

การวิเคราะห์โครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ตามข้อกำหนดในการแข่งขันรายการ Bridgestone World Solar Challenge 2023 ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

STRUCTURAL ANALYSIS OF THE STC-4 SOLAR ELECTRIC VEHICLE ENERGY STORAGE UNIT ACCORDING TO THE BRIDGESTONE WORLD SOLAR CHALLENGE 2023 COMPETITION REQUIREMENTS USING FINITE ELEMENT METHOD

รัฐพล โพธิ์ศรี^{1*} วิโรจน์ ขาวละออ² วรัญญา ชื่นเมือง³ และจักรพันธ์ มีอาษา⁴

Rattapon Phosri^{1*} Wiroj Khawlaor ² Warunya Chuenmueang³ and Jackkapan Meearsa⁴

¹สาขาวิชาเทคโนโลยียานยนต์สมัยใหม่ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

²สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและโรจistikส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

³แผนกช่างพื้นฐาน วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา

⁴คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

*Corresponding author, Email: rattaponp@siamtechno.ac.th

Received: June 12, 2024

Revised: June 25, 2024

Accepted: June 26, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 เพื่อให้ได้ตามข้อกำหนดในรายการ Bridgestone World Solar Challenge 2023 ในข้อกำหนด ทีมเข้าร่วมการแข่งขันต้องติดตั้งชุดเก็บพลังงานในรถยนต์พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ทนต่อความเร่งในทุกทิศทางไม่น้อยกว่า 20 เท่าของแรงโน้มถ่วง (G) โดยขนาดโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานมีขนาด กว้าง 600 มิลลิเมตร และยาว 1,600 มิลลิเมตร การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 นั้นใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อทำการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานด้านหน้า เกิดการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน Y เท่ากับ 4.16 มิลลิเมตร ตามลำดับ เกิดการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน X เท่ากับ 1.31 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเกิดการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน Z เท่ากับ 1.52 มิลลิเมตร จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า จากการขยายตัวตามแนวแกน XYZ เป็นไปตามข้อกำหนดของรายการ Bridgestone World Solar Challenge ทำให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่และผู้โดยสาร

คำสำคัญ: โครงสร้างชุดกักเก็บพลังงาน รถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 การขยายตัวตามแนวราบ

Abstract

This research aims to analyze the structural strength of the STC-4 solar electric vehicle's energy storage unit built in compliance with the Bridgestone World Solar Challenge 2023 requirements. According to the competition's regulations, participating teams must equip their solar-powered vehicles with an energy storage unit capable of withstanding an acceleration of 20 G in all directions. The specified dimensions for the energy storage unit's structure are 600 millimeters in width and 1,600 millimeters in length. The structural strength of the STC-4

solar electric vehicle's energy storage unit was analyzed using the finite element method (FEM). It was found that the front energy storage structure has horizontal expansion due to acceleration along the Y axis equal to 4.16 mm, respectively. Horizontal expansion due to acceleration along the X axis is equal to 1.31 mm, respectively, and horizontal expansion occurs due to acceleration along the Z axis is equal to 1.52 millimeters. The expansion along the XYZ axis meets Bridgestone World Solar Challenge requirements, ensuring safety for drivers and passengers.

Keywords: Energy Storage Structure, STC-4 solar electric vehicle, Horizontal Expansion

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าที่ออกมาจำหน่ายต้องให้มีความปลอดภัยต่อการใช้งาน ดังนั้นหน่วยงานควบคุมทั้งในสหรัฐอเมริกาเช่น Society of Automotive Engineer(SAE) และหน่วยงาน CISPR และ ISO/IEC ของสหภาพยุโรปได้กำหนดมาตรฐานขึ้นเพื่อใช้ทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของรถยนต์ ซึ่งแบตเตอรี่เป็นส่วนหนึ่งในมาตรฐานด้านความปลอดภัยในการผลิตรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน

การแข่งขันรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการแข่งขันด้วยระยะทาง 3,022 กิโลเมตร จากเมือง ดาร์วิน - เมืองแอดิเลด ประเทศออสเตรเลีย ดังรูปที่ 1 โดยแบ่งประเภทรถด้วยกัน 2 ประเภท คือ Challenger และ Cruiser โดยรถที่สามารถเข้าร่วมการแข่งขันของ BWSC (Bridgestone World Solar Challenge) ได้ต้องผ่านการตรวจสอบสภาพรถรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตามกฎหมายของ BWSC ซึ่งหนึ่งในหัวข้อสำคัญต้องผ่านการตรวจสอบคือ ชุดกักเก็บพลังงานทาง BWSC ได้สร้างกฎข้อที่ 2.5.13 ของ BWSC กล่าวว่า ต้องติดตั้งชุดกักเก็บพลังงานในรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะถูกควบคุมด้วยความเร่ง 20 G ในทุกทิศทาง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ขับขี่ และผู้โดยสารในระหว่างการแข่งขัน



รูปที่ 1 แผนที่การแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge

ที่มา: Bridgestone World Solar Challenge

จากกติกาการแข่งขันข้างต้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วัสดุเป็นเหล็ก (SS400) เป็นเหล็กฉากขนาด 4 X 4 นิ้ว ความหนา 5 มิลลิเมตร ที่มีความแข็งแรงมาออกแบบโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ซึ่งเป็นโมเดลรถพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบและสร้างเข้าร่วมการแข่งขัน เพื่อให้ทนต่อความเร่งในทุกทิศทางไม่น้อยกว่า 20 เท่าของแรงโน้มถ่วง (G) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในรายการ BRIDGESTONE WORLD SOLAR CHALLENGE 2023

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

3. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในรายการ BRIDGESTONE WORLD SOLAR CHALLENGE 2023 โดยการติดตั้งชุดเก็บพลังงานในรถยนต์พลังงานแสงอาทิตย์ต้องทนต่อความเร่งในทุกทิศทางไม่น้อยกว่า 20 เท่าของแรงโน้มถ่วง (G)

3.1 ศึกษาเปรียบเทียบและข้อกำหนดรายการแข่งขัน

ในรายการแข่งขัน BRIDGESTONE WORLD SOLAR CHALLENGE เป็นรายการแข่งขันรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อส่งเสริมและผลักดันให้นักคิดจากทั่วโลกคิดค้นนวัตกรรมการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนยานพาหนะสู่การใช้งานบนท้องถนนจริง ซึ่งได้รับความสนใจจากสถาบันอุดมศึกษา และมีมัธยมศึกษาจากทั่วโลกเข้าร่วมการแข่งขัน โดยการแข่งขันทุกทีมต้องทำตามข้อกำหนดของรายการแข่งขัน ซึ่งผู้วิจัยได้สนใจศึกษาในเรื่อง ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงาน เป็นข้อกำหนดที่ทางรายการบังคับให้ทุกทีมต้องผ่านการตรวจสอบจากคณะกรรมการในหัวข้อที่ 2.5.13 ทีมเข้าร่วมการแข่งขันต้องติดตั้งชุดเก็บพลังงานในรถยนต์พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ถูกควบคุมด้วยความเร่ง 20 G ในทุกทิศทาง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ และผู้โดยสารในการขับขี่บนท้องถนน ดังแสดงในรูปที่ 2



2.5.13 Energy storage packs must be mounted in the solar car so that they will be restrained in a 20 g acceleration in any direction.

รูปที่ 2 ข้อกำหนดรายการ

ที่มา: Bridgestone World Solar Challenge

3.2 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ

การออกแบบชิ้นส่วนให้สามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัย ต้องแน่ใจว่าความเค้นที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานไม่เกินค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้าง วัสดุที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กโครงสร้าง (SS400) ที่สามารถจัดหาได้ง่าย และมีคุณสมบัติตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเหล็กเหนียว (SS400)

มาตรฐาน	ประเภทโลหะ	ความแข็งแรง		
		จุดคราก (Yield) (N/mm ²)	แรงดึง (Tensile) (N/mm ²)	ความยืด (Elongation) (%)
TIS 1479	SS400	235	402	23

ที่มา : บริษัท ทักษิณาเมทัล จำกัด

จากตารางที่ 1 คุณสมบัติของเหล็ก SS400 มาตรฐาน TIS 1479 มีจุดคราก Yield Point อยู่ที่ 235 N/mm² ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้จุดนี้ในการออกแบบโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 และโครงสร้างเหล็กรูปพรรณจะมีค่าแอมตัวที่ยอมรับได้เมื่อได้รับแรงกระทำดังแสดงในตาราง 2

ตารางที่ 2 ค่าแอมตัวที่ยอมให้โครงสร้างเหล็ก SS400

น้ำหนักบรรทุก	ค่าแอมตัวที่ยอมรับได้
น้ำหนักบรรทุกคงที่	L/120
น้ำหนักบรรทุกจร	L/360

ที่มา : บริษัท แปซิฟิกไพพ์ จำกัด (มหาชน)

จากตารางที่ 2 แสดงค่าแอมตัวของเหล็ก SS400 ขนาดมาตรฐาน โดย มี 2 ชนิด ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่เท่ากับ L/120 และ น้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ L/360 โดยใช้ระยะจตุรรองรับเป็นตัวตั้ง และค่าความปลอดภัยในการออกแบบโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ที่เพิ่มความปลอดภัยในการออกแบบให้วัสดุอุปกรณ์ ตลอดจนยานพาหนะ ยังรักษาสภาพไว้ในระดับที่ยอมรับได้ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความปลอดภัย (Safety Factor = S.F.)

ชนิดของวัสดุ	กรณีรับภาระ	Safety Factor
เหล็กเหนียว SS400	มีลักษณะสปริงจนล้า	1.8 – 2.4

ที่มา : บรรเลง ศรีนิล และ สมนึก วัฒนศรีกุล, 2562

จากตารางที่ 3 เป็นค่า Safety Factor ของเหล็กเหนียว SS400 กรณีรับภาระลักษณะสปริงจนล้าให้ใช้ค่า Safety Factor เท่ากับ 1.8–2.4 ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ และจากนั้นนำค่า Safety Factor มาคำนวณหาความเค้นที่ยอมให้ใช้ได้ ดังสมการที่ 1

$$\sigma_{allw} = \frac{\sigma_{lim}}{S.F.} \quad (1)$$

โดยที่ σ_{allw} = ความเค้นที่ยอมให้ใช้ได้ N/mm²

σ_{lim} = ความเค้นจำกัดขึ้นอยู่กับการรับภาระและลักษณะการใช้งาน N/mm²

3.3 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม

การใช้วิธีวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จะช่วยให้มองเห็นภาพแรงที่มากกระทำในจุดต่าง ๆ ของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงาน โดยมีขั้นตอนของการเตรียมแบบจำลองดังต่อไปนี้

1. การสร้างรูปร่างของแบบจำลอง โดยการแบ่งโดเมนออกเป็นอีลิเมนต์ย่อย ๆ ต่อกัน โดยแต่ละอีลิเมนต์จะประกอบไปด้วยโนด การกำหนด shape function ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมทางกายภาพของอีลิเมนต์ หรือผลเฉลยของอีลิเมนต์ (ค่าประมาณ) สร้างสมการสำหรับอีลิเมนต์ กำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้น สภาวะโหลดและสภาวะพินต์อีลิเมนต์ (Finite element analysis) วิธีการศึกษาใช้อุปกรณ์และเครื่องมือประกอบด้วย

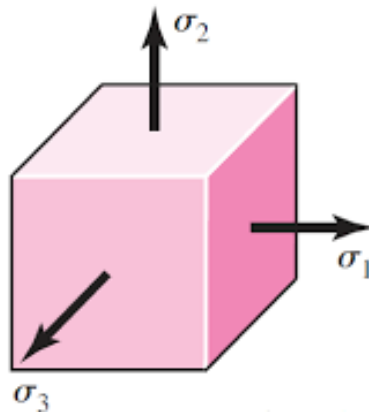
- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา

- 2) โปรแกรม Solidworks

2. ขั้นตอนการหาคำตอบ (Solution phase) การแก้หาคำตอบของสมการซึ่งอยู่ในรูปสมการเชิงเส้นหรือสมการไม่เชิงเส้น ซึ่งคำตอบคือค่าการกระจัดที่โนดต่าง ๆ
3. การวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Postprocessing phase) การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เราสนใจเพิ่มเติมเช่นเรา อาจอยากจะทราบค่าความเค้นหลัก 3 มิติ (Von Mises Stress) เป็นต้น

3.4 ศึกษาความเสียหายวัสดุ

ความเค้นเกิดจากแรงกระทำในทิศทาง 3 แนวแกน และการหาค่าความเค้นสูงสุดในแต่ละระนาบเรียกว่า ความเค้นหลัก ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบซึ่งมีค่าความเค้นเฉือนเท่ากับศูนย์ สามารถเขียนแทนด้วยตัวแปร σ_1 , σ_2 และ σ_3



รูปที่ 3 ความเค้นเกิดจากแรงกระทำในทิศทาง 3 แนวแกน

ที่มา ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี และ สถาพร วัจนาย, 2543

จากรูป 3 แสดงความเค้นต่าง ๆ ในระนาบ 3 มิติ และสามารถนำมาแสดงในระนาบสองมิติเพื่อหาความเค้นเฉือนสูงสุดได้จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 2

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \tau_{yz} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}; \tau_{xz} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (2)$$

ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดสมบูรณ์ $(\tau_{\max})_{\text{abs}} = \tau_{xz}$ เมื่อความเค้นหลักที่เกิดตามเงื่อนไข $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

นอกจากนี้ ทฤษฎีความเสียหายได้กำหนดสมการความเค้นเฉือนสูงสุดไว้ดังสมการที่ 3

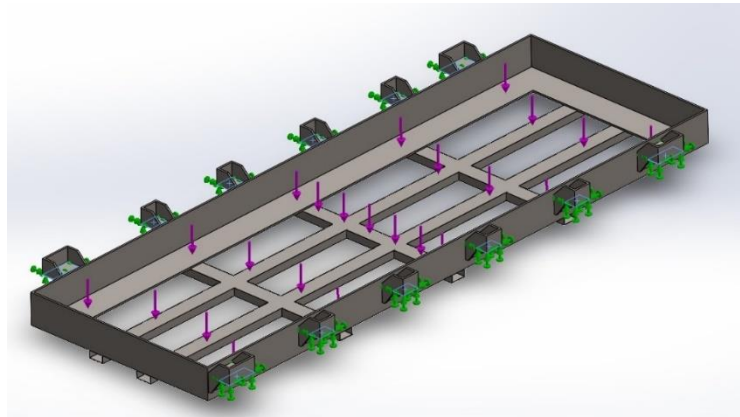
$$\tau_{\max} = \frac{S_y}{S.F.} \quad (3)$$

โดยที่ $\tau_{\max}$ = ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด
 S_y = ค่าความเค้นจุดครากสูงสุด

S.F. = ค่าความปลอดภัย

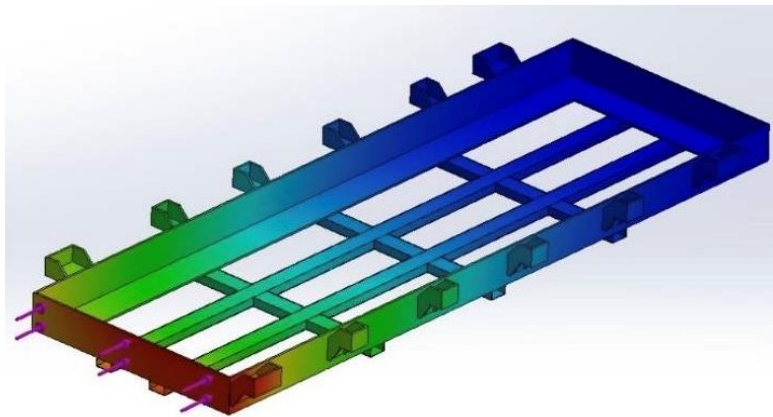
3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงาน

โครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย โครงสร้างชุดรองรับแบตเตอรี่ที่ยึดติดกับ โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ วัสดุที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ เหล็กฉาก (SS400) ได้รับเลือกให้ทำโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานในกระบวนการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Solidworks ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยการวิเคราะห์นั้นจัดทำการศึกษาจุด Fixed Support ที่รู้โครงเหล็ก 12 รู ดังแสดงในรูปที่ 4

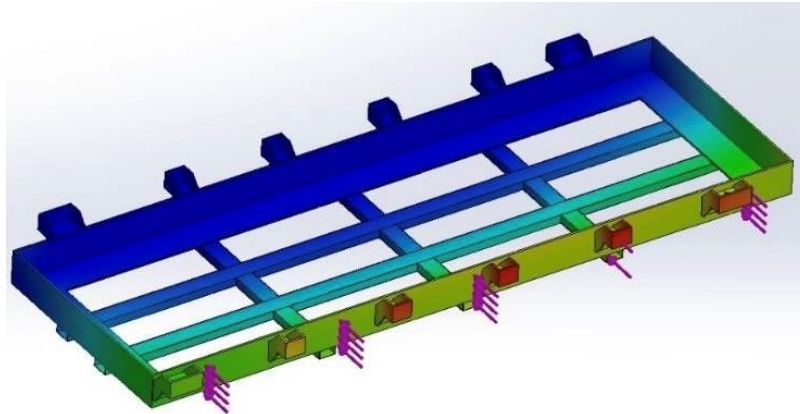


รูปที่ 4 จุด Fixed Support

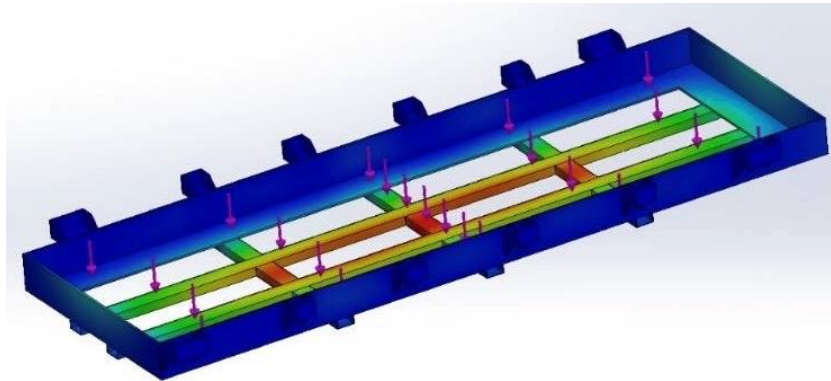
หลังจากการสร้างโมเดล 3 มิติของชุดกักเก็บพลังงานในโปรแกรม Solidworks และนำเข้าสู่ซอฟต์แวร์สำหรับการทดสอบความแข็งแรงโดยผู้วิจัยทำการทดสอบในทางด้านหน้า ด้านข้าง และด้านบน โดยแรงที่กระทำกับโครงชุดกักเก็บพลังงานถูกกระทำด้วยความเร่ง 20 G ตามข้อกำหนดทางรายการ Bridgestone World Solar Challenge 2023 ดังแสดงในรูปที่ 5 6 และ 7



รูปที่ 5 การทดสอบในทางด้านหน้า



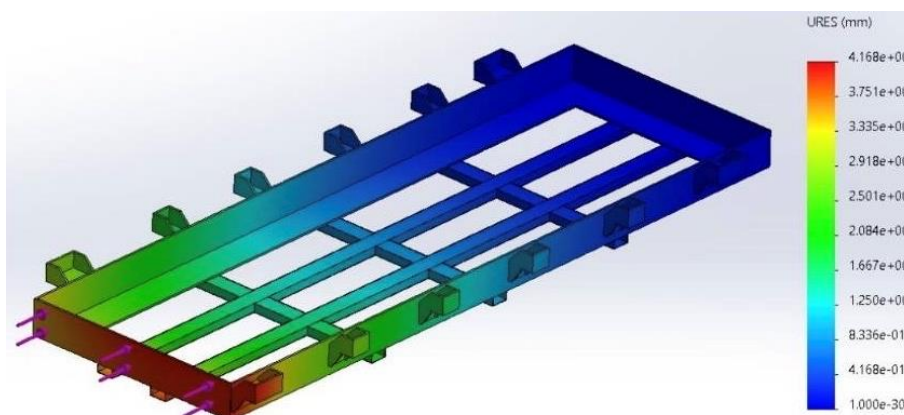
รูปที่ 6 การทดสอบในทางด้านข้าง



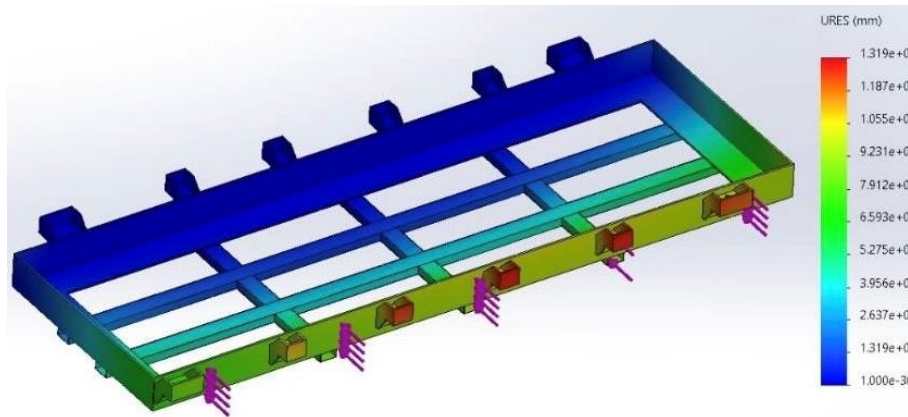
รูปที่ 7 การทดสอบในทางด้านบน

4. ผลการวิจัย

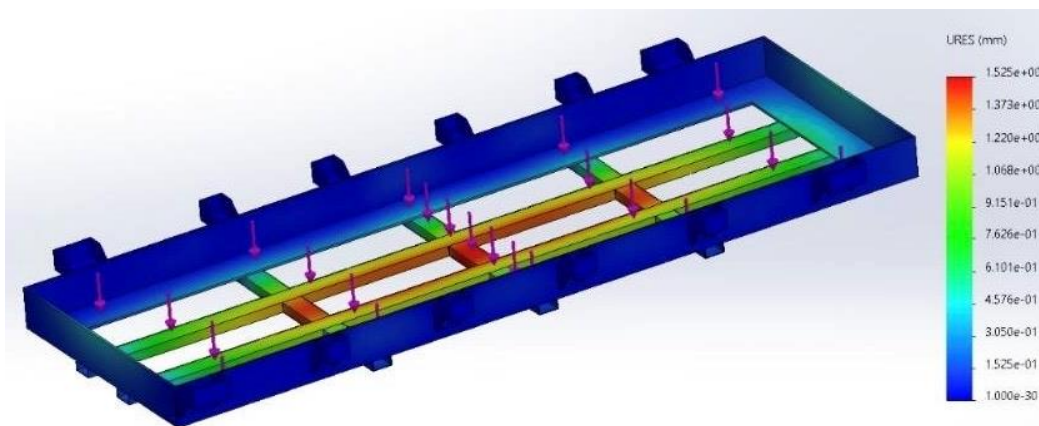
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ในรายการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 ในข้อกำหนด ทีมเข้าร่วมการแข่งขันต้องติดตั้งชุดเก็บพลังงานในรถยนต์พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ถูกควบคุมด้วยความเร่ง 20 G ในทิศทาง ด้านหน้า ด้านข้าง และด้านบน พบว่า การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นในโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานในทิศทางด้านหน้า เท่ากับ 4.16 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 8) ด้านข้าง คือ 1.32 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 9) และด้านบน 1.52 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 10)



รูปที่ 8 การทดสอบแรงด้วยความเร่ง 20 G ในทิศทางด้านหน้า



รูปที่ 9 การทดสอบแรงด้วยความเร่ง 20 G ในทิศทางด้านข้าง



รูปที่ 10 การทดสอบแรงด้วยความเร่ง 20 G ในทิศทางด้านบน

5. การอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานที่ออกแบบโดยใช้วัสดุเหล็กจากโครงสร้าง (SS400) สามารถทนต่อแรงที่กระทำกับโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานด้วยความเร่ง 20G ในทุกทิศทาง โดยขนาดโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานมีขนาด กว้าง 600 มิลลิเมตร และยาว 1,600 มิลลิเมตร การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 นั้นใช้วิธีการทางไฟไนต์อีเลเมนต์ เพื่อทำการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานด้านหน้า เกิดการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน Y เท่ากับ 4.16 มิลลิเมตร ตามลำดับ เกิดการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน X เท่ากับ 1.31 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเกิดการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน Z เท่ากับ 1.52 มิลลิเมตร ทำให้สามารถนำโครงสร้างชุดกักเก็บพลังงานมาใช้ในการรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ STC-4 ไปเข้าร่วมในรายการแข่งขัน Bridgestone World Solar Challenge 2023 ได้อย่างปลอดภัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] REGULATIONS. 2023. 2023 BRIDGESTONE WORLD SOLAR CHALLENGE. [ระ บ บ อ น ไ ล น์]. 3290_2023_bwsc_regulations_release_v10_published_05062024.pdf . (3/4/2023)
- [2] Zhao, H.W., Chen, X.K., L, Y. (2009) Topology optimization of power battery packs for electric vehicles. Journal of Jilin University, 39: 846-850.

- [3] Zhang, H.B. (2013) Study on optimization of stiffener structure of battery box of electric vehicle based on dynamic and static characteristics. Hunan University, Changsha.
- [4] Yang, S.J. (2012) Dynamic and static characteristics analysis and structural optimization design of battery box for electric vehicle. Hunan University, Changsha.
- [5] บริษัท ทักษิณาเมทัล จำกัด. (2559). ตารางสเปค เหล็กgrupพรรณ มอก. 107. [ระบบออนไลน์]. <http://www.taksinametal.com/>. (15/5/2023)
- [6] ชาตรี บุญเชิดชู. (2559). การวิเคราะห์โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรม อย่างยั่งยืน ครั้งที่ 5. ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพฯ.
- [7] นเรนศ ชัยธานี, พิชญา พูลลิ้ม และ ภาณุเทพ พัวพัธุ์. (2559). การวิเคราะห์โครงของแบตเตอรี่รถฟอร์มูล่าไฟฟ้า นักศึกษาด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา.
- [8] บรรเลง ศรีนิล และ รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล. (2562). Tabellenbuch Metall [ตารางคู่มืองานโลหะ]. (พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์ตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [9] กฤษฏาภรณ์ ศุภระมุล, ศักย บุญชูวิทย์, วัชรระ เพิ่มชาติ, ชัยชโย ชื่อดตรง และสัญลักษณ์ กิ่งทอง. (2566). การตรวจสอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบแชสซี สำหรับยานพาหนะการเกษตร. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. ปีที่ 11. ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2566. หน้า 94-106
- [10] ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี และ สถาพร วังนาย. (2543). กลศาสตร์ของแข็ง ฉบับเสริมประสบการณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ สสท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).