

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอม้าสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

The Analysis of Strength for Steering Knuckle in Formula Student Electric using Finite Element Method.

ชูกิต งามวงศ์*, ปิยวรรณ ภู่เกิด และอริคม วชิมนรเศรษฐ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น 1771/1 ซ.พัฒนาการ 37 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250
*ติดต่อ: chookid@tni.ac.th, 02-763-2600 Ext.2938

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอม้า สำหรับรถแข่งฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้คอม้าที่มีน้ำหนักเบา และสามารถรับแรงต่างๆที่มากกระทำได้ คอม้าทำจากอลูมิเนียม เกรด 6061-T651 มีความแข็งแรงสูง และน้ำหนักเบา จากการออกแบบระบบรองรับน้ำหนักและระบบบังคับเลี้ยวทำให้ทราบถึงตำแหน่งจุดยึดของปีกนกบนและปีกนกล่าง จุดยึดเบรก และจุดยึดระบบบังคับเลี้ยว จากนั้นทำการออกแบบรูปทรงของคอม้า แล้วทำการวิเคราะห์ความแข็งแรง โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ ANSYS R16.2 เพื่อให้ น้ำหนักของคอม้ามีน้ำหนักเบาขึ้น และปรับปรุงให้ชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น

คำหลัก: คอม้า, ระบบรองรับน้ำหนัก, ระบบบังคับเลี้ยว

Abstract

This research presents the strength analysis and design of steering knuckle for formula ev student challenge .The aim of this research is to find an optimal value of light weight and action force absorption. The steering knuckle made from aluminum grade 6061-T651 alloy, which was light weight and high strength. According to the design of absorption system and steering system revealed that the fix point of top wishbone, lower wishbone, fix point of brake and fix point of steering system. After that is the design of steering knuckle and strength analysis by ANSYS R16.2. For light weight of steering knuckle and better optimization

Keywords: Knuckle, Suspensions, Steering System

1. บทนำ

ในการแข่งขันรถฟอร์มูล่า สำหรับนักเรียนต่างๆในหลายๆประเทศเพื่อพัฒนาทักษะของนักเรียนในประเทศ ญี่ปุ่นก็มีการจัดการแข่งขันของฟอร์มูล่านักศึกษา (SAE) โดยทางทีม CarreraZ Racing EV จะเดินทางไปแข่งขันในรายการดังกล่าว คอม้าเป็นส่วนหนึ่งของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้า นักศึกษาซึ่งอยู่ในส่วนระบบช่วงล่าง โดยมีคันทันคันทันส่งที่ใช้ในระบบการหันเลี้ยว คอม้าส่งผลต่อการหันเลี้ยวของล้อ ซึ่งเป็นการรับแรงมาจากปีกนก ในระบบช่วงล่างมี

อิสระอย่างมากสำหรับการออกแบบ รวมทั้งต้องอยู่ภายใต้กฎระเบียบที่ทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ญี่ปุ่น (JSAE) ได้กำหนดไว้ [1]

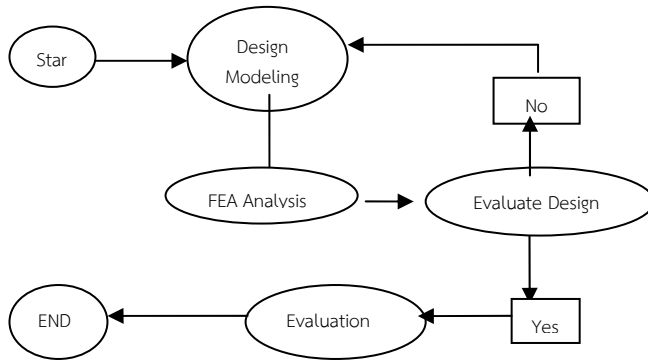
ดังนั้นในการพัฒนาและออกแบบเพื่อความเหมาะสมในส่วนต่างๆของช่วงล่างประกอบกันไปด้วย [2] โดยจะเป็นการนำคอม้าจากของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้ามาเปรียบเทียบ และเป็นการพัฒนาต่อยอดจากของเดิม ซึ่งการออกแบบและพัฒนา เพื่อบรรลุเป้าหมายในการพัฒนาของการแข่งขันโดยมีองค์ประกอบพื้นฐานดังนี้ ให้

ตัวรถฟอร์มูล่ามีน้ำหนักเบาขึ้นจากเดิม และช่วยลดการสั่นสะเทือนของระบบช่วงล่างที่เกิดขึ้นตามมา[3] ซึ่งการลดน้ำหนักของค่อม้านั้นสามารถทำได้ทั้งการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ หรือออกแบบรูปทรงให้มีขนาดที่เล็กลง

2. วิธีกรวิจัย

การออกแบบค่อม้านั้นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง ประกอบไปด้วย ตำแหน่งของปีกนกบนและล่างส่วนของค่อม้านั้นยังต้องมีน้ำหนักเบา จำลองการเกิดแรงค่อม้า จำลองแรงที่เกิดขึ้นกับค่อม้าโดยแรงที่มากระทำต่อค่อม้า นั้นจะถูกส่งมาจากปีกนกบนและล่างโดยรับจากแรงที่ล้อกระทำกับพื้น และแรงที่มาจากน้ำหนักของตัวรถ โดยใช้โปรแกรมออกแบบผ่านโปรแกรม CATIA และโปรแกรมวิเคราะห์แรงกระทำ ความแข็งแรงของแบบ ผ่าน โปรแกรม ANSYS

ขั้นตอนต่อไปจะปรับปรุงค่อม้า จุดประสงค์ของการออกแบบเพื่อการเปรียบเทียบองค์ประกอบ ให้มีน้ำหนักน้อยลง แต่ยังคงความแข็งแรงไว้ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนการดำเนินงานและขั้นตอนในการวิเคราะห์

3. การสร้างแบบและวิเคราะห์ค่าความแข็งแรง

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ Catia V5R20 ซึ่งใช้ในการพัฒนาค่อม้าและการวิเคราะห์ความเครียดได้ดำเนินการผ่านการจำลองโดยโปรแกรม FEA จะได้รับการออกแบบที่ดีที่สุดซึ่งมีการกระจายความเค้นต่ำสุด และน้ำหนักเบา

3.1 การออกแบบ

โดยการออกแบบนี้ ได้ออกแบบตามงานวิจัยของ Formula Society of Automotive Engineering (SAE) และการออกแบบขึ้นอยู่กับ ระบบช่วงล่างตลอดจนความแข็งแรงของวัสดุที่นำมาใช้ เช่น อลูมิเนียม

เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ซึ่งจากทางทีมที่เลือกใช้อลูมิเนียมเนื่องจากเป็นวัสดุที่ได้รับการสนับสนุนมา อาจจะมีน้ำหนักมากกว่าคาร์บอนคอมโพสิต แต่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายให้น้อยลงได้ ในทั่วไปค่อม้าประกอบด้วย สามส่วน ที่ต่อกับตัวโครง ที่เชื่อมต่อกับ ปีกนกบนและปีกนกล่าง ดังนั้นการออกแบบ ต้องคำนึงถึงความเค้นตลอดจนส่วนที่ต่อกับเบรก และปั้มเบรกล่าง การออกแบบโดยใช้โปรแกรมเขียนแบบ CATIA โดยขนาดรวมประมาณ 132.88 มิลลิเมตร x 200.32 มิลลิเมตร x 30 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การออกแบบค่อม้า

จากรูปที่ 2 เป็นการนำการออกแบบแบบเดิมมาปรับปรุงใหม่โดยการปรับปรุงนี้ ได้ออกแบบให้มีหูยึดที่แข็งแรงมั่นคงขึ้นจากค่อม้าแบบเดิม น้ำหนักเบาขึ้น โดยค่อม้าเดิมนั้นได้มีการออกแบบไว้ตามหลักการของ Society of Automotive Engineering (SAE) อยู่แล้ว จึงสามารถนำมาปรับปรุงแก้ไขได้

3.2 Stress Analysis (FEA)

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (แก้ปัญหาทางวิศวกรรม เช่น ปัญหาทางโครงสร้าง และการกระจายตัวของความร้อนภายในวัสดุ โดยเริ่มจากการจำลองรูปร่างของตัวอย่าง แล้วใส่การจำลองปัญหาเข้า Finite Element Analysis (FEA) คือ การใช้คอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการไปทำการแบ่งรูปร่างออกเป็น element เล็กๆ เพื่อลดความซับซ้อนและเพื่อความสะดวกในการแก้ปัญหา ทำ

การกำหนดสมบัติของวัสดุและสภาพการใช้งานจริง (boundary conditions) และทำการแก้ปัญหาโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวคอม้าที่นำมาใช้

3.2.1 Material Selection

ในการเลือกวัสดุที่นำมาใช้ทำคอม้านั้น ได้เลือกวัสดุที่สามารถหาได้ทั่วไปและมีราคาไม่สูง ซึ่งอลูมิเนียมชนิดนี้ได้รับการสนับสนุนมาใช้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของอลูมิเนียมอัลลอยด์ 6061-T651 [4]

คุณสมบัติทางกายภาพ	
ความหนาแน่น	2.7 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
คุณสมบัติทางกล	
จุดคราก	310 เมกะพาสคาล
แรงต้านทานการดึงวิกฤติ	276 เมกะพาสคาล
มอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น	68.9 กิกะพาสคาล
อัตราส่วนปัวซอง	0.33
ความแข็งแรงต่อการล้าตัว	96.5 เมกะพาสคาล
ความเค้นเฉือน	207 เมกะพาสคาล

และได้นำมาทดสอบผ่านการคำนวณโดยใช้ FEA Analysis เพื่อให้เห็นความแตกต่าง ระหว่างคอม้าทั้ง 2 แบบ

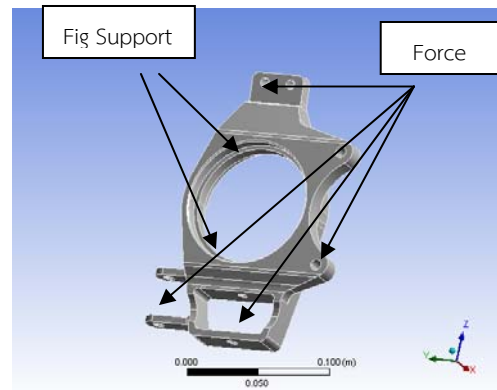
3.2.2 Model Boundary Conditions

ในการศึกษานี้ได้สังเกตเห็นค่าสูงสุดของความเครียดและการโก่งงอของตัวอย่างคอม้าที่ได้ใส่แรงจำลองในโปรแกรมคำนวณ โดยใส่ภาระต่างๆเช่น แรง และ แรงที่กระทำให้วัตถุหมุนไป ตามค่าที่แสดงบนตารางที่ 1

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการรับแรง

Braking force	1.5G
Lateral force	1.5G
Steering force	Steering effort of 40-50 นิวตัน

Sharma et al. ได้ประยุกต์และผสมผสาน 1.5G ของแรงเบรก และ 1.5G ของความเร่งทางด้านข้างของรูปทรงของคอม้าตามเส้นแบ่งแกนต่างๆ



รูปที่ 3 แรงที่กระทำในแต่ละจุด

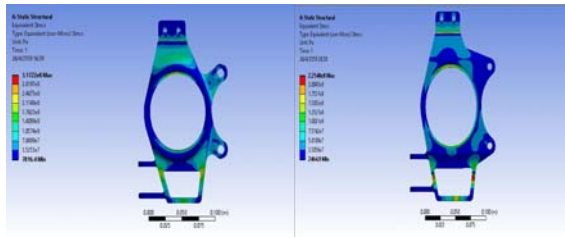
จากรูปที่ 3 เป็นแรงที่กระทำเมื่อรถเคลื่อนที่ในพื้นที่ราบ โดยแรงที่กระทำนั้นเป็นแรงที่เกิดจากการแรงที่กระทำจากปีกนกบนและปีกนกกลาง แรงจากระบบเบรก และระบบบังคับเลี้ยว ส่วนจุดที่กำหนดให้ไม่เคลื่อนที่นั้นไม่ได้เกิดจากแรงที่มากระทำผ่าน

3.2.3 การวิเคราะห์ FEA

การวิเคราะห์ FEA เป็นการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Ansys R16.2 โดยการนำหลักการของ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) มาใช้วิเคราะห์ปัญหาทุกศาสตร์ วิศวกรรม [5] โปรแกรม มี 3 ขั้นตอนก่อนการประมวลผลซึ่งประเภทของการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุเงื่อนไขขอบเขต และมีการกำหนดรูปแบบและจะถูกตาข่ายหรือแบ่งออกเป็นองค์ประกอบจำกัด ขั้นตอนการประมวลผลที่ผลที่ต้องการคือการคำนวณและแก้ไขได้ และหลังการประมวลผลขั้นตอนผลจะถูกตีความ

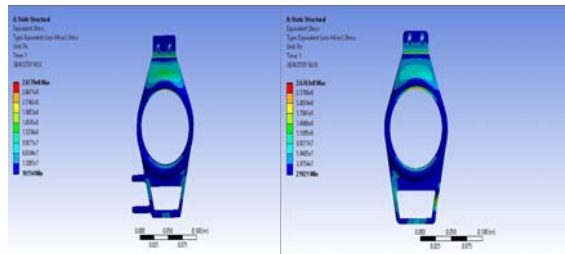
4. การปรับปรุง

คอม้าได้รับการพัฒนาในการศึกษารั้งนี้โดยการวิเคราะห์แบบคงตัวเลข การประเมินความเครียดและการโก่งตัวในแต่ละรูปทรงเรขาคณิต ของอลูมิเนียมอัลลอยด์ 6061-T651 (ความแข็งแรง 276 เมกะพาสคาล) เป็นวัสดุที่อยู่ภายใต้ขอบเขตเงื่อนไขดังกล่าวก่อนจากนั้น จึงให้มีแรงตามแนวแกน $x=0$ นิวตัน $y=0$ นิวตัน $z=4355.25$ นิวตัน และยึดวัตถุในรูน็อตที่ต่อกับปีกนกบนกับปีกนกกลาง โดยแรงที่เกิดขึ้น CRZ EV01 เทียบกับ CRZ EV02 ตามลำดับ



Definition				
Type	Total Deformation	Maximum Shear Elastic Strain	Maximum Shear Stress	Equivalent (von-Mises) Stress
Results				
Minimum	0 m	1.7311e-007 m/m	4490.4 Pa	7816.4 Pa
Maximum	5.2168e-004 m	6.171e-003 m/m	1.6007e+008 Pa	3.1722e+008 Pa
Results				
Minimum	0 m	5.1423e-008 m/m	1333.9 Pa	2464.9 Pa
Maximum	3.4775e-004 m	4.7805e-003 m/m	1.2401e+008 Pa	2.2548e+008 Pa
Properties				
Volume				2.0298e-004 m ³
Mass				0.54867 kg
Scale Factor Value				1.
Properties				
Volume				1.4133e-004 m ³
Mass				0.3816 kg
Scale Factor Value				1.

รูปที่ 4 คอมาหน้า



Definition				
Type	Total Deformation	Maximum Shear Elastic Strain	Maximum Shear Stress	Equivalent (von-Mises) Stress
Results				
Minimum	0 m	2.2204e-007 m/m	5759.6 Pa	10154 Pa
Maximum	5.3365e-004 m	5.7613e-003 m/m	1.4945e+008 Pa	2.9779e+008 Pa
Results				
Minimum	0 m	4.75e-007 m/m	12321 Pa	21921 Pa
Maximum	3.4854e-004 m	5.6009e-003 m/m	1.4529e+008 Pa	2.6761e+008 Pa
Properties				
Volume				1.4394e-004 m ³
Mass				0.38863 kg
Scale Factor Value				1.
Properties				
Volume				1.2938e-004 m ³
Mass				0.34932 kg
Scale Factor Value				1.

รูปที่ 5 คอมาหลัง

โดยค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยสามารถคำนวณได้ดังสูตรต่อไปนี้ [6]

$$\text{Factor of Safety} = \frac{\text{Material Strength}}{\text{Design Load}}$$

ดังนั้นค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยมีค่ากับ 1.37

5. สรุปผล

การออกแบบที่นำเสนอคอมาที่จะนำมาใช้สำหรับรถที่นำมาใช้ในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษานั้นตอบสนองความต้องการการแข่งขัน ในฐานะที่เป็นเป้าหมายสูงสุดของการศึกษาและการพัฒนาครั้งนี้คือการลดน้ำหนักของคอมาที่มีอยู่ และเพื่อให้เกิดการลดสิ้นเปลืองพลังงาน

ไฟฟ้าให้มากที่สุด การเลือกวัสดุที่ตีเหมาะสมและการออกแบบที่ไม่ซับซ้อนเราใช้ อลูมิเนียมอัลลอยด์ 6061-T651 ซึ่งมีความแข็งแรง 276 เมกะพาสคาล นั้นพบว่า เป็นวัสดุที่ดีที่สุดสำหรับองค์ประกอบเนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่ดีเช่นเดียวกับที่มีน้ำหนักเบา รวมทั้งได้รับการวิเคราะห์โดย FEA ว่าคอมาของรุ่น CZR EV 02 มีผลต่อความเครียดน้อยกว่า นอกจากนี้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพดำเนินการที่จะได้รับการใช้งานที่ดีที่สุดของวัสดุสำหรับส่วนประกอบได้รับการพิสูจน์ในการลดน้ำหนักของคอมาด้านหน้าอยู่ที่ 30.460% และด้านหลังอยู่ที่ 10.115% ตามรูปที่ 4-5 ขณะที่ต้องการความแข็งแรงแต่น้ำหนักน้อยลง องค์ประกอบคอมาอาจนำไปสู่การลดลงของน้ำหนักโดยรวมของรถแข่งจึงอาจช่วยลดการใช้พลังงานทางไฟฟ้าให้น้อยเช่นเดียวกับผลการดำเนินงานโดยรวม

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Student Formula Japan ; <https://www.jsae.or.jp/formula/en/>

[2] Dumbre, P., Mishra, A.K., Aher, V.S., and Kulkarni, S.S. (2014). Structural analysis of steering knuckle for weight reduction, *International Journal of Advanced Engineering Research Studies*, April-June.

[3] Babu, B., Prabhu, M., Dharmaraj, P., and Sampath, R. (2014). Stress analysis on steering knuckle of the automobile steering system, *International Journal of Research in Engineering Technology*, Vol. 3, No. 3, pp. 363-366.

[4] Glemco Inc. (n.d.) [Online]. Available from World Wide Web: http://www2.glemco.com/pdf/NEW_MATERIAL_LIST/Alumina%206061-T6.pdf [access July 2014].

[5] ANSYS INTRODUCTION OVERVIEW FULL ; <HTTP://DOCUMENTS.MX/DOCUMENTS/ANSYS-INTRODUCTION-OVERVIEW-FULL.HTML>

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