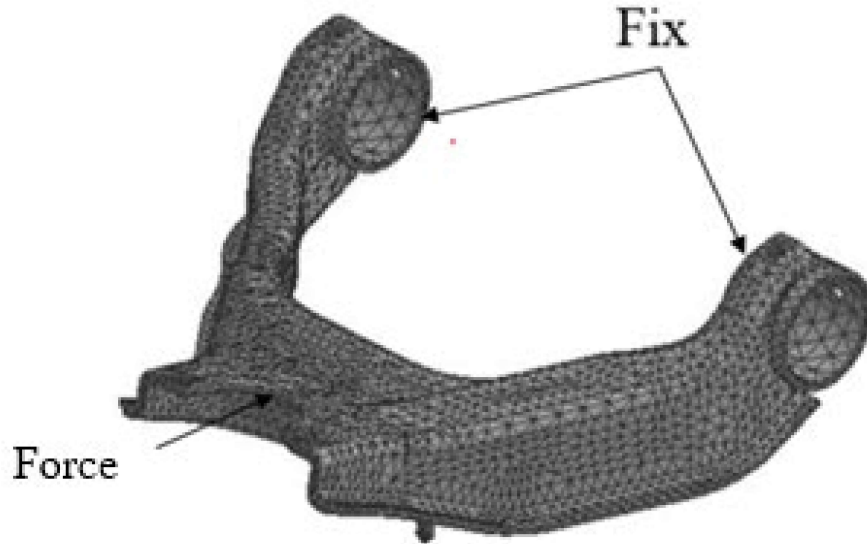
สร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแกนควบคุมบน แสดงดังรูปที่ 2 โดยแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วย 49480 โหนด 29457 เอลิเมนต์



รูปที่ 2 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแกนควบคุมบน

การกำหนดขอบเขตและเงื่อนไข

การกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขของ แขนควบคุมบน แสดงดังรูปที่ 3 โดยขอบเขตเงื่อนไขของแขนควบคุมบนของรถยนต์ มีแรงกระทำที่รูยึดของลูกหมากในแนวระดับกับท้อ และไม่ยอมให้มีการเคลื่อนที่บริเวณท้อทั้งสองด้าน



รูปที่ 3 การกำหนดขอบเขตเงื่อนไขของแขนควบคุมบน

คุณสมบัติของวัสดุ

ชิ้นส่วนที่ประกอบขึ้นเป็นแขนควบคุมบน มีทั้งหมด 4 ชิ้นส่วน โดยที่คุณสมบัติของวัสดุของชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นแขนควบคุมบน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุของชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นแขนควบคุมบนของรถยนต์

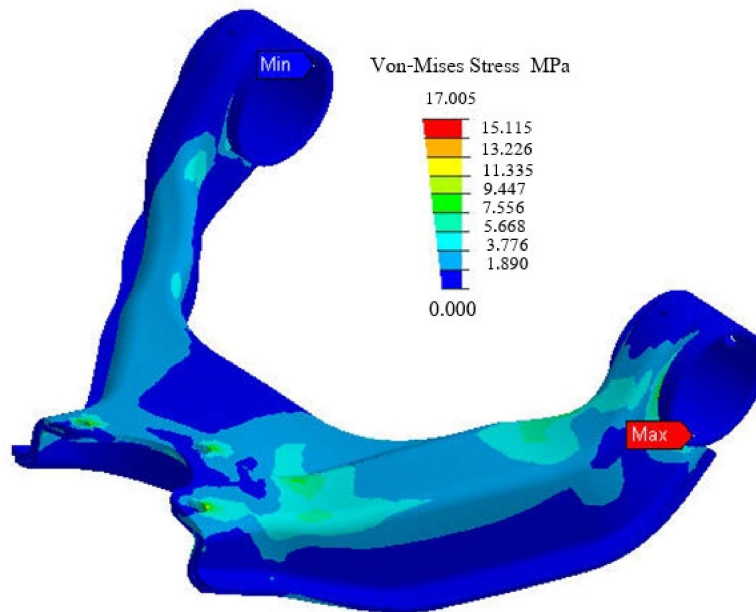
NO.	Part Name	Young's Modulus (E)	Poisson's Ratio	Yield Strength (σ_y)
		GPa	(ν)	MPa
1	แขนบน	200	0.33	225
2	แผ่นล่าง	200	0.33	225
3	ขายึดสายเบรก	200	0.37	205
4	ท้อ	200	0.35	280

3. ผลการคำนวณและอภิปราย

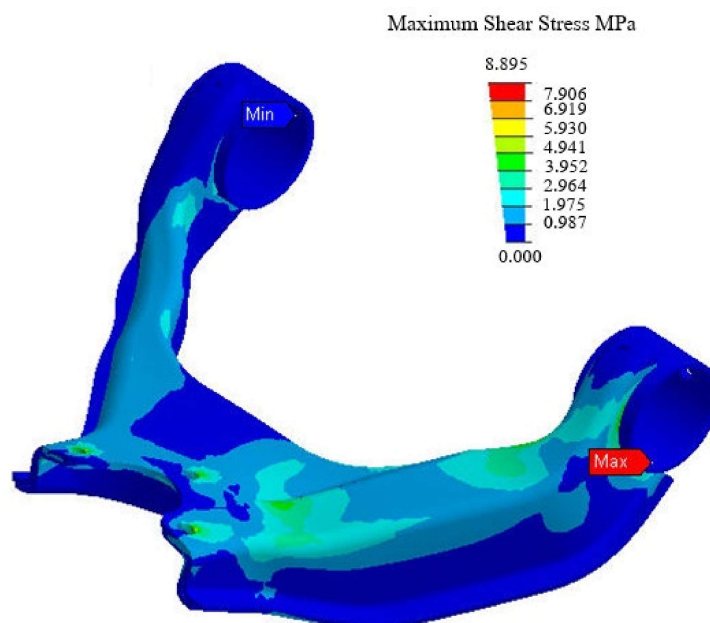
จากการคำนวณโดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ค่าความเค้นวอนมิสเสส (Von-Mises Stress) ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum Shear Stress) และระยะการเสียรูป (Deformation) ของแขนควบคุมบน ที่มีแรงขนาดต่างๆ กระทำแสดงตามตารางที่ 2 การกระจายความเค้นวอนมิสเสส ความเค้นเฉือนสูงสุด และระยะการเสียรูป ที่เกิดจากมีแรงขนาด 650 นิวตันกระทำ แสดงดังรูปที่ 4 - 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณตามแรงขนาดต่างๆ ที่กระทำต่อแขนควบคุมบน

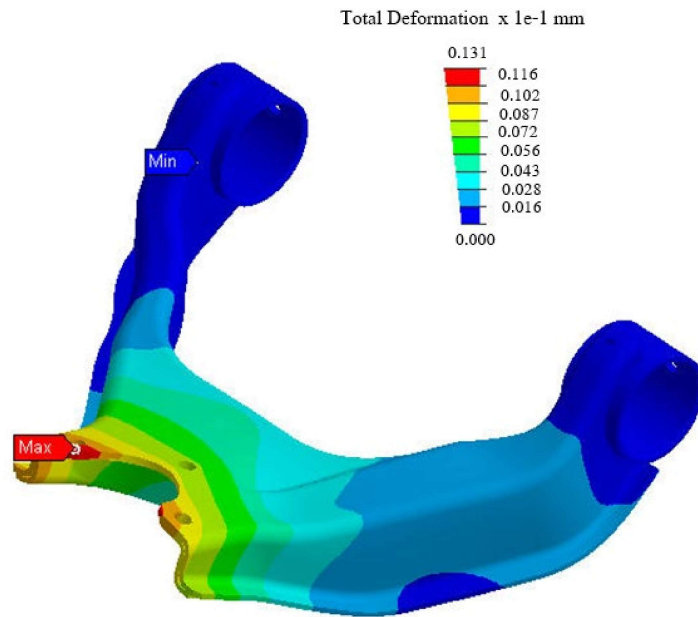
ขนาดแรง	ความเค้นวอนมิสเสส	ความเค้นเฉือนสูงสุด	ระยะการเสียรูป
N	MPa	MPa	$\times 10^{-3}$ mm
350	9.165	4.859	7.11
450	11.877	6.185	9.12
550	14.398	7.625	11.04
650	17.005	8.895	13.11



รูปที่ 4 ค่าความเค้นวอนมิสเสสของแขนควบคุมบน

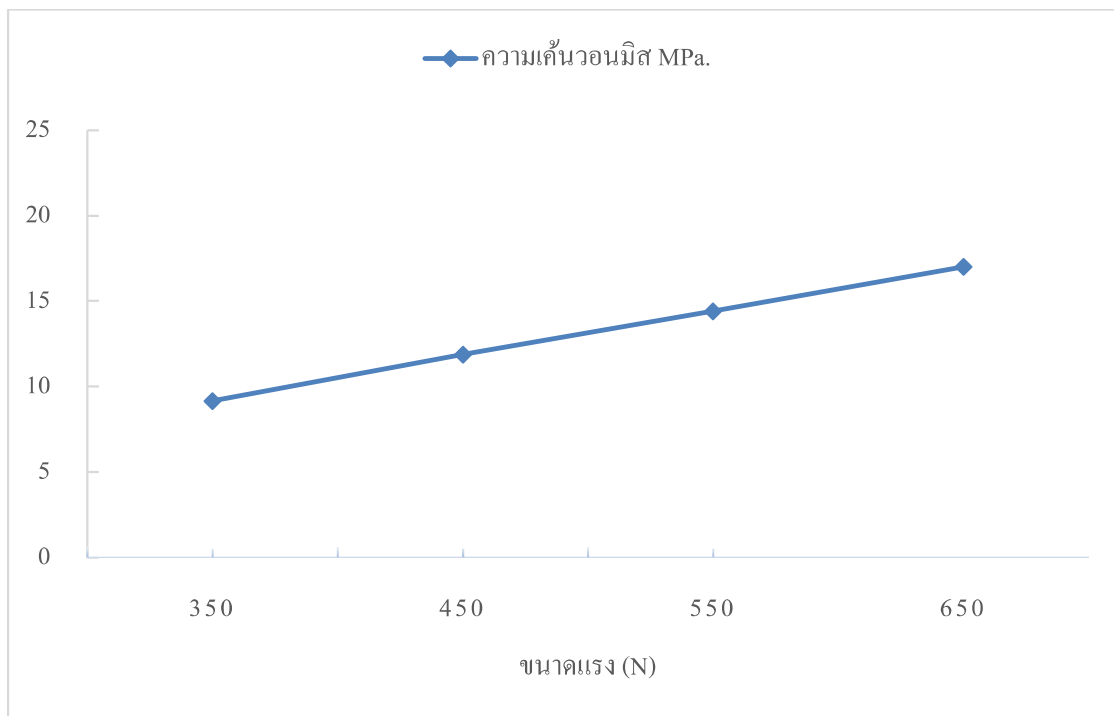


รูปที่ 5 ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดของแขนควบคุมบน

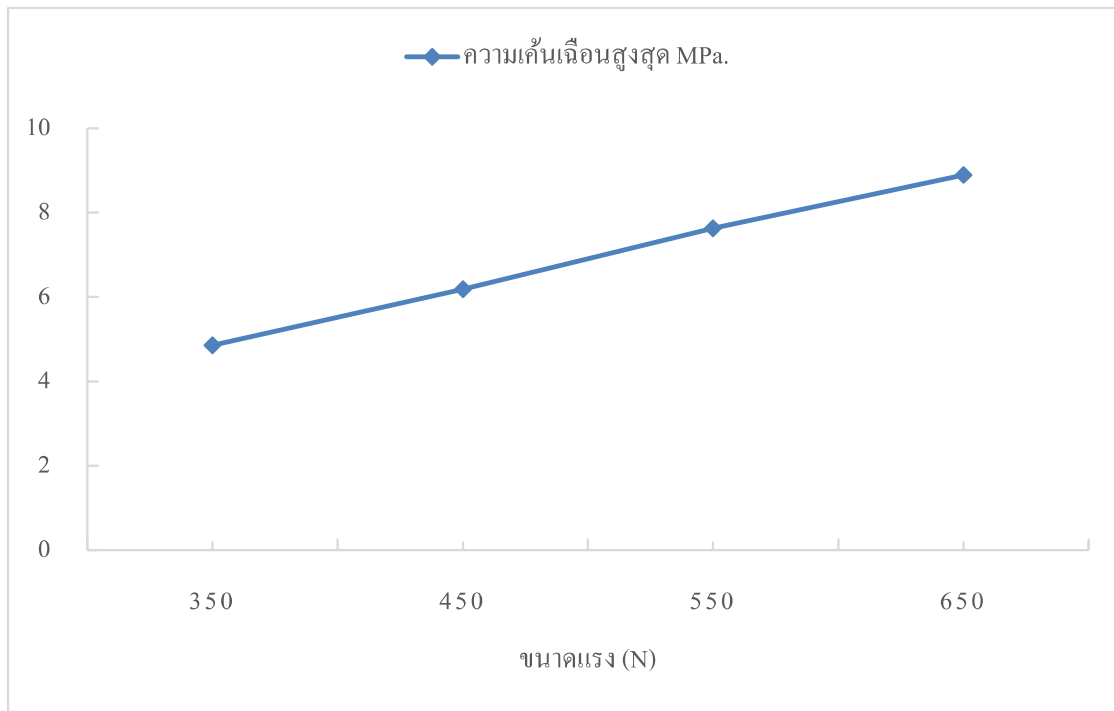


รูปที่ 6 ค่าระยะการเสียรูปของแขนควบคุมบน

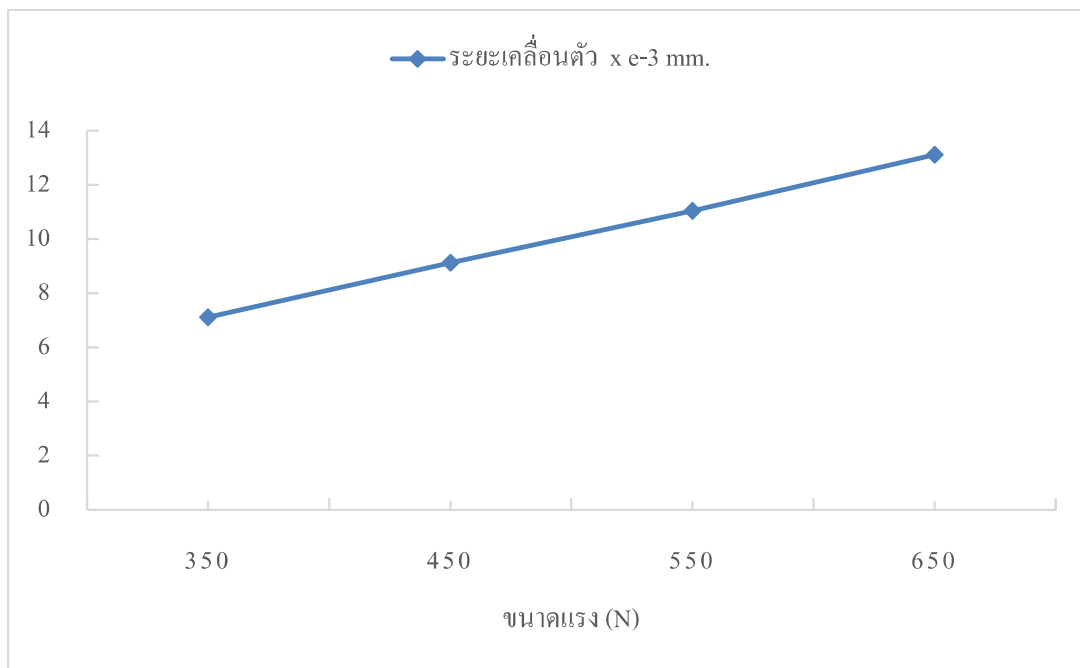
เมื่อนำค่าตามตารางที่ 2 มาสร้างกราฟ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงกับความเค้นวอนนิสเสส ความเค้นเฉือนสูงสุด และระยะการเสียรูป ตามรูปที่ 7-9 ตามลำดับ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงที่กระทำกับแขนควบคุมบนกับความเค้นวอนนิสเสสที่เกิดขึ้น

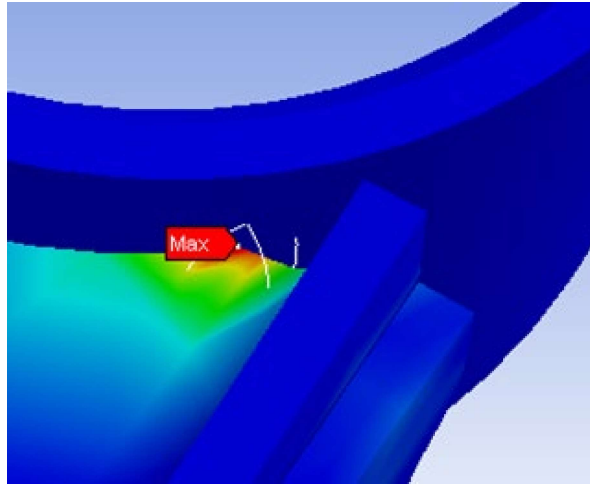


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงที่กระทำกับแกนควบคุมกับความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้น



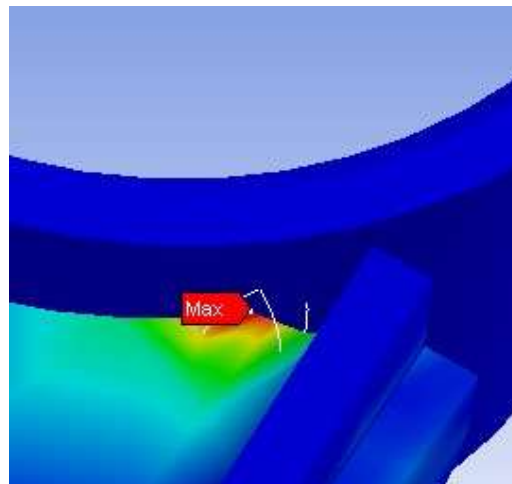
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงที่กระทำกับแกนควบคุมกับระยะการการเสียรูปที่เกิดขึ้น

จากผลการคำนวณค่าความเค้นอนมิสเสสของแกนควบคุมบน แสดงตามรูปที่ 4 มีค่าความเค้นอนมิสเสสสูงสุดเท่ากับ 17.005 MPa ซึ่งไม่เกินค่าความเค้นครากของชิ้นงานตามตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานยังไม่เกิดความเสียหาย บริเวณที่เกิดความเค้นอนมิสเสสสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างแกนบนกับท่อ แสดงดังรูปที่ 10



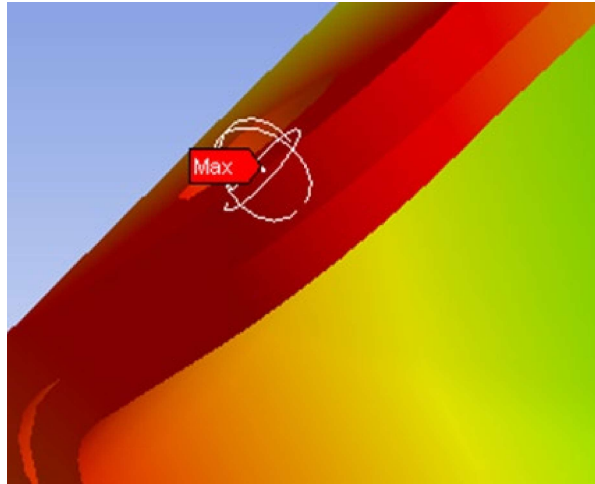
รูปที่ 10 บริเวณที่เกิดค่าความเค้นวอนมีสเสตสูงสุดของแขนควบคุมบนที่บริเวณรอยต่อระหว่างแขนบนกับท่อ

จากผลการคำนวณค่าความเค้นเฉือนของแขนควบคุมบน แสดงตามรูปที่ 5 มีค่าความเค้นเฉือนสูงสุดเท่ากับ 8.895 MPa ซึ่งไม่เกินค่าความเค้นเฉือนครากของชิ้นงาน แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานยังไม่เกิดความเสียหาย บริเวณที่เกิดความเค้นเฉือนสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่าง แขนบนกับท่อ แสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งบริเวณนี้ต้องมีการเชื่อมชิ้นงานทั้งสองให้ติดกัน ทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นจริงมีค่าลดลง เนื่องจากมีพื้นที่รับความเค้นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 11 บริเวณที่เกิดค่าความเค้นเฉือนสูงสุดของแขนควบคุมบนที่บริเวณรอยต่อระหว่างแขนบนกับท่อ

จากผลการคำนวณค่าระยะการเสีรูปของแขนควบคุมบน แสดงตามรูปที่ 6 มีค่าระยะการเสีรูปสูงสุดเท่ากับ 0.0131 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าน้อยมาก บริเวณที่เกิดระยะการเสีรูปสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณส่วนรูที่ใช้ยึดลูกหมากของชิ้นส่วนที่เป็นแขนบนและแผ่นล่าง แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 บริเวณที่เกิดระลอกการเสียรูปสูงสุดบริเวณส่วนรูที่ใช้ยึดลูกหมากของแขนควบคุมบน

4. สรุปผล

จากผลการคำนวณหาค่าความเค้นวอนมิสเสส ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด และระลอกการเสียรูปของโครงสร้าง แขนควบคุมบน ดังรูปที่ 11 12 และ 13 แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดคือ บริเวณแขนบนด้านที่สัมผัสกับท่อ ซึ่งค่าความเค้นวอนมิสเสส มีค่า 17.005 MPa และค่าความเค้นเฉือนสูงสุด มีค่า 8.895 MPa สำหรับบริเวณที่เกิดค่าระลอกการเสียรูปสูงสุดคือตัว แขนบนตรงบริเวณรูที่ยึดกับลูกหมาก มีค่า 0.0131 mm โดยค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นของแขนควบคุมบนยังอยู่ในค่าที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานเมื่อรับภาระแบบภาระสถิต

5. เอกสารอ้างอิง

- Ayman E. Nabawy, Alaa A. Abdelrahman, Ayman M. Abdelhaleem, Soliman. S. Alieldin. (2019). Finite Element Analysis of Double Wishbone Vehicle Suspension System. *The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology*, 27, 12–22.
- A. M. Patil, A. S. Todkar, R. S. Mithari, and V. V. Patil. (2013). Experimental & Finite Element Analysis of Left Side Lower Wishbone Arm of Independent Suspension System. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 7, 43-48.
- B. Gadade and R. G. Todkar. (2015). Design, analysis of A-type front lower suspension arm in commercial vehicle. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2, 759-766.
- Dehkordi. H. Banitalebi. (2014). *Vibration and force analysis of lower arm of suspension system*. Doctoral dissertation. Université du Québec à Chicoutimi.
- K. Vikranth Reddy, Madhu Kodati, Kishen Chatra, Sandipan Bandyopadhyay. (2016). A comprehensive kinematic analysis of the double wishbone and MacPherson strut suspension systems. *Mechanism and Machine Theory*, 105, 441-470.
- M. Sadiq A. Pachapuri, Ravi G. Lingannavar, Nagaraj K. Kelageri, Kritesh K. Phadate. (2021). Design and analysis of lower control arm of suspension system. *Materials Today*, 47(11), 2949-2956.

M. Sridharan and S. Balamurugan (2016) Design and Analysis of Lower Control ARM. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5, 6510-6528.

U. A. Ramesh, D. Siddhartha, R. A. Sethu, N. Ramanan, and V. Karthi (2017) Modeling and Analysis of Lower Wishbone for Independent Suspension System for Commercial Vehicles. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 2, 166-168.