การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

The Analysis of Strength Housing of Differential Gear in a Formula Student Electric Car using Finite Element Method.

จิรพงศ์ สุขาทิพย์*, ธนิน คูมาชิโร่ และ ไกรวิชญ์ อุดมศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น 1771/1 ซ.พัฒนาการ 37 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250
*ติดต่อ: jirapong@tni.ac.th, 02-7632600 ต่อ 2924

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วของรถไฟฟ้าสำหรับนักศึกษา ให้สามารถทนต่อแรงขับเคลื่อนของมอเตอร์ต้นกำลังที่มีขนาด 50 กิโลวัตต์ แรงบิด 80 นิวตัน·เมตร ใช้การส่งกำลังเป็นแบบโซ่-สเตอร์ที่มีอัตราทดเท่ากับ 3 : 1 โดยที่เสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วนี้ต้องทนต่อแรงกระทำจากภายนอกได้และต้องมีน้ำหนักเบา เสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วทำมาจากเหล็กหล่อเทา ซึ่งมีค่าความแข็งสูง โดยใช้พื้นฐานจากเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วของรถยนต์ยี่ห้อไดฮัทสุ ที่มีขนาดเล็กและหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด แต่เนื่องจากเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วของไดฮัทสุ มีความแข็งแรงมากเกินความจำเป็นสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา จึงได้ปรับปรุงเสื้อเฟืองให้มีนำหนักเบาขึ้นการวิเคราะห์ความแข็งแรงใช้เทคนิคทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม ANSYS R16.2 ผลการวิเคราะห์พบว่าเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วที่ปรับปรุงใหม่มีน้ำหนักเบาขึ้นสามารถทนต่อแรงภายนอกได้และมีค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยเท่ากับ 1.078 และมีน้ำหนักลดลง 0.806 kg

คำหลัก: เสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็ว , อัตราทดเกียร์ , ค่าความแข็งแรง , แฟกเตอร์ความปลอดภัย

Abstract

This paper proposes a design Housing of differential gear in formula student electric car. The aim of this proposed system is to operate with driving force of the car system. The rated of the motor include of power is 50 kW and torque is 80 Nm. The stir chain system is used to transfer torque and power in this car system. According to the of stir chain system in differential gear is 3 to 1. The properties of differential gear is to be durable with external force and light weight material. Based on Housing of differential gear from Daihatsu. This is a small and easy to find. But housing of differential gear from Daihatsu is too strong for formula student electric car. It has improved for less strong and lighter. The numerical simulation and analysis using finite element method using ANSYS R16.2. Finally, the results were verified for durable with external force with safety factor is 1.078 and weight loss 0.806 kg.

Keywords: differential gears , gears ratio , strength , safety factor

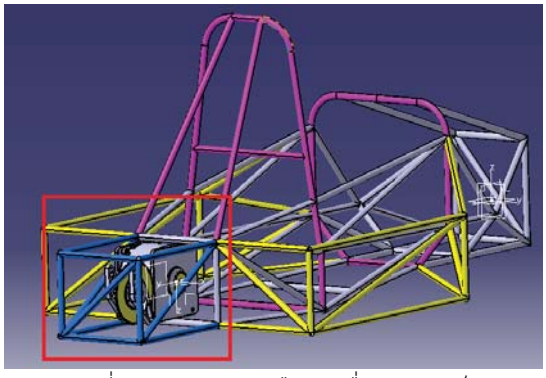
1.บทนำ

เฟืองเหลื่อมความเร็วเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ล้อซ้ายและขวาหมุนด้วยความเร็วที่ไม่เท่ากันได้โดย ภายในตัวเรือนของเฟืองเหลื่อมความเร็วที่ใช้กับรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลังจะประกอบด้วยเฟืองวงแหวนหรือเฟืองบายศรีและเฟืองขับ โดยจะติดตั้งรวมเข้ากับตัวเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็ว ส่งผ่านแรงบิดให้ผ่านลูกปืนข้างทั้งสองด้าน การหมุนส่งกำลังงานจากเพลากลางจะไปหมุนให้เฟืองขับหมุน โดยส่งผ่านหน้าแปลนของเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็ว ส่วนเฟืองดอกจอกและเฟืองข้างจะทำหน้าที่หมุนให้ความเร็วของเพลาทั้งสองมีความเร็วที่แตกต่างกันได้

เนื่องจากรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา ของทีม Carreraz Racing สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ใช้ระบบส่งกำลังเป็นแบบโซ่สเตอร์ โดยมีมอเตอร์ต้นกำลังขนาด

50kW มีแรงบิดสูงสุด 80 Nm จึงได้มีการออกแบบและวิเคราะห์ชุดเสื้อของเฟืองเหลื่อมความเร็วที่สามารถรับแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ได้ โดยได้ทำการเปลี่ยนจากเฟืองวงแหวนหรือเฟืองบายศรีไปเป็นชุดโซ่สเตอร์ เพื่อให้มีน้ำหนักที่เบากว่าชุดเฟืองเหลื่อมความเร็วที่ใช้ชุดเฟืองบายศรีและเฟืองขับ ทำให้เหมาะสมสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

โดยชุดเฟืองเหลื่อมความเร็วจะติดตั้งอยู่ที่ส่วนท้ายของรถฟอรมูล่าไฟฟ้านักศึกษาดังรูปที่ 1

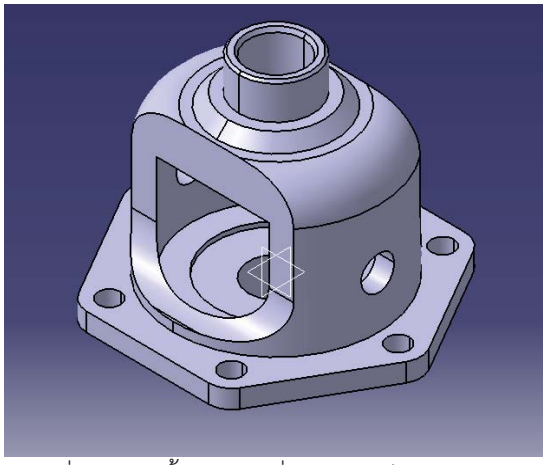


รูปที่ 1 ตำแหน่งชุดเฟืองเหลื่อมความเร็ว

2. วิธีการ

2.1. การปรับปรุงเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็ว

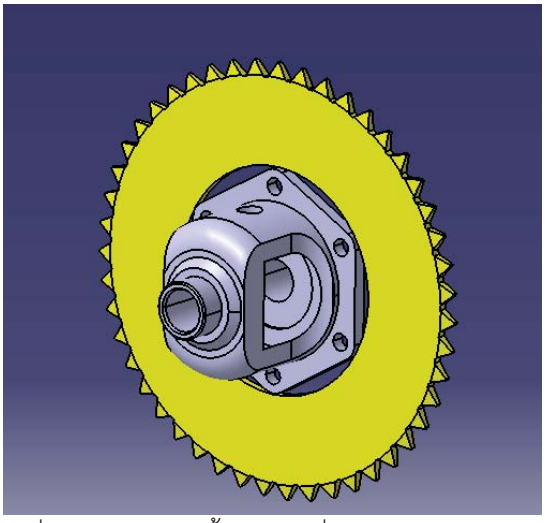
ใช้พื้นฐานมาจากเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วของไดฮัทสุ ดังรูปที่ 2 เนื่องจากเฟืองเหลื่อมความเร็วของไดฮัทสุมีความแข็งแรงมากเกินความจำเป็นสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา จึงได้นำเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วมา เฉือนเนื้อวัสดุตัดส่วนที่ไม่จำเป็นออกเพื่อลดน้ำหนัก และวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 2 แบบเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วของไดฮัทสุ

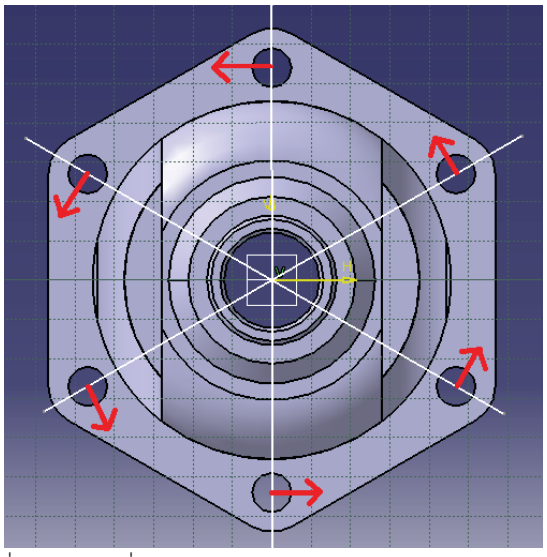
2.2. การวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ (อังกฤษ: finite element method, finite element analysis) หรือที่เรียกย่อๆว่า FEM คือ เทคนิควิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการหาคำตอบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยพร้อมๆกับสมการปริพันธ์ ผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีนี้มีพื้นฐานมาจากทั้งการกำจัดสมการเชิงอนุพันธ์อย่างสมบูรณ์ (สำหรับปัญหาที่อยู่ในสภาวะคงที่) หรือการปรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ให้กลายเป็นระบบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์สามัญซึ่งเป็นปริพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้เทคนิคมาตรฐานทางคณิตศาสตร์ เช่น Euler method Runge–Kutta methods ทำได้โดยการใช้กระบวนการ CAE Analysis ในการวิเคราะห์ความเค้น (Stress) ของเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็ว โดยเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วจะยึดกับสเตอร์ดังรูปที่ 3 โดยใช้โหมดการวิเคราะคือ โหมด Static Structural เป็นการจำลองให้วัสดุอยู่กับที่แล้วมีแรงมากระทำในส่วนที่รับแรงเพื่อง่ายต่อการใส่แรงที่ถูกต้อง

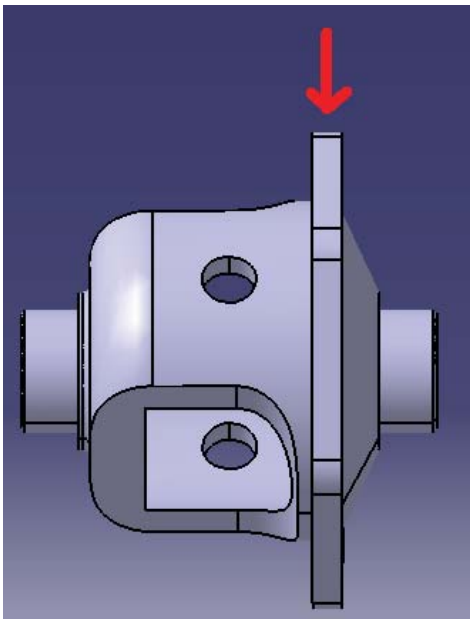


รูปที่ 3 ตำแหน่งยึดเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วกับสเตอร์

ทำให้แรงที่กระทำกับเสื้อเฟืองเหลือมความเร็วจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือแรงบิดที่จะส่งผ่านสเตอร์ไปยังตำแหน่งรูยึดน๊อต ดังรูปที่ 4 และแรงดึงที่โซ่กระทำต่อจุดรองรับลูกปืน ดังรูปที่ 5



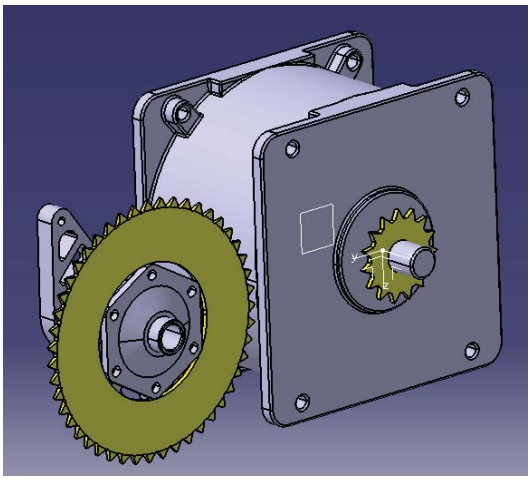
รูปที่ 4 แรงบิดที่จะส่งผ่านสเตอร์ไปยังตำแหน่งรูยึดน๊อต



รูปที่ 5 แรงดึงที่โซ่กระทำต่อจุดรองรับลูกปืน

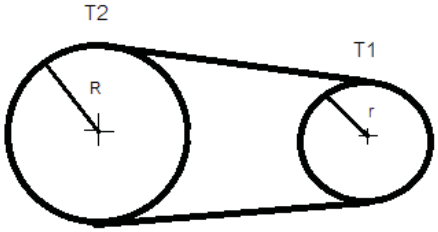
2.3. แรงที่กระทำกับเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็ว

เนื่องจากแรงที่กระทำกับเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วส่งผ่านทางระบบโซ่สเตอร์ที่มีอัตราทด 3:1 โดยที่สเตอร์หน้าที่รับแรงบิดจากมอเตอร์ขนาด 15 ฟัน ไปขับสเตอร์หลังที่มีขนาด 47 ฟัน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ระบบโซ่สเตอร์ในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

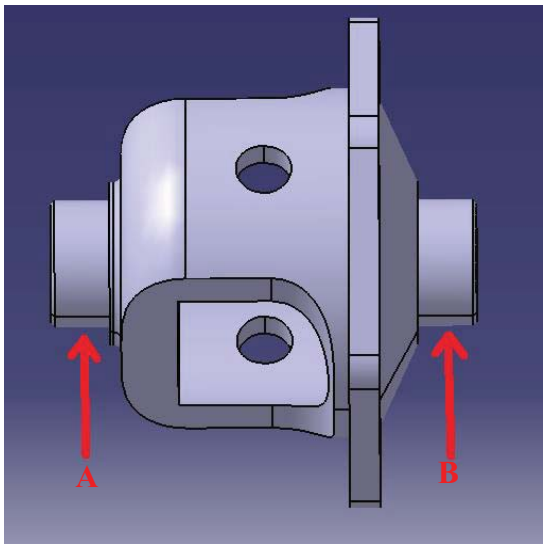
จากอัตราทดดังกล่าวทำให้แรงบิดที่ส่งผ่านระบบโซ่สเตอร์จะเพิ่มเป็น 3 เท่า คือจากแรงบิด80 Nm เป็นแรงบิด 240 Nm ดังสูตรต่อไปนี้



รูปที่ 7 ค่าตัวแปรในการคำนวณค่าแรงบิด

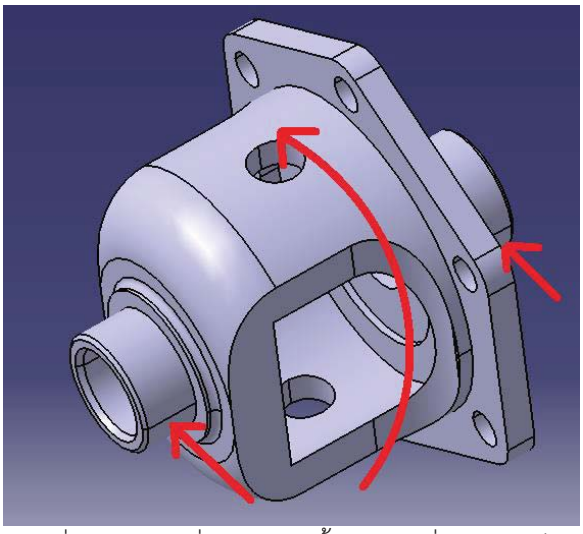
$$T1 = Fr \quad , \quad T2 = FR$$
$$F = \frac{T1}{r} \quad , \quad F = \frac{T2}{R}$$
$$T2 = T1(\frac{R}{r}) \qquad (1)$$

และจากการคำนวณแรงดึงที่โซ่กระทำกับลูกปืนมีค่าเท่ากับ 4444.45 N ที่จุดยึดสเตอร์และแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับจุด A และ B หาได้โดยใช้โมเมนต์คำนวณ ได้ค่าที่จุด A เท่ากับ 1185.95N และที่จุด B เท่ากับ 3258.45 N ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แรงปฏิกิริยาที่เกิดจากโมเมนต์

จากแรงที่กระทำกับเสื้อเฟือเหลื่อมความเร็วทั้ง 2 กรณี ทำให้แรงทั้งหมดที่กระทำเป็น ดังรูปที่ 9



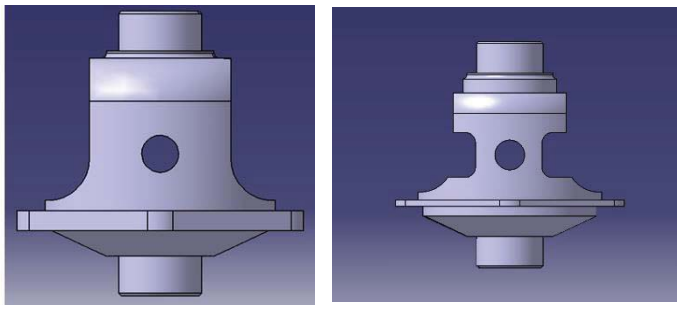
รูปที่ 9 แนวแรงที่กระทำต่อเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็ว

3. ผลการศึกษา

การศึกษาเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

3.1. การปรับปรุงเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็ว

การปรับปรุงเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วได้ทำการตัดเฉือนส่วนที่ไม่ได้รับแรงออก เพื่อลดน้ำหนักและแสดงส่วนที่ตัดเฉือนดัง ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 เสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วก่อนและหลังปรับปรุง

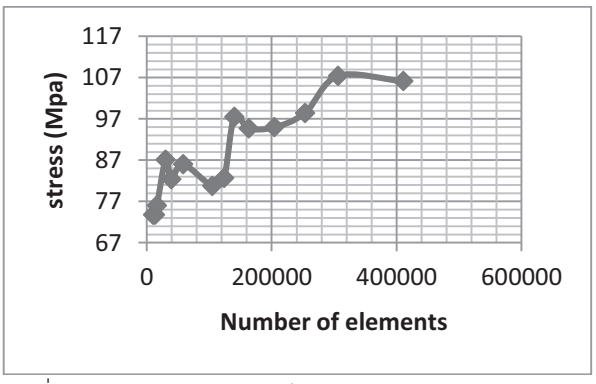
วัสดุที่ใช้ทำเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วคือเหล็กหล่อเทา ซึ่งเกรดที่ใช้นำมาวิเคราะห์คือ ASTM class 20 มีคุณสมบัติทางกล ดังตารางที่ 1ดังนั้นค่าความแข็งแรงของเหล็กหล่อเทาเกรด ASTM class 20 คือ 152 MPa [1]

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางกลของเหล็กหล่อเทา

คุณสมบัติทางกลของเหล็กหล่อเทา	
Tensile Strength, Ultimate	152 MPa
Modulus of Elasticity	66 GPa
Ultimate Compressive Strength	572 MPa
Poisson's ratio	0.29

3.2 การวิเคราะห์

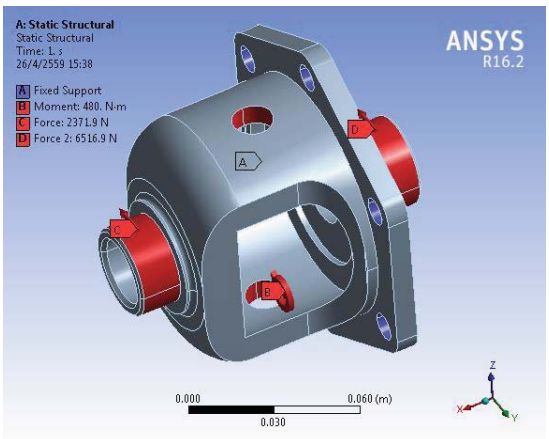
การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS สำหรับการกำหนด Mesh ในการวิเคราะห์นั้น ใช้วิธีการดูการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค้นที่วิเคราะห์ได้ เทียบกับจำนวน Element ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้ผลดังรูปที 11



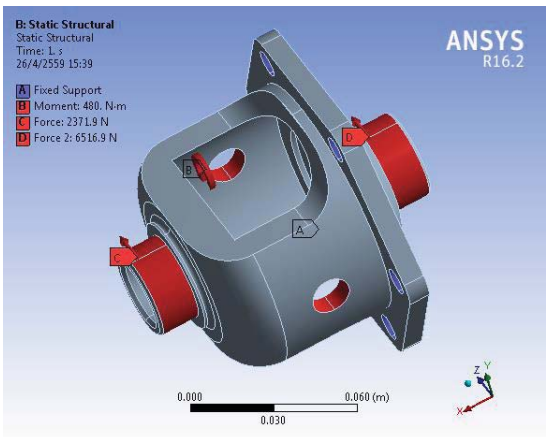
รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นกับจำนวนของ Element

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 11 ค่าความเค้นที่วิเคราะห์ได้จะเริ่มมีค่าความคลาดเคลื่อน ±5% ที่จำนวน element เท่ากับ 306,430 และมีจำนวน node เท่ากับ 484,670 ซึ่งจะนำค่าดังกล่าวไปวิเคราะห์ต่อไป

เนื่องจากเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วมีลักษณะไม่สมมาตรทำให้แรงที่กระทำกับเสื้อเฟืองแบ่งเป็น 2 กรณี คือแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ดังรูปที่ 12 และ 13

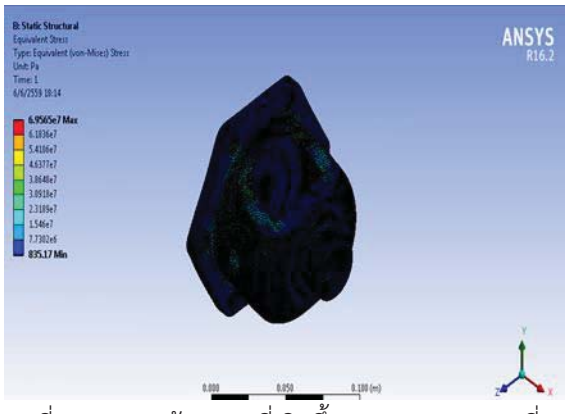


รูปที่ 12 แนวแรงที่กระทำต่อเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วแบบที่ 1

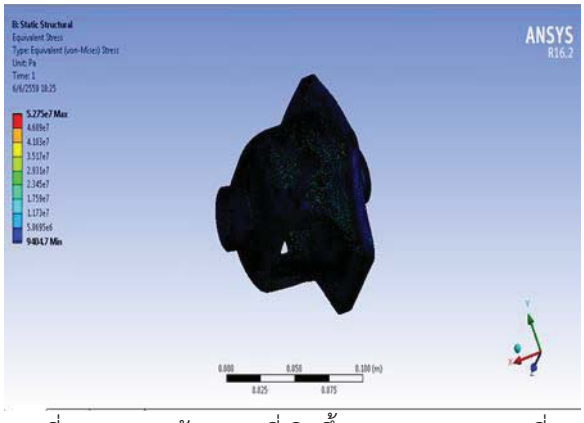


รูปที่ 13 แนวแรงที่กระทำต่อเสื้อเฟืองเหลื่อมคสามเร็วแบบที่ 2

และจากการวิเคราะห์เทียบกันด้วยโปรแกรม ANSYS โดยแสดงลักษณะการเสียรูปเกินความเป็นจริงเพื่อดูการเสียรูป โดยค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 69.5 MPa และ 52.75 MPa ตามลำดับ ดังรูปที่ 14 และ 15

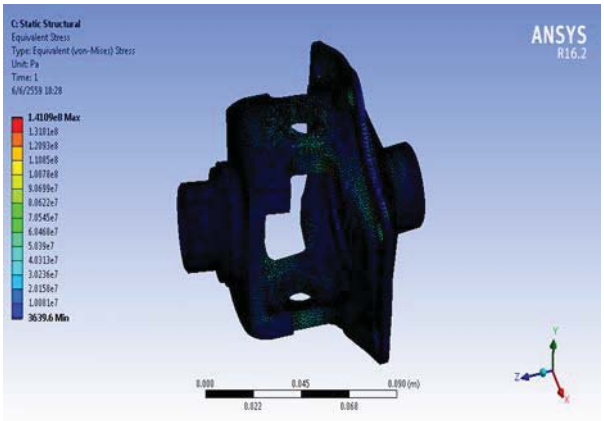


รูปที่ 14 ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นตามแนวแรงแบบที่ 1



รูปที่ 15 ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นตามแนวแรงแบบที่ 2

ดังนั้นการวิเคราะห์ความแข็งแรงต่อไปจะใส่แนวแรงแบบที่ 2 ดังรูปที่ 13 เนื่องจากเกิดค่าความเค้นที่วัตถุมากกว่า จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงในเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วที่ปรับปรุงใหม่ได้ค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 141MPa ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วที่ปรับปรุงใหม่

โดยค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยสามารถคำนวณได้ดังสูตรต่อไปนี้ [2]

$$\text{Factor of Safety} = \frac{\text{Material Strength}}{\text{Design Load}} \qquad (2)$$

ดังนั้นค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยมีค่ากับ 1.078

4.สรุปผล

เสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วที่ปรับปรุงใหม่ มีค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยลดลงจาก 2.88 เหลือ 1.078 และมีน้ำหนักลดลงจาก 1.759 kg เหลือ 0.953 kg ซึ่งค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยที่ได้เพียงพอสำหรับการใช้ในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา และมีน้ำหนักลดลงถึง 0.806 kg จึงสามารถนำเสื้อเฟืองเหลื่อมความเร็วที่ปรับปรุงใหม่มาใช้ในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพและอยู่ในขอบเขตของงานวิจัยแล้ว

5. เอกสารอ้างอิง

[1] ASTM class 20 Standard gray iron test bars, as cast [internet].[update 2016 Apr 26] Available from http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=d82b184fc0d8466c9e8dbbf54c5e47b0&ckck=1

[2] M. Vable. factor of safety: Mechanics of Materials Second Edition. Michigan Technological University. 2009. P.98-99