

การวิเคราะห์โครงสร้างของแบตเตอรี่รถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาด้วยวิธีการทางไฟไนต์อีเลเมนต์ Batteries Housing Analysis of Formula Students Electric by Using Finite Element Method

นเร็นศ ชัยธานี*, พิชญา พูลล้ม และ ภาณุเทพ พัวพันธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น 1771/1 ซ.พัฒนาการ 37 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

*ติดต่อ: naren@tni.ac.th, 02-7632600 ต่อ 2917

บทคัดย่อ

แบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับการแข่งขันรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา(Formula Students Electric, FSE) เป็นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลีเมอร์ (Li-Pro4) มีลักษณะเป็นก้อนทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. ยาว 394 มม. น้ำหนัก 3.15 กก. ต่อ 1 ก้อน ใช้ทั้งหมด 32 ก้อน ซึ่งจำเป็นจะต้องทำการประกอบเข้าด้วยกันเป็นชุด โดยได้ทำการประกอบแยกกันออกเป็น 3 ชุด มีชุดละ 12 ก้อน จำนวน 2 ชุด และ ชุดละ 8 ก้อนอีก 1 ชุด จากกติกาการแข่งขันรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาตัวโครงของแบตเตอรี่ต้องสามารถทนต่อความเร่งในแนวราบได้ไม่น้อยกว่า 40 เท่าของแรงโน้มถ่วง(g) และทนต่อความเร่งในแนวตั้งได้ไม่น้อยกว่า 20 เท่าของแรงโน้มถ่วง(g) อีกทั้งยังต้องการให้โครงของแบตเตอรี่มีน้ำหนักเบาด้วย จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบโครงของแบตเตอรี่ให้สามารถทนต่อความเร่งดังกล่าวได้และมีน้ำหนักเบาด้วย โครงของแบตเตอรี่ทำมาจากอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ซึ่งมีราคาถูกและมีค่ามอดูลัสของแรงเฉือนเท่ากับ 26.4 GPa การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงของแบตเตอรี่นั้นใช้วิธีการทางไฟไนต์อีเลเมนต์เพื่อทำการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าโครงของแบตเตอรี่ชุดแรก (12 ก้อน) เกิดค่าความเค้นและการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวราบตามแนวแกน X เท่ากับ 1.21 GPa และ 1.1 mm ตามลำดับ เกิดค่าความเค้นและการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวราบตามแนวแกน Y เท่ากับ 4.48 GPa และ 7.5 mm ตามลำดับ และเกิดค่าความเค้นและการขยายตัวตามแนวตั้งเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน Z เท่ากับ 1.19 GPa และ 0.5 mm ตามลำดับ และโครงของแบตเตอรี่ชุดที่สอง (8 ก้อน) เกิดค่าความเค้นและการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวราบตามแนวแกน X เท่ากับ 0.88 GPa และ 0.8 mm ตามลำดับ เกิดค่าความเค้นและการขยายตัวตามแนวราบเนื่องจากความเร่งตามแนวราบตามแนวแกน Y เท่ากับ 1.17 GPa และ 1.4 mm ตามลำดับ และเกิดค่าความเค้นและการขยายตัวตามแนวตั้งเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน Z เท่ากับ 0.63 GPa และ 0.4 mm ตามลำดับ

คำหลัก: โครงของแบตเตอรี่, รถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา, แบตเตอรี่ลิเทียมโพลีเมอร์

Abstract

Li-Pro4 type batteries are used for the Formula Students Electric (FSE) car race. They are made up of tightly-packed cylindrical cells with 75 mm diameter, 394 mm in length and weight of 3.15 kg per cell. We will need 32 batteries in total to put together as a set. The assembly has been separated into three sets; two sets of 12 blocks and a set of 8 blocks. The FSE competitive rule says that the structure of the battery must be able to withstand the horizontal acceleration at least 40 times of gravitational force (g) and to resist the vertical acceleration at least 20 times of gravitational force (g). It is also required a lightweight battery-frame in order to withstand such the accelerations. The battery frame made of 5083 H116 aluminum grade which is cheap and can withstand the Shear Modulus for 26.4 GPa. The strength of the battery structure analysis uses the Finite element analysis; it was found that the structure of the first two sets of battery (12 blocks sets) gave the stress and the expansion horizontally due to the horizontal acceleration along the X axis equal to 1.21 GPa and 1.1 mm,

respectively. The stress and the expansion horizontally due to the horizontal acceleration along the Y axis is equal to 4.48 GPa and 7.5 mm, respectively. And the stress and the expansion vertically due to the vertical acceleration along the Z axis is equal to 1.19 GPa and 0.5 mm, respectively. The structure of the second set of battery (8 blocks set) gave the stress and the expansion horizontally due to the horizontal acceleration along the X axis equal to 0.88 GPa and 0.8 mm, respectively. The stress and the expansion horizontally due to the horizontal acceleration along the Y axis is equal to 1.17 GPa and 1.4 mm, respectively. And the stress and the expansion vertically due to the vertical acceleration along the Z axis is equal to 0.63 GPa and 0.4 mm, respectively.

1. บทนำ

ในการแข่งขันรถแข่งฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา รถที่สามารถเข้าร่วมการแข่งขันของ FSAE (Formula Society of Automotive Engineers) ได้ต้องผ่านการตรวจสอบสภาพรถฟอร์มูล่าตามกฎของ FSAE ซึ่งหนึ่งในหัวข้อสำคัญที่ต้องผ่านการตรวจสอบสภาพคือ แบตเตอรี่ทาง FSAE ได้สร้างกฎเพื่อความปลอดภัยสำหรับผู้เข้าแข่งขัน ในกฎข้อที่ EV3.4 ของ FSAE[1] กล่าวว่า เซลล์และชิ้นส่วนต่างๆของแบตเตอรี่จะต้องป้องกันการเสียหายภายในตัวบรรจุอย่างเหมาะสม ตัวยัดเซลล์อย่างน้อยต้องเป็นตัวยัดชนิด 6 มิลลิเมตร เกรด 8.8 ตามเกรดเมตริก (1/4 นิ้ว ตาม SAE Grade 5) หรือแข็งแรงกว่า ระบบติดตั้งเซลล์หรือชิ้นส่วนจะต้องออกแบบให้ทนต่อความเร่งในแนวราบได้ไม่น้อยกว่า 40 เท่าของแรงโน้มถ่วง และทนต่อความเร่งในแนวตั้งได้ไม่น้อยกว่า 20 เท่าของแรงโน้มถ่วง โครงสร้างของแบตเตอรี่ต้องถูกสร้างด้วยแผ่นเหล็กหรืออลูมิเนียมตามตามข้อกำหนดต่อไปนี้ พื้นหรือด้านล่างจะต้องถูกสร้างโดยใช้เหล็กหนา 1.25 มิลลิเมตร หรืออลูมิเนียมหนา 3.2 มิลลิเมตร ระยะผนังแนวตั้งด้านหน้า, หลัง, ซ้ายและขวาจะต้องถูกสร้างด้วยเหล็กกล้าหนา 0.9 มิลลิเมตร หรืออลูมิเนียม 2.3 มิลลิเมตร ผนังแนวตั้งด้านในที่แบ่งแยกเซลล์และ/หรือชิ้นส่วนต่างๆจะต้องสร้างโดยใช้เหล็กกล้าหนา 0.9 มิลลิเมตร หรืออลูมิเนียม 2.3 มิลลิเมตร ผนังแนวตั้งด้านนอก ฝาครอบและฝาปิดใช้เหล็กกล้าหนา 0.9 มิลลิเมตร หรืออลูมิเนียม 2.3 มิลลิเมตร

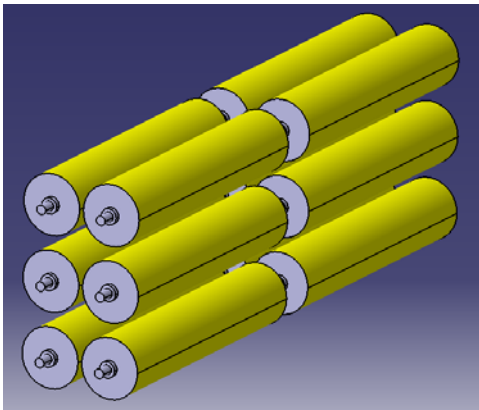
จากกติกาการแข่งขันข้างต้นจึงได้เลือกใช้วัสดุเป็นอลูมิเนียมที่มีความหนาต่างๆตามกติกากำหนดมาออกแบบโครงของแบตเตอรี่ เพื่อให้สามารถทนต่อความเร่งในแนวราบ (แกน X และแกน Y) ได้มากกว่า 40g และสามารถทนต่อความเร่งในแนวตั้ง (แกน Z) ได้มากกว่า 20g

2. วิธีการ

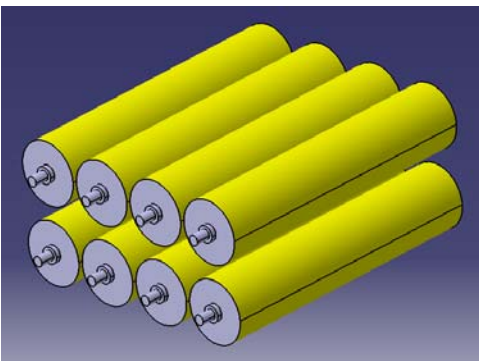
การออกแบบโครงของแบตเตอรี่ให้สามารถรองรับต่อการเร่งความเร็วตามกฎได้ ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้คือ แบตเตอรี่ลิเทียมโพลีเมอร์ (Li-Pro4) มีลักษณะเป็นก้อนทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ยาว 394 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 1) น้ำหนัก 3.15 กิโลกรัม ต่อ 1 ก้อน แรงดันไฟฟ้า 3.2 โวลต์ ต่อ 1 ก้อน ใช้ทั้งหมด 32 ก้อน โดยทำการต่อแบบอนุกรม ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าทั้งหมด 102.4 โวลต์ ซึ่งจำเป็นจะต้องทำการประกอบเข้าด้วยกันโดยการประกอบแยกกันเป็น 3 ชุด มีชุดละ 12 ก้อน จำนวน 2 ชุด (ดังรูปที่ 2) และ ชุดละ 8 ก้อนอีก 1 ชุด (ดังรูปที่ 3)



รูปที่ 1 ขนาดของแบตเตอรี่

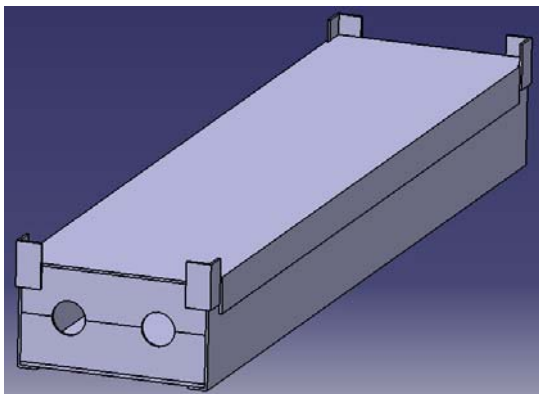


รูปที่ 2 การจัดเรียงแบตเตอรี่ 1 ชุด 12 ก้อน

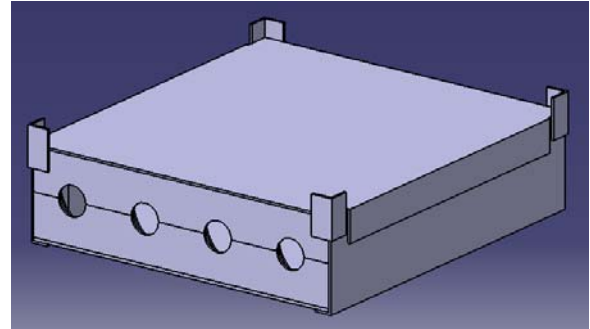


รูปที่ 3 การจัดเรียงแบตเตอรี่ 1 ชุด 8 ก้อน

แบตเตอรี่ 1 ชุด จะทำการแบ่งย่อยแบตเตอรี่ให้เป็น 4 ก้อนต่อ 1 ชุด เรียกว่า 1 Segment โดยจะมีทั้งหมด 8 Segment ซึ่งใน 1 Segment จะต้องให้พลังงานสูงสุดไม่เกินที่ 6MJ และแรงดันไฟฟ้าคงที่ได้เต็มที่ไม่เกิน 120 VDC เพื่อให้เป็นไปตามกฎของ FSAE ข้อที่ EV3.3.3 จากแบตเตอรี่ชุดละ 12 ก้อน สามารถแบ่งได้เป็น 3 Segment โดยแต่ละ Segment จะมีลักษณะดังรูปที่ 4 และชุด 8 ก้อนสามารถแบ่งได้ 2 segment โดยแต่ละ Segment จะมีลักษณะดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 โครงของแบตเตอรี่ใน 1 Segment รูปแบบที่ 1



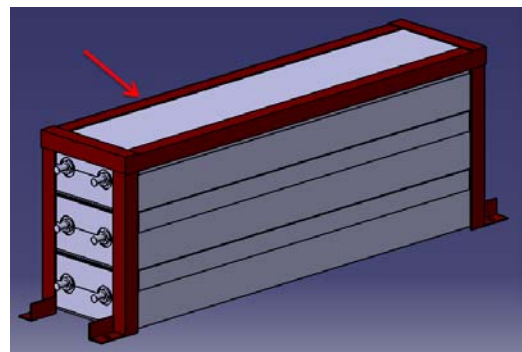
รูปที่ 5 โครงของแบตเตอรี่ใน 1 Segment รูปแบบที่ 2

วัสดุที่ใช้คืออลูมิเนียมแผ่นเกรด 5083 มีขนาดความหนาของฐาน 3.2 มิลลิเมตร และขนาดความหนาของผนังแนวตั้งด้านหน้า หลัง ซ้าย ขวา กับฝาครอบเป็น 2.3 มิลลิเมตร โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 1

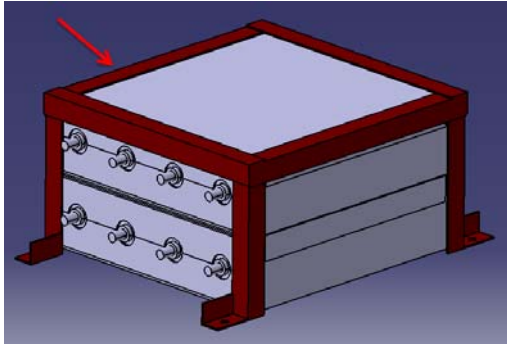
ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของ
อลูมิเนียมอัลลอยด์ 5083-H116 [2]

คุณสมบัติทางกายภาพ	
ความหนาแน่น	2.66 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
คุณสมบัติทางกล	
จุดคราก	305 เมกะพาสคาล
แรงต้านทานการดึงวิกฤติ	215 เมกะพาสคาล
มอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น	70.3 กิกะพาสคาล
อัตราส่วนปัวซอง	0.33
ความแข็งแรงต่อการล้าตัว	159 เมกะพาสคาล
ความเค้นเฉือน	190 เมกะพาสคาล

และเพื่อเสริมความแข็งแรง และเป็นจุดที่ใช้ยึดโครงของแบตเตอรี่เข้ากับโครงรถฟอร์มูล่า ได้ทำการออกแบบให้มีโครงเหล็ก (ดังรูปที่ 6 และ 7) ครอบลงไปใต้โครงของแบตเตอรี่



รูปที่ 6 โครงเหล็กเสริมความแข็งแรง



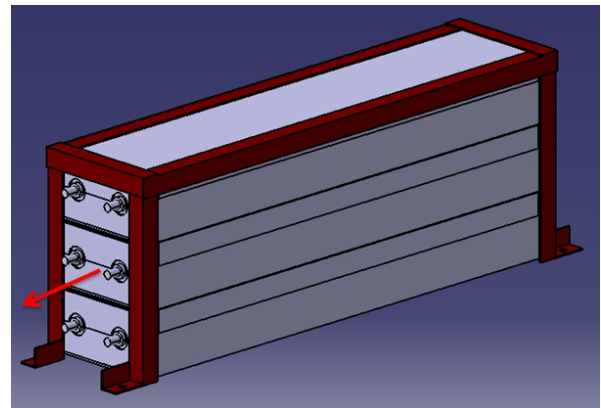
รูปที่ 7 โครงเหล็กเสริมความแข็งแรง

โดยวัสดุที่ใช้ทำโครงเหล็กคือเหล็กฉากเกรด SS400 โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2

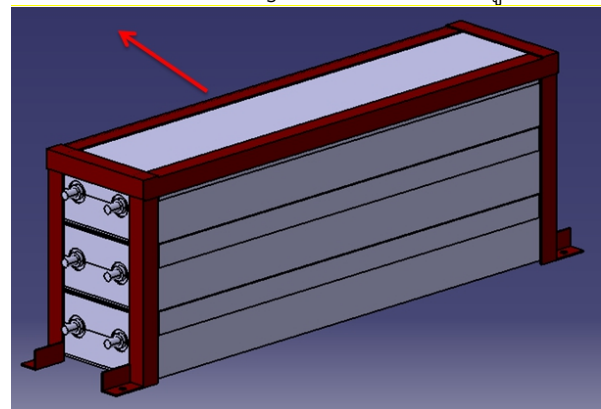
ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของเหล็ก SS400 [3]

คุณสมบัติทางกายภาพ	
ความหนาแน่น	7.8 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
คุณสมบัติทางกล	
จุดคราก	400 เมกะพาสคาล
แรงต้านทานการดึงวิกฤติ	205 เมกะพาสคาล
มอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น	190 กิกะพาสคาล
อัตราส่วนปัวซอง	0.26

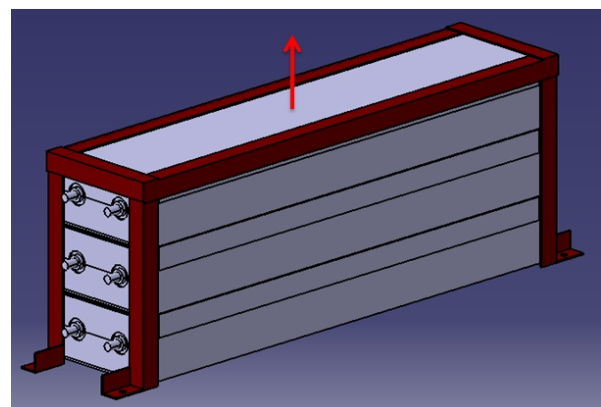
จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงของแบตเตอรี่ด้วยวิธีการทางไฟไนต์อีเลเมนต์โดยใช้กระบวนการ CAE Analysis มาทำการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Ansys R16.2 ในการทดสอบหาความแข็งแรงของโครงแบตเตอรี่ให้สามารถทนต่อการเร่งความเร็วตามแนวราบ (แกน X และแกน Y) และตามแนวตั้ง (แกน Z) โดยอ้างอิงจากกฎข้อ EV3.4.7 ของ FSAE โดยแรงที่กระทำกับโครงของแบตเตอรี่จะเป็นแรงที่โครงของแบตเตอรี่ถูกกระทำด้วยความเร่ง 40g ในทิศทางตามแนวราบ (ดังรูปที่ 8 และ 9) และ 20g ในทิศทางแนวตั้ง (ดังรูปที่ 10) โดยการวิเคราะห์นั้นจะทำการยึดจุด Fixed support ที่รูของโครงเหล็กทั้ง 4 รู (ดังรูปที่ 11)



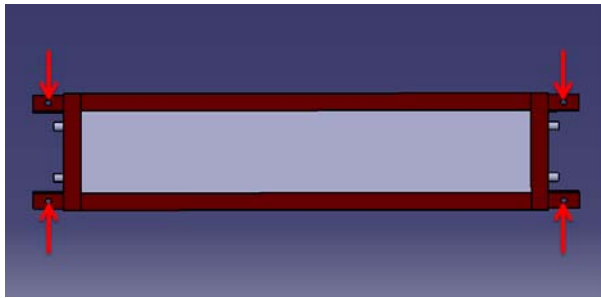
รูปที่ 8 แนวแรงที่ลูกแบตเตอรี่กระทำกับโครงแบตเตอรี่ด้วยความเร่ง 40g ในทิศทางตามลองจิจูด



รูปที่ 9 แนวแรงที่ลูกแบตเตอรี่กระทำกับโครงแบตเตอรี่ด้วยความเร่ง 40g ในทิศทางตามลองจิจูดและทิศทางด้านข้าง



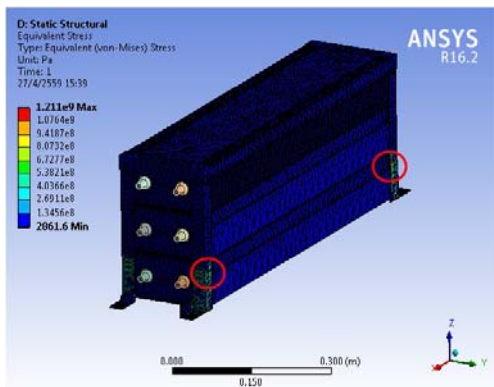
รูปที่ 10 แนวแรงที่ลูกแบตเตอรี่กระทำกับโครงแบตเตอรี่ด้วยความเร่ง 20g ในทิศทางแนวตั้ง



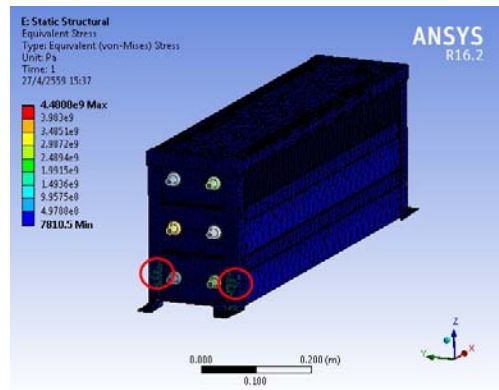
รูปที่ 11 รูปแสดงจุด Fixed support ที่โครงสร้างทั้ง 4 ฐ (Top view)

3. ผลการทดลอง

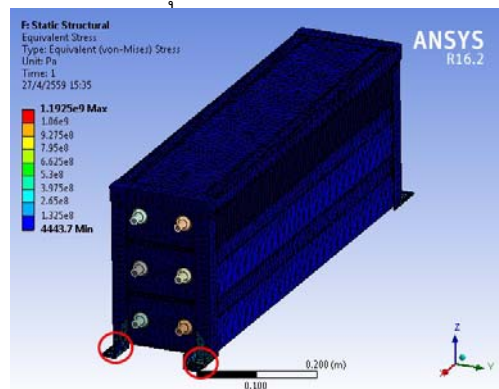
จากการศึกษาพบว่า ค่าความแข็งแรงของอลูมิเนียมเท่ากับ 26.9 GPa เมื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงของแบตเตอรี่ด้วยวิธีการทางไฟไนต์อีเลเมนต์โดยการวิเคราะห์กระบวนการ CAE Analysis มาทำการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Ansys R16.2 โดยใส่แรงที่กระทำกับโครงของแบตเตอรี่ด้วยความเร่ง 40g ในทิศทางในแนวราบ (ดังรูปที่ 8 และ 9) และ 20g ในทิศทางแนวดิ่ง (ดังรูปที่ 10) พบว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในโครงของแบตเตอรี่ชุดแรก 12 ก้อน ตามแนวแกน X (ดังรูปที่ 12) คือ 1.21 GPa ตามแนวแกน Y (ดังรูปที่ 13) คือ 4.48 GPa และตามแนวแกน Z (ดังรูปที่ 14) คือ 1.19 GPa



รูปที่ 12 รูปแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมโครงของแบตเตอรี่ชุดแรก 12 ก้อน ตามแนวแกน X

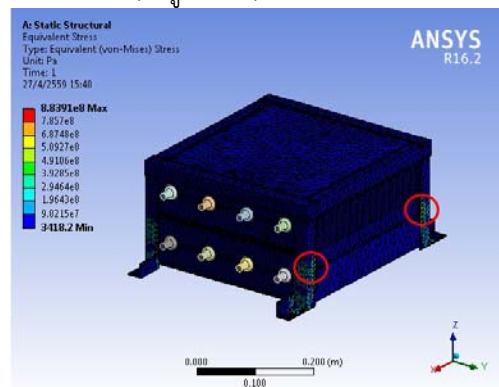


รูปที่ 13 รูปแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมโครงของแบตเตอรี่ชุดแรก 12 ก้อน ตามแนวแกน Y

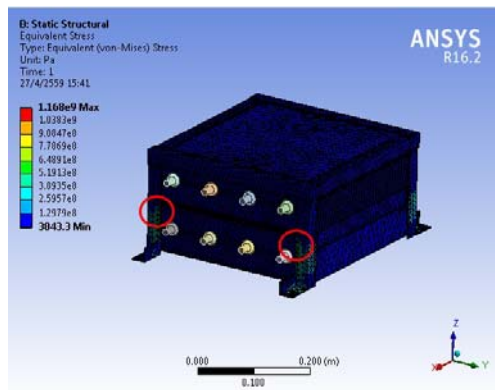


รูปที่ 14 รูปแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมโครงของแบตเตอรี่ชุดแรก 12 ก้อน ตามแนวแกน Z

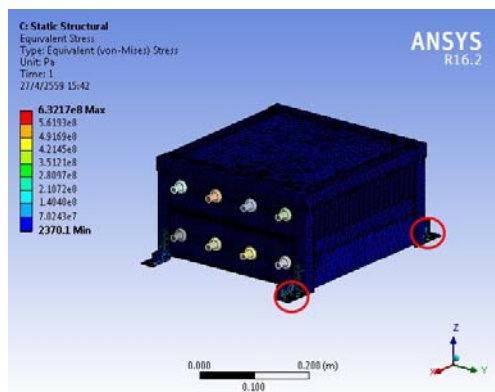
และค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในโครงของแบตเตอรี่ชุดที่สอง 8 ก้อน ตามแนวแกน X (ดังรูปที่ 15) คือ 0.88 GPa ตามแนวแกน Y (ดังรูปที่ 16) คือ 1.17 GPa และตามแนวแกน Z (ดังรูปที่ 17) คือ 0.63 GPa



รูปที่ 15 รูปแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมโครงของแบตเตอรี่ชุดที่สอง 8 ก้อน ตามแนวแกน X



รูปที่ 16 รูปแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมโครง
ของแบตเตอรี่ชุดที่สอง 8 ก้อน ตามแนวแกน Y



รูปที่ 17 รูปแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม
โครงของแบตเตอรี่ชุดที่สอง 8 ก้อน ตามแนวแกน Z

4. สรุปผล

จากการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ทำให้ทราบว่าโครงของแบตเตอรี่ที่ออกแบบโดยใช้วัสดุอลูมิเนียม สามารถทนต่อแรงที่กระทำกับโครงของแบตเตอรี่ด้วยความเร่ง 40g ในทิศทางตามราบ และ 20g ในทิศทางแนวตั้งได้ โดยที่ค่ามอดูลัสของแรงเฉือนของอลูมิเนียมเท่ากับ 26.4 GPa แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Ansys R16.2 พบว่า ในโครงของแบตเตอรี่แบบแรก เกิดค่าความเค้นเนื่องจากความเร่งตามแนวราบตามแนวแกน X เท่ากับ 1.2 GPa เกิดค่าความเค้นเนื่องจากความเร่งตามแนวราบตามแนวแกน Y เท่ากับ 4.48 GPa และเกิดค่าความเค้นเนื่องจากความเร่งตามแนวแกน Z เท่ากับ 1.19 GPa และในโครงของแบตเตอรี่แบบที่สอง เกิดค่าความเค้นเนื่องจากความเร่งตามแนวราบตามแนวแกน X เท่ากับ 0.88 GPa เกิดค่าความเค้นเนื่องจากความเร่งตามแนวราบตามแนวแกน Y เท่ากับ 1.17 GPa และเกิดค่าความเค้นเนื่องจากความเร่ง

ตามแนวแกน Z เท่ากับ 0.63 GPa ทำให้สามารถนำโครงของแบตเตอรี่มาใช้ในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาได้อย่างปลอดภัย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] SAE International. 2016. *2016 Formula SAE Rules Table of Contents*, [ระบบออนไลน์].
http://www.fsaeonline.com/content/2016_FSAE_Rules.pdf (5/04/2016).
- [2] Aluminum 5083-H116; 5083-H321, [ระบบออนไลน์].
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=1efe7441a72f4a22a53c0dc1bd9c87ec> (5/04/2016).
- [3] Mechanical Properties, [ระบบออนไลน์].
<http://mechanichart.blogspot.com/2013/05/mechanical-properties.html> (5/04/2016).