

การจัดวางแบตเตอรี่และความร้อนที่เกิดขึ้นในรถยนต์ไฟฟ้าสูตรนักศึกษา

THE BATTERY PLACEMENT AND HEAT GENERATION IN THE FORMULA
STUDENT ELECTRIC VEHICLE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดวางแบตเตอรี่และความร้อนที่เกิดขึ้นในรถยนต์ไฟฟ้าสูตรนักศึกษา

THE BATTERY PLACEMENT AND HEAT GENERATION IN THE FORMULA
STUDENT ELECTRIC VEHICLE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE BATTERY PLACEMENT AND HEAT GENERATION IN THE FORMULA
STUDENT ELECTRIC VEHICLE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2566
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การจัดวางแบตเตอรี่และความร้อนที่เกิดขึ้นในรถยนต์ไฟฟ้าสูตรนักศึกษา
THE BATTERY PLACEMENT AND HEAT GENERATION IN THE FORMULA STUDENT
ELECTRIC VEHICLE

ผู้จัดทำ

1. นาย คุณากร ตั้งเจริญชัยพาณิชย์ รหัสประจำตัว 63010114
2. นาย ศุภกานต์ รื่นเริงใจ รหัสประจำตัว 63010929



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดวางแบตเตอรี่และความร้อนที่เกิดขึ้นในรถยนต์ไฟฟ้าสูตรนักศึกษา

นายคุณากร	ตั้งเจริญชัยพาณิชย์	63010114
นายศุภกานต์	รื่นเริ่งใจ	63010929
ผศ.ดร. จินดา	เจริญพรพาณิชย์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2566		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาการออกแบบและพัฒนารูปแบบการจัดวางพัฒนในชุดแบตเตอรี่สำหรับรถแข่งสูตรนักศึกษา รวมไปถึงการสังเกตพฤติกรรมความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตัวแบตเตอรี่ในแต่ละรูปแบบ เพื่อให้เห็นความแตกต่างของความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวแบตเตอรี่ และยังคงทำการศึกษานโยบายในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นกับตัวแบตเตอรี่ให้ถูกต้องตามกฎความปลอดภัยของการแข่งขันรถแข่งสูตรนักศึกษาที่ได้กำหนดไว้ งานวิจัยนี้จะเน้นไปที่ตำแหน่งในการวางพัฒนโดยตำแหน่งที่เราเลือกจะต้องเป็นตำแหน่งที่ลมผ่านมากที่สุดซึ่งตำแหน่งที่เราสนใจมีทั้งภายในและภายนอกชุดแบตเตอรี่โดยภายในชุดแบตเตอรี่จะมีเซนเซอร์ติดตั้งเพื่อตรวจจับอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นซึ่งเรามีจำนวนเซนเซอร์เพียงพอทั้งที่กฎการแข่งขันระบุไว้และที่ตำแหน่งภายนอกแบตเตอรี่จะมีที่ ขั้วบวกของแบตเตอรี่ที่โมดูล 2, ขั้วบวกของแบตเตอรี่ที่โมดูล 4 และที่ชุด Relay ซึ่งจุดที่น่ากังวลจะเป็นชุด Relay เพราะว่าจุดนี้จะต้องรับการจ่ายแสฟออกมาจากชุดแบตเตอรี่ทั้ง 4 โมดูล ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้น ณ ชุด Relay นี้จะมีค่ามากกว่าตำแหน่งอื่นๆ ทำให้เราต้องเลือกตำแหน่งการวางพัฒนที่มีลมผ่านชุด Relay นี้มากที่สุด โดยจากการทดลองสังเกตได้ว่าในกรณีที่ชุดทดลองไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนกับชุดทดลองที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนมีความร้อนที่วัดได้แตกต่างกันทั้งภายในและภายนอกโดยความร้อนที่วัดได้ภายในโมดูลแบตเตอรี่แต่ละโมดูล มีค่าดังนี้ โมดูลที่ 1 อยู่ที่ 4.0 °C, โมดูลที่ 2 อยู่ที่ 5.5 °C, โมดูลที่ 3 อยู่ที่ 5.0 °C และโมดูลที่ 4 อยู่ที่ 6.5 °C และความร้อนสะสมภายนอกโมดูลแบตเตอรี่ที่มีตำแหน่งที่สนใจทั้งหมด 4 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งมีค่าความร้อนที่วัดได้แตกต่างกันดังนี้ ตำแหน่งที่ 1 ขั้วบวกโมดูล 4 อยู่ที่ 5 °C, ตำแหน่งที่ 2 Relay in อยู่ที่ 11 °C, ตำแหน่งที่ 3 Relay out อยู่ที่ 9 °C และตำแหน่งที่ 4 ขั้วบวกโมดูล 2 อยู่ที่ 3.5 °C

คำสำคัญ : รถยนต์สูตรนักศึกษา, แบตเตอรี่, FSAE, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE BATTERY PLACEMENT AND HEAT GENERATION IN THE FORMULA STUDENT ELECTRIC VEHICLE

KUNAKORN TANGCHAROENCHAIPANICH 63010114

SUPAKARN RUENROENGJAI 63010929

Asst.Prof.Dr. Chinda Charoenphonphanich Advisor

Year 2023

ABSTRACT

The research aims to study the design and development of fan layouts within the battery pack for formula student race cars, including observing the heat behavior occurring inside each battery module. The objective is to identify temperature variations within the battery modules and study the heat dissipation methods to ensure compliance with safety regulations for formula student race competitions. The focus of this research lies in the positioning of the fans. The selected positions must allow for maximum airflow, both inside and outside the battery pack. Internally, temperature sensors will be installed to monitor heat generation, ensuring compliance with competition regulations. Externally, specific positions such as the positive terminals of modules 2 and 4 and the Relay set will be considered. Of particular concern is the Relay set, as it distributes power from all four modules, potentially resulting in higher temperatures. Therefore, fan placement should prioritize airflow across this Relay set. Experimental observations indicate significant temperature differences between test setups with and without heat dissipation systems. Internal temperatures of each battery module are as follows: Module 1 = 4.0 °C, Module 2 = 5.5 °C, Module 3 = 5.0 °C, and Module 4 = 6.5 °C. Cumulative external temperatures at the specified positions are also varied: Position 1 (positive terminal of Module 4) = 5 °C, Position 2 (Relay in) = 11 °C, Position 3 (Relay out) = 9 °C, and Position 4 (positive terminal of Module 2) = 3.5 °C.

Keywords : Formula Student Car, Battery, FSAE, Finite Element Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ คำแนะนำ และการช่วยเหลือในด้านต่างๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ผู้จัดทำขอขอบคุณบุคคลที่เกี่ยวข้องกับความสำเร็จของงานวิจัย คุณทินกร เกษรทอง ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับชุดการทดลองแบตเตอรี่, แนะนำแนวทางในการทำงานวิจัย ดร.เมฆ ศรีหล่มสัก, คุณวรัญญา ไพโรจน์ เจ้าหน้าที่วิจัย, ที่คอยให้คำแนะนำ ขอขอบคุณฝ่ายงานเทคโนโลยีสารสนเทศของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อโปรแกรม Ansys2021 ในการสร้างแบบจำลอง, คุณชยันต์ ทิพย์ศิริ ผู้ให้ความรู้เกี่ยวกับรถแข่ง Formula Student และคุณปิยวัฒน์ เหล็กกล้า, คุณอรุณพล รังผึ้ง ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทดลอง และขอขอบคุณทางบริษัท อมิตา เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนให้เข้าไปใช้อุปกรณ์และเครื่องทดสอบ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้โอกาสผู้จัดทำปริญญานิพนธ์เข้ามารับการศึกษาและทำการทดลองที่ภาควิชาแห่งนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ขออำนาจพระศรีรัตนตรัยอำนวยพรความสุขความเจริญจงมีแต่ทุกท่าน

นายคุณากร ตั้งเจริญชัยพาณิชย์
นายศุภกานต์ รื่นเรใจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.1.1 เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้า.....	1
1.1.2 การแข่งขันสูตรนักศึกษา.....	1
1.1.3 แบตเตอรี่.....	2
1.1.4 แบตเตอรี่ที่เลือกใช้	3
1.1.5 หลักการทำงานของรถยนต์ไฟฟ้าสูตรนักศึกษาของทีมเรา (วงจรการทำงาน)	4
1.1.6 กฎความปลอดภัยของรถยนต์ไฟฟ้าสูตรนักศึกษา.....	5
1.2 วัตถุประสงค์.....	7
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	7
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	8
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	8
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทดลอง.....	8
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 การทบทวนวรรณกรรม.....	9
2.1.1 Design of a Battery Pack for a Formula SAE Racing Car [10].....	9
2.2.2 Modelling of battery cooling for Formula Student application 3D Simulation of air - cooled lithium-ion battery with COMSOL Multiphysics®,applied on 2016 years KTH Formula Student car “EV12e” .[5].....	11
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	12
2.2.1 ทฤษฎีของไหลพื้นฐาน.....	12
2.2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนพื้นฐาน	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.3 ทฤษฎีกลไกการถ่ายเทความร้อน	17
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	20
3.1 บทนำ.....	20
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าสูตรนักศึกษาและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	21
3.2.1 Accumulator	21
3.2.2 Battery Management System	23
3.2.3 แบตเตอรี่ 12V	24
3.2.4 พัดลมขนาด 120 มิลลิเมตร	25
3.2.5 Data Logger	25
3.2.6 เครื่องวัดความเร็วอากาศ (Air Flow Meter)	26
3.3 ออกแบบระบบระบายความร้อนและรูปแบบการติดตั้งชุดพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าสูตรนักศึกษา ..	27
3.3.1 ออกแบบตะแกรงสำหรับติดตั้งพัดลม	27
3.3.2 ออกแบบตำแหน่งติดตั้งพัดลมบนฝากล่อง Accumulator	28
3.4 การวิเคราะห์ระเบียบไฟไนต์เอลเมนต์เพื่อเลือกแนวทิศทางการไหลของอากาศ	29
3.4.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลเมนต์	29
3.4.2 ระเบียบวิเคราะห์ไฟไนต์เอลเมนต์	32
3.4.3 ผลการวิเคราะห์ระเบียบไฟไนต์เอลเมนต์	34
3.5 ขั้นตอนการทดลอง.....	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	46
4.1 ผลการทดลองภายในชุดแบตเตอรี่.....	46
4.2 ผลการทดลองภายนอกชุดแบตเตอรี่ที่เราสนใจ	48
บทที่ 5 การวิจารณ์หรืออภิปรายผล	50
บรรณานุกรม	51

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงคำอธิบายการทำงานของแต่ละอุปกรณ์จากรูปที่ 1.2	4
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าตัวแปรต่างๆก่อนนำไปเข้าแบบจำลอง	12
ตารางที่ 2.2 ค่า Nusselt Number ของการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Flow across tube bank	19
ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูล BMS 14 Cell.....	24
ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลพัดลมที่ใช้ในระบบระบายความร้อน.....	25
ตารางที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลม.....	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แบตเตอรี่แบบซอง ของบริษัท อมิตา เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด	3
รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ไปถึงมอเตอร์.....	4
รูปที่ 2.1 กราฟการต่อแบบจำนวน n ขนานซึ่งถูกจำกัดโดยจำนวนของ BMS.....	10
รูปที่ 2.2 รูปแสดงส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของเซลล์แบตเตอรี่.....	10
รูปที่ 2.3 รูปภาพรูปร่างของแบตเตอรี่ที่แตกต่างกัน.....	10
รูปที่ 2.4 การทำการทดลองและสังเกตความร้อนที่ตัวแบตเตอรี่.....	11
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงค่าความต่างศักย์, กระแสไฟฟ้าและตลอดเวลาการแข่งขัน endurance.....	11
รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางการไหลของอากาศ	12
รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบของที่อัดตัวได้และอัดตัวไม่ได้.....	13
รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างของเส้น Streamline ที่เกิดขึ้น.....	13
รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการเคลื่อนที่ของของไหลในท่อ	14
รูปที่ 2.10 การถ่ายเทความร้อนของแก้วกาแฟร้อนไปยังอากาศโดยรอบ.....	14
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการแสดงค่าความร้อนจำเพาะของสาร.....	15
รูปที่ 2.12 ระบบปิด.....	15
รูปที่ 2.13 Steady state in control volume	16
รูปที่ 2.14 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิว.....	16
รูปที่ 2.15 รูปแบบการวางท่อ.....	18
รูปที่ 3.1 แสดงจำลองตำแหน่งติดตั้งพัดลม.....	20
รูปที่ 3.2 ขณะทำการทดลองดึงพลังงานออกจากตัวแบตเตอรี่.....	20
รูปที่ 3.3 Accumulator.....	21
รูปที่ 3.4 แสดงข้อมูลต่างๆ ของ Contactor Relay	22
รูปที่ 3.5 Main BMS And IMD.....	23
รูปที่ 3.6 BMS 14 Cells.....	24
รูปที่ 3.7 แบตเตอรี่ 12V.....	24
รูปที่ 3.8 แสดงพัดลมที่ใช้ในระบบระบายความร้อน	25
รูปที่ 3.9 Data Logger.....	26
รูปที่ 3.10 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลทั้ง 4 ตำแหน่ง.....	26
รูปที่ 3.11 เครื่องวัดความเร็วลม	26
รูปที่ 3.12 ตะแกรงลม	27
รูปที่ 3.13 แสดงตำแหน่งของ Accumulator บนรถ Formula Student.....	28

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งติดตั้งพัดลม	28
รูปที่ 3.15 แสดงแบบแผนขั้นตอนการจำลอง.....	29
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างกฎอนุรักษ์มวลสารในปฏิกิริยาเคมี	29
รูปที่ 3.17 การชนกันของลูกบอลสไนุกเกอร์.....	30
รูปที่ 3.18 การเปลี่ยนรูปแบบพลังงานจากพลังงานศักย์โน้มถ่วงเป็นพลังงานจลน์	31
รูปที่ 3.19 แบบจำลอง 3 มิติของมวลอากาศ	32
รูปที่ 3.20 ตำแหน่ง A คือทางเข้าของอากาศ ตำแหน่ง B ทางออกของอากาศ	32
รูปที่ 3.21 แสดง Mesh ของมวลอากาศ.....	33
รูปที่ 3.22 แสดงการกำหนด Boundary Conditions ที่ทางเข้าของอากาศ.....	33
รูปที่ 3.23 แสดงการกำหนด Boundary Conditions ที่ทางออกของอากาศ.....	34
รูปที่ 3.24 แสดงหน้าต่างฟังก์ชัน Calculation.....	34
รูปที่ 3.25 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 1	34
รูปที่ 3.26 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 2	35
รูปที่ 3.27 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 3	35
รูปที่ 3.28 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 4	36
รูปที่ 3.29 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 5	36
รูปที่ 3.30 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 6	37
รูปที่ 3.31 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 7	37
รูปที่ 3.32 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 8	38
รูปที่ 3.33 แสดงตำแหน่งติดตั้งพัดลม	38
รูปที่ 3.34 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 9	39
รูปที่ 3.35 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 10	39
รูปที่ 3.36 แสดงคอนทัวร์ของความเร็วที่เกิดขึ้นของจุดที่ 1.....	40
รูปที่ 3.37 แสดงคอนทัวร์ของความเร็วที่เกิดขึ้นของจุดที่ 2 และ 3.....	40
รูปที่ 3.38 แสดงจุดที่เจาะฝาชุดการทดลอง	41
รูปที่ 3.39 แสดงการวางอุปกรณ์.....	41
รูปที่ 3.40 แสดงตำแหน่งการวัดความเร็วลมตำแหน่งที่ 1	41
รูปที่ 3.41 แสดงตำแหน่งการวัดความเร็วลมตำแหน่งที่ 2	42
รูปที่ 3.42 แสดงตำแหน่งการวัดความเร็วลมตำแหน่งที่ 3.....	42
รูปที่ 3.43 แผนภาพแสดงวงจรพัดลม	43
รูปที่ 3.44 แสดงเวลาที่ทดสอบเพื่อผ่านไป 1 ชั่วโมง 44 นาที	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.45 แสดงเวลาที่ทดสอบเพื่อผ่านไป 3 ชั่วโมง 6 นาที	43
รูปที่ 3.46 แสดงเวลาที่ทดสอบเพื่อผ่านไป 4 ชั่วโมง 13 นาที	44
รูปที่ 3.47 แสดงขั้นตอนขณะนำชุดทดลองขึ้นแทนทดสอบ	44
รูปที่ 3.48 แสดงขั้นตอนขณะติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล	44
รูปที่ 3.49 แสดงภาพก่อนเริ่มการทดลอง.....	45
รูปที่ 3.50 แสดงภาพที่ติดตั้งชุดฝาการทดลอง และพัดลม	45
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของความร้อน,ค่าความต่างศักย์และเวลา ระหว่างกรณีที่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมกับกรณีไม่มีระบบระบายความร้อนของโมดูลที่ 1	46
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของความร้อน,ค่าความต่างศักย์และเวลา ระหว่างกรณีที่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมกับกรณีไม่มีระบบระบายความร้อนของโมดูลที่ 2	46
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของความร้อน,ค่าความต่างศักย์และเวลา ระหว่างกรณีที่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมกับกรณีไม่มีระบบระบายความร้อนของโมดูลที่ 3	47
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของความร้อน,ค่าความต่างศักย์และเวลา ระหว่างกรณีที่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมกับกรณีไม่มีระบบระบายความร้อนของโมดูลที่ 4	47
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความร้อนที่วัดกับเวลาทั้งหมด 4 ตำแหน่งที่เราสนใจกรณีไม่มีระบบ ระบายความร้อนด้วยพัดลม	48
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความร้อนที่วัดกับเวลาทั้งหมด 4 ตำแหน่งที่เราสนใจกรณีมีระบบ ระบายความร้อนด้วยพัดลม	48
รูปที่ 4.7 กราฟความเร็วลมตำแหน่งที่สนใจ 3 ตำแหน่ง.....	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

1.1.1 เกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้า

เนื่องจากการเดินทางของคนเราในปัจจุบันจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ยานพาหนะสำหรับการเดินทางไปไหนมาไหน และมีแนวโน้มความต้องการในการใช้ยานพาหนะมีมากขึ้น ในขณะที่ยานพาหนะในปัจจุบัน ที่ใช้กันส่วนมาก คือ รถยนต์ รถโดยสาร รถมอเตอร์ไซค์ ฯลฯ ซึ่งยานพาหนะเหล่านี้มีความต้องการใช้น้ำมันเป็นแหล่งเชื้อเพลิงเป็นส่วนมาก

ณ ปัจจุบันนี้มีวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันแปรปรวนอย่างรวดเร็ว และยังมีราคาแพงมากขึ้น ซึ่งทำให้พวกเราเล็งเห็นถึงการใช้พลังงานทดแทน ที่จะนำมาทดแทนการใช้น้ำมัน ซึ่งพลังงานที่จะนำมาใช้ทดแทนควรจะเป็นพลังงานที่หาได้ง่าย เราจึงได้คิดว่าเป็นพลังงานไฟฟ้าที่มีราคาต่อหน่วย ต่ำกว่ามากเมื่อเทียบกับราคาน้ำมัน อีกทั้งยังไม่มีปัญหาในเรื่องของมลพิษที่เกิดขึ้นอีกด้วย

ด้านสิ่งแวดล้อม การที่เปลี่ยนมาใช้พลังงานไฟฟ้าแทนนับว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง เนื่องจาก การใช้พลังงานไฟฟ้าไม่ก่อให้เกิดมลพิษ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยหลักการการทำงานของรถยนต์ไฟฟ้าจะเริ่มต้นจากแบตเตอรี่ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง และตัวแปลงกระแสไฟฟ้าหรือตัวควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยจะทำการดึงพลังงานจากแบตเตอรี่ไฟฟ้า ส่งต่อไปยังมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนยานพาหนะ

1.1.2 การแข่งขันรถยนต์สูตรนักศึกษา

ในปัจจุบันมีการแข่งขันรถยนต์สูตรนักศึกษา ในระดับอุดมศึกษาเป็นการแข่งขันนั้นในเรื่องของการออกแบบและสร้างรถยนต์สูตรนักศึกษาสู่ตลาดของผู้ประกอบการขับเคลื่อน ดังนั้นการร่วมกันทำรถให้ได้หนึ่งคันของนักศึกษาต้องใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมเพื่อออกแบบ และสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ของรถ นอกจากนั้นนักศึกษายังต้องใช้ความรู้และความสามารถในการจัดการด้านการเงิน การบริหารจัดการคนภายในทีม ตลอดจนความรู้ด้านการตลาดสำหรับการนำเสนอรถต่อผู้สนใจด้วยลักษณะทั่วไปของรถที่เข้าร่วมการแข่งขัน ต้องเป็นรถยนต์ล้อเปิดและส่วนคนขับเปิดโล่ง(รถฟอร์มูล่า) มีสี่ล้อสำหรับคนขับหนึ่งคน โดยประเภทของรถแข่งก็จะมีทั้งหมด 3 ประเภท ดังนี้

1. สันดาปภายใน
2. ไฟฟ้า
3. ไร้คนขับ

ซึ่งในปีนี้ทางทีม ชมรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้เลือกทำ รถยนต์ไฟฟ้าสูตรนักศึกษา เนื่องจากเล็งเห็นแนวโน้มในอนาคตอันใกล้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถยนต์ไฟฟ้าที่เร็วจะทำความเร็ว เข้าร่วมการแข่งขันรถยนต์ในรายการต่างๆที่จัดแข่งขัน หรือจะเป็นการที่ผู้คนเริ่มหันไปให้ความสนใจกับรถไฟฟ้าอาจจะเป็นในเรื่องของ มลพิษที่เกิดขึ้น น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับรถยนต์สันดาปภายใน ฯลฯ

1.1.3 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ คืออุปกรณ์ที่เป็นตัวกักเก็บพลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี และถ่ายเท ออกไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งรู้จักกันในกระบวนการ electrochemistry ภายในจะประกอบไปด้วย cathode หรือ ขั้วบวก, anode หรือขั้วลบ และ electrode โดยภายใน electrode จะมี สาร electrolyte ที่ใช้สร้างประจุไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมีโดยประเภทของแบตเตอรี่มีพบเจอใน การแข่งขันรถสูตรนักศึกษา แบ่งตามลักษณะรูปร่างของแบตเตอรี่ได้ 3 แบบ คือ

1.1.3.1 แบบปริซึม (Prismatic)

มีขนาดเล็ก พลังงานที่ให้สูง รูปทรง Case ที่บรรจุอุปกรณ์เป็นทรงปริซึม ทำมาจากโลหะหรือพลาสติกแข็ง ชิ้นส่วนภายในจะประกอบซ้อนกันเป็นชั้น การนำไป ประกอบให้ได้ศักย์ไฟฟ้าตามที่ต้องการสามารถทำได้หลายแบบ เช่น การเชื่อมจุด (Spot welding) หรือ การใช้ busbar วางระหว่างขั้วแล้วนำเอาสกรูยึดเข้าด้วยกัน เป็นต้น นิยมใช้งานกับอุปกรณ์ที่มีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ เช่น โทรศัพท์มือถือ จักรยานไฟฟ้า

1.1.3.2 แบบซอง (Pouch)

เป็นรูปแบบที่ ณ ปัจจุบันทางเราเลือกใช้อยู่และเป็นส่วนที่ได้รับการสนับสนุน จาก บริษัท อมิตา เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด

สาเหตุที่ทีมเราเลือกใช้แบตเตอรี่จากทาง บริษัท อมิตา เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด เพราะว่า แบตเตอรี่มีความแตกต่างที่สำคัญ คือ ซองครอบตัวแบต 1 ซอง จะทำ จาก อลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการลามิเนตเคลือบผิวบนล่างด้วยโพลีเอทิลีน ซึ่งเป็นการ ออกแบบเพื่อความปลอดภัย และข้อดีที่สำคัญของแบตเตอรี่แบบซอง คือ น้ำหนักเบา และมีความสามารถในการจัดเรียงตัวได้ง่ายเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่นๆ

1.1.3.3 แบบทรงกระบอก (Cylinder)

แบตเตอรี่ทรงกระบอกที่เราเคยใช้งานเป็นแบตเตอรี่ที่มีส่วนผสมทางเคมีเป็น Lithium-nickel manganese-cobalt (NMC) โดยจุดประสงค์ที่ไม่เลือกเนื่องจาก ถึงแม้ จะมีความเหมาะสมในด้านการใช้งานไม่ว่าจะเป็น ด้านเทคนิค,และค่าใช้จ่าย สามารถดู การเปรียบเทียบความเหมาะสมได้จาก รูป 2.2.1B แต่ยังมีขั้นตอนการแพ็คแบตเตอรี่ที่ยังไม่มีความปลอดภัยมากนัก ซึ่งเราเคยได้พบปัญหาเกี่ยวกับการแพ็คแบตเตอรี่ที่ยังไม่ได้ ประสิทธิภาพและไม่เหมาะสมที่จะนำไปแข่งขันเนื่องจากยังไม่มีความปลอดภัยในด้านการใช้งานจริง

1.1.4 แบตเตอรี่ที่เลือกใช้



รูปที่ 1.1 แบตเตอรี่แบบซอง ของบริษัท อมิตา เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด

<https://www.amitatech.com>

Battery Specification from Amita Technology (Thailand) Co., Ltd.

1. GENERAL SPECIFICATION

- Battery Type: Lithium Polymer rechargeable cell
- Safety Design: Ceramic coated separator.
- Shape: Pouch
- Model No: 120155250NH (NH-04)

2. RATINGS

- Standard Charge/Discharge Capacity
 - Typical Capacity: 50Ah
 - Minimum Capacity: 49Ah
- Nominal Voltage: 3.70 V (from 4.20V to 2.8V)
- Voltage: 4.20 V \pm 0.05V
- Charging Method: CC-CV (constant voltage with limited current or time)
- Charge Current
 - Standard charge: 9.8A (0.2C)
 - Max. Continuous Charge: 196A
- Charge Time
 - Standard charge: 5~6 hours

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Max. Continuous Charge: 15~20 min

- Discharge Cut-off Voltage: 2.8V \pm 0.10V
- Discharging Method: CC (constant current)
- Discharge Current

Standard Discharge: 9.8A (0.2C)

Max. Continuous Discharge: 196A

Peak Discharge (5sec @ 50% SOC): 336A

- Initial Internal Resistance: < 0.8 m, 25°C
- Energy (Wh): 185 Wh
- Energy Density (Volumetric): 4approx.. 397.8 Wh/l
- Energy Density (Gravimetric): 4approx.. 199 Wh/kg
- Cell Weight: <930 g

1.1.5 หลักการทำงานของรถยนต์ไฟฟ้าสูตรนักศึกษาของทีมเรา (วงจรถ่ายงาน)

Flow Chart : Tractive System



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ไปถึงมอเตอร์

Battery	BMS	Controller	Brushless DC Motor
เป็นแหล่งพลังงานจ่ายไฟให้แก่สตาร์ทเตอร์	คอยตรวจสอบระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ให้อยู่ในช่วงการทำงาน ของแบตเตอรี่มาตรฐาน 2.8 – 3.8 VDC เพื่อให้ระดับแรงดันไฟฟ้าภายใน เซลล์แบตเตอรี่ในแต่ละ เซลล์ของระบบ มีค่า เท่ากันและใกล้เคียงกัน มากที่สุด ในขณะที่ใช้งาน และ ชาร์จ	ควบคุมและจัดการแรงบิด ความเร็ว งานหรือพลังงาน ที่ส่งออกมา ขึ้นอยู่กับการ ใช้งานของมอเตอร์ ตัว ควบคุมมอเตอร์อาจมี คุณสมบัติมากมายในการ ควบคุมมอเตอร์ ซึ่งอาจ รวมไปถึงแต่ไม่ถึงจำกัด เฉพาะการเริ่มทำงาน การ ป้องกันกระแสเกิน การ ป้องกันฉลุดเกิน การ หมุนกลับ การเปลี่ยน ความเร็ว	มีหน้าที่”เปลี่ยนพลังงาน ไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล” โดยขดลวดสเตเตอร์ได้รับ พลังงานไฟฟ้า และเกิดการ เหนียวนำสนามแม่เหล็ก ไฟฟ้าเป็นผลให้โรเตอร์ หมุน

ตารางที่ 1.1 แสดงคำอธิบายการทำงานของแต่ละอุปกรณ์จากรูปที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.6 กฎความปลอดภัยของรถยนต์ไฟฟ้าสำหรับนักศึกษา

อ้างอิงจาก Formula SAE Rules 2023 (Version 2.0, 7 Nov 2022) (ครอบคลุมเรื่อง ไฟฟ้า + cooling in accumulator)

F.10.2 External Structure

F.10.2.1 The Floor or Bottom must be made from one of the three:

- a. Steel 1.25 mm minimum thickness
- b. Aluminum 3.2 mm minimum thickness
- C. Equivalent Alternate / Composite materials (F.4.1, F.4.3)

F.10.2.2 Vertical Walls, Covers and Lids must be made from one of the three:

- a. Steel 0.9 mm minimum thickness
- b. Aluminum 2.3 mm minimum thickness
- C. Equivalent Alternate / Composite materials (F.4.1, F.4.3)

F.10.3.2 Sections

- a. Internal vertical walls divide the Accumulator Container into “Sections”
- b. A maximum of 12 kg is allowed in any Section
- c. Fastened connections between vertical walls around Sections containing 8kg or less must have a minimum of two fasteners
- d. Fastened connections between vertical walls around sections containing between 8 kg and 12 kg must have a minimum of three fasteners

Example: An Accumulator Container with 2 internal walls has 3 Sections. Each Section contains less than 8 kg. Therefore 18 floor to wall joints are required in total with minimum two fasteners per joint.

ซึ่งจากกฎเป็นการบอกขอบเขตในการออกแบบกล่องแบตเตอรี่ว่าการเลือกใช้วัสดุชนิดที่ไม่เหมือนกันจะต้องการความหนาของชิ้นวัสดุที่แตกต่างกันด้วย

ขอบเขตการออกแบบช่องเปิดระบายอากาศ

F.10.4.4 Holes and Openings for airflow:

- a. Must be round. Slots are prohibited

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b. Should be maximum 10 mm diameter

C. Must not have line of sight to the driver, with the Firewall installed or removed

F.10.4 Holes and Openings

F.10.4.1 The Accumulator Container(s) exterior or interior walls may contain holes or openings, see EV.5.3.4

F.10.4.2 Any Holes and Openings must be the minimum area necessary

F.10.4.3 Exterior and interior walls must cover a minimum of 75% of each face of the battery segments

จากกฎเป็นการบอกขอบเขตและช่องเปิดที่สามารถทำได้ในระบบการระบายความร้อนของกล่องแบตเตอรี่

EV.4 ELECTRICAL LIMITATIONS

EV.4.1 Power and Voltage

EV.4.1.1 The maximum power drawn from the Accumulator must not exceed 80 kW.

EV.4.1.2 The maximum permitted voltage that may occur between any two points must not exceed 600 V DC

EV.4.1.3 The powertrain must not regenerate energy when vehicle speed is between 0 and 5 km/hr

EV.6 ENERGY STORAGE

EV.6.1 Accumulator

EV.6.1.1 All cells or super capacitors which store the Tractive System energy are built into Accumulator Segments and must be enclosed in (an) Accumulator Container(s).

EV.6.1.2 Each Accumulator Segment must contain:

- Maximum static voltage of less than 120 V DC
- Maximum energy of 6 MJ

The contained energy of a stack is calculated by multiplying the maximum stack voltage with the nominal capacity of the used cell(s).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎจะระบุขอบเขตการออกแบบพลังงานและค่าความต่างศักย์ที่สามารถออกแบบได้ในกล่องแบตเตอรี่ทั้งหมดและในแต่ละส่วนของชุดแบตเตอรี่

EV.8.5 Accumulator Temperature

EV.8.5.1 The AMS must measure the temperatures of critical points of the Accumulator

EV.8.5.2 Temperatures (considering measurement accuracy) must remain below the lower of the two: The maximum cell temperature limit stated in the cell data sheet
60°C

EV.8.5.3 Cell temperatures must be measured at the negative terminal of the respective cell

EV.8.5.4 The temperature sensor used must be in direct contact with one of:

- The negative terminal itself
- The negative terminal busbar less than 10 mm away from the cell terminal

EV.8.5.5 For lithium based cells,

a. The temperature of a minimum of 20% of the cells must be monitored by the AMS

b. The monitored cells must be equally distributed inside the Accumulator Container(s) Every cell temperature should be monitored

จากกฎระบุว่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่แบตเตอรี่ได้สูงสุดเท่ากับความสามารถของแบตเตอรี่ที่ทนได้มากที่สุดหรือไม่เกิน 60 องศาเซลเซียสและถ้าใช้ลิเทียมไอออนเป็นเซลล์ในการจ่ายพลังงานจะต้องมีเซนเซอร์อย่างน้อยเท่ากับ 20% ของจำนวนเซลล์แบตเตอรี่ทั้งหมดซึ่งในรถสูตรนักศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนของแบตเตอรี่

1.2.2 เพื่อศึกษาการระบายความร้อนแบตเตอรี่โดยการใช้ลมให้มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับรถ Formula Student

1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางให้กับสมาชิกชมรมยานยนต์และผู้สนใจต่อไป

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ระบบระบายความร้อนช่วยลดอุณหภูมิแบตเตอรี่ที่เกิดขึ้นได้

1.3.2 ตำแหน่งของพัดลมมีผลต่อการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1.4.1 ศึกษากระบวนการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในกล่องแบตเตอรี่
- 1.4.2 ออกแบบและพัฒนาระบบการระบายความร้อนของแบตเตอรี่ ให้กับรถแข่งสูตรนักศึกษาของชมรมยานยนต์ โดยอ้างอิงจากกติกาการแข่งขันรถแข่งสูตรนักศึกษา
- 1.4.3 ทดสอบระบบระบายความร้อนภายในชุดแบตเตอรี่และภายนอกชุดแบตเตอรี่ 4 ตำแหน่งที่เราสนใจ ตำแหน่งที่1 ขั้วบวกโมดูล4, ตำแหน่งที่2 Relay in, ตำแหน่งที่ 3 Relay out และตำแหน่งที่ 4ขั้วบวกโมดูล2

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.5.1 การเตรียมชุดแบตเตอรี่และชุดพัดลมสำหรับการระบายความร้อน
- 1.5.2 การหาความแตกต่างของความร้อนที่เกิดขึ้น
- 1.5.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผล

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทดลอง

- 1.6.1 สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปออกแบบการจัดวางตำแหน่งของพัดลมเพื่อให้สามารถระบายความร้อนของแบตเตอรี่ให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด
- 1.6.2 ได้เรียนรู้การใช้การแบบจำลองให้ได้ผลที่แม่นยำหรือใกล้เคียงกับการทดลองจริง

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรม

2.1.1 Design of a Battery Pack for a Formula SAE Racing Car [10]

ข้อมูล ในบทแรกจะมีการกล่าวถึง รายการแข่งขันว่ามีรายการดังนี้

Internal Combustion Engine Vehicles (CV)

Electric Vehicles (EV)

Driverless Vehicles (DV)

ซึ่งทีมของมหาลัย POLITECNICO DI TORINO ได้ส่งเข้าแข่งขันในรายการ Electric Vehicles (EV) และยังคงกล่าวถึง Technical Inspection ว่าก่อนที่จะนำรถไปลงวิ่งต้องผ่านการตรวจสอบอะไรก่อนโดยรายการแข่งขันรถสูตรนักศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Static & Dynamic Events และในแต่ละส่วนก็จะแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆอีก

บทที่สองนี้จะเป็นการบอกสาเหตุที่ต้องเป็นอุปกรณ์/ระบบ บางอย่างในรถ เนื่องจากปี ค.ศ. 2018 ทางทีมได้เจอปัญหาเกี่ยวกับความรู้เรื่อง Regenerative braking เพราะฉะนั้นในปี ค.ศ. 2019 ทางทีมจึงได้เรียนรู้และลองทำตัวระบบ Regenerative braking ขึ้นมารวมถึงอ้างอิงกับ กฎที่ระบุไว้ว่า พลังงานรวมทั้งหมด ห้ามเกิน 60 MJ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ห้ามเกิน 600 VDC จากนั้นจะแสดงการคำนวณ กระแส , ความต่างศักย์ จากสูตร

$$\Delta V = RI = R \frac{P}{V} = 68,9 \text{ โวลต์}$$

$$I = \frac{P}{V - \Delta V} = 156,5 \text{ แอมป์}$$

จากอุปกรณ์ จะทราบค่า $R = 0.5$ โอห์ม

$$P = 80,000 \text{ W}$$

$$V = 580 \text{ โวลต์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

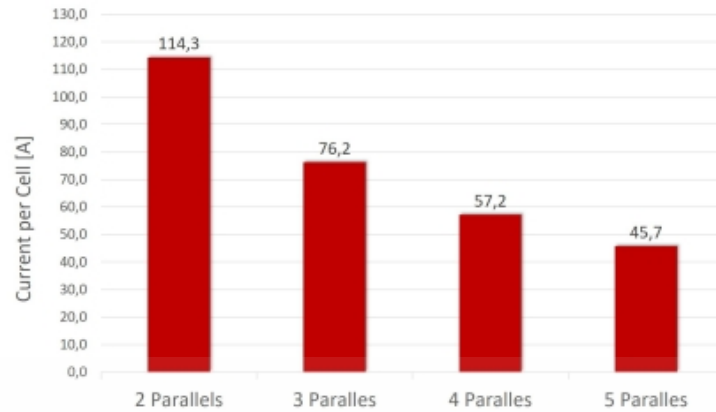


Figure 2.4: Worst case scenario: peak current per cell

รูปที่ 2.1 กราฟการต่อแบบจำนวน n ขนานซึ่งถูกจำกัดโดยจำนวนของ BMS [9]

บทที่สามจะเป็นเรื่อง การเลือกใช้เซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งเซลล์มีความแตกต่างกันทั้งในรูปร่างและส่วนประกอบทางเคมี ดังรูป

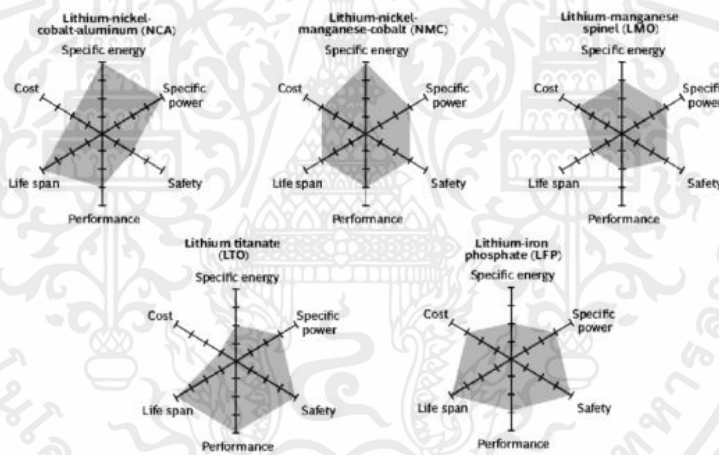
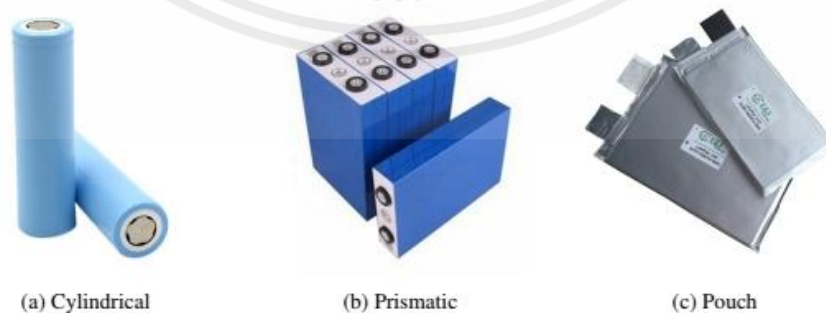


Figure 3.1: Li-ion comparison [6]

รูปที่ 2.2 รูปแสดงส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของเซลล์แบตเตอรี่ [9]



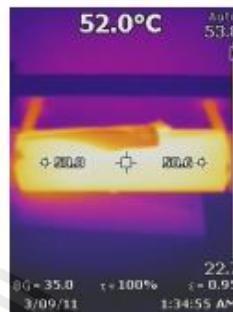
รูปที่ 2.3 รูปภาพรูปร่างของแบตเตอรี่ที่แตกต่างกัน [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ Pouch โดยทั่วไปเป็น Li-Po น้ำหนักเบา ไม่ต้องมีอุปกรณ์ครอบเซลล์(rigid case) และรูปแบบการจัดวางแบตเตอรี่รวมถึงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ภายในกล่องแบตเตอรี่จะจัดวางได้ง่ายและใช้ปริมาณพื้นที่ภายในรถสูตรนักเรียนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับทั้ง 3 แบบ



(a) Battery analyser



(b) Thermal camera

รูปที่ 2.4 การทำการทดลองและสังเกตความร้อนที่ตัวแบตเตอรี่ [9]

2.2.2 Modelling of battery cooling for Formula Student application 3D

Simulation of air - cooled lithium-ion battery with COMSOL

Multiphysics®, applied on 2016 years KTH Formula Student car “EV12e”. [5]

ในส่วนแรกจะพูดถึงการแข่งขันรถสูตรนักเรียนในปี ค.ศ. 2015 โดยรายการแข่งที่จะแสดงศักยภาพรถในทุกๆส่วนของรถจะอยู่ใน Dynamic Events ในส่วนของ Endurance ซึ่งงานวิจัยนี้ได้พร้อมค่าความต่างศักย์, กระแสและเวลาตอนการแข่งขันที่มีระยะทาง 22 กิโลเมตร

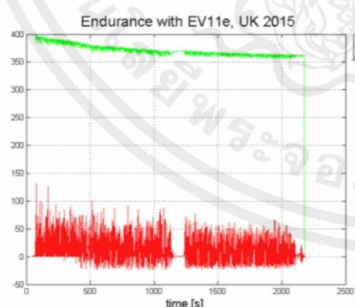


Figure 2 Logged data endurance FSUK with current and voltage

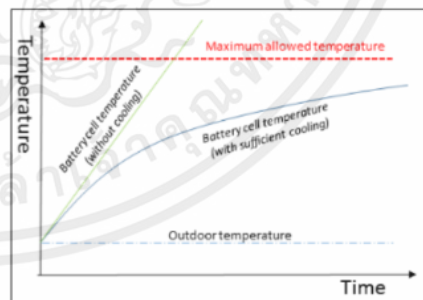


Figure 4, schematic diagram of battery temperature

รูปที่ 2.5 กราฟแสดงค่าความต่างศักย์,กระแสไฟฟ้าและตลอดเวลาการแข่งขัน endurance [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameters	Input value for EV12e (Some assumed)
Maximum battery temperature	65°C (Critical temperature) [Appendix i]
Race time, 22km endurance	25 minutes (Placing 3 in endurance [4])
Outdoor temperature	25°C (Italy summer)
Battery capacity	6,3 KWh (Maximum capacity)
Drive cycle	Driving cycle from FSUK 2015 (Real logged data)
Battery geometry	CAD from KTH Formula student for EV12e (figure 5)

Table 1, Initial parameters for simulations

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าตัวแปรต่างๆก่อนนำไปเข้าแบบจำลอง [5]

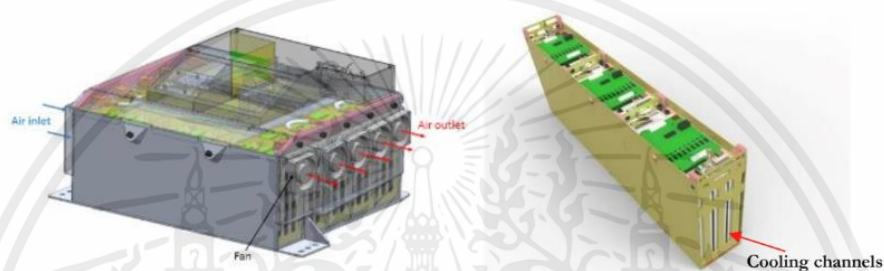


Figure 5: (to left) battery package for EV12e. (Right) Battery stacks with 54 lithium-ion cells

รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางการไหลของอากาศ [5]

ซึ่งจากงานวิจัยนี้กระบวนการคำนวณมี 3 รูปแบบ

1. ความร้อนจากปฏิกิริยาเคมี
2. ความร้อนที่ขั้ว
3. กฎความร้อนของ Joule

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการคำนวณแค่ 2 รูปแบบโดย ความร้อนจากปฏิกิริยาเคมี จะไม่นำมาคำนวณ

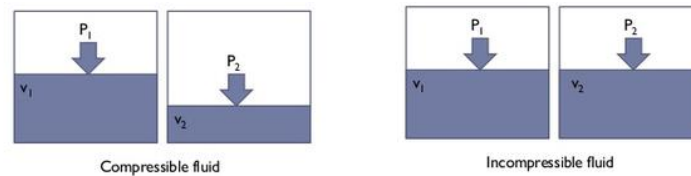
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ทฤษฎีของไหลพื้นฐาน

2.2.1.1 ของไหล

ของไหล คือ สารหรือสสารที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างไปตามภาชนะที่บรรจุได้ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ของเหลวและแก๊ส โดยความแตกต่างของสสาร 2 ชนิดนี้คือ ของเหลวจะทำให้เกิดการอัดตัวได้ยากกว่าแก๊สเนื่องจากมีโมเลกุลที่ใหญ่กว่า ความอิสระในการเคลื่อนที่จึงน้อยตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบของที่อัดตัวได้และอัดตัวไม่ได้

<https://www.quora.com/>

นิยามการเคลื่อนที่ของของไหลที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับเวลาที่เปลี่ยนไปจะเรียกว่า อัตราการไหล ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ อัตราการไหลเชิงมวล และอัตราการไหลเชิงปริมาตร โดยมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\dot{m} = \rho Q = \rho \dot{V} \text{ และ } Q = Av$$

โดยที่ \dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวล

Q, \dot{V} = อัตราการไหลเชิงปริมาตร

ρ = ความหนาแน่นของของไหล

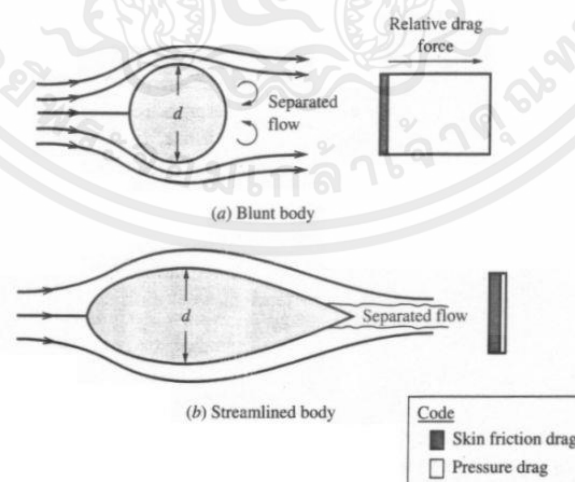
A = พื้นที่หน้าตัดที่ของไหลเคลื่อนที่ผ่าน

v = ความเร็วของไหล

เมื่ออนุภาคของของไหลมีการเคลื่อนที่ สิ่งที่จะตามมาด้วยก็คือโมเมนตัมและพลังงานของของไหลที่สะสมอยู่ในของไหลทุกชนิด

2.2.1.2 Streamline

คือ เส้นที่ลากผ่านเวกเตอร์ความเร็วตามแนวการไหลของอนุภาคของของไหลตลอดแนวการเคลื่อนที่ รูปร่างและลักษณะของเส้นนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุที่ของไหลนั้นเคลื่อนที่ผ่าน



รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างของเส้น Streamline ที่เกิดขึ้น

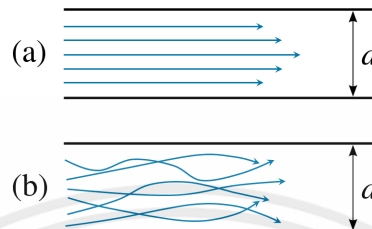
<https://www.todayifoundout.com/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 Laminar Flow And Turbulent Flow

Laminar Flow หรือ การเคลื่อนที่แบบราบเรียบ คือ การเคลื่อนที่ของของไหลที่เป็นระเบียบ มีแนวเส้น Streamline แต่ละเส้นที่ขนานกันตามแนวทิศทางเดียวกัน

Turbulent Flow หรือ การเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน คือ การเคลื่อนที่ของของไหลที่ไม่มีระเบียบแบบแผน มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา



รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการเคลื่อนที่ของของไหลในท่อ

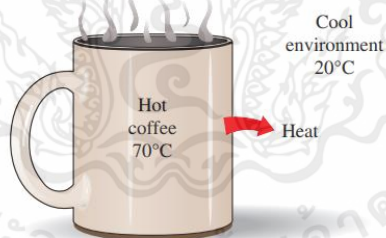
โดยที่ (a) Laminar Flow (b) Turbulent Flow

<https://www.simscale.com>

วิธีคิดว่าเป็นการไหลแบบใด ให้ดูที่ค่า Reynold Number ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุที่ไหลผ่าน

2.2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนพื้นฐาน

คือ อัตราการถ่ายเทพลังงานจากระบบหนึ่งที่มีอุณหภูมิสูงไปยังอีกระบบที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เมื่ออุณหภูมิของทั้งสองระบบมีค่าเท่ากัน กระบวนการถ่ายเทพลังงานจะสิ้นสุดลง



รูปที่ 2.10 การถ่ายเทความร้อนของแก้วกาแฟร้อนไปยังอากาศโดยรอบ[1]

2.2.2.1 ความร้อนจำเพาะของสาร

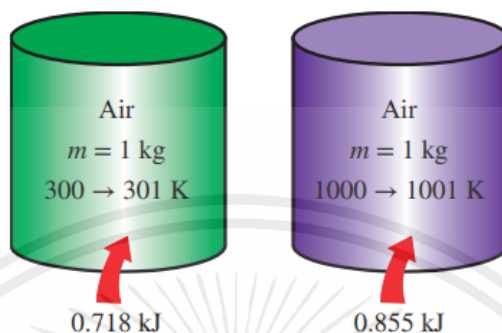
คือ พลังงานที่ทำให้สาร 1 หน่วยมวล มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา

จำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ค่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ แทนด้วยตัวแปร c_v
2. ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ แทนด้วยตัวแปร c_p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป ค่าความร้อนจำเพาะของสารจะขึ้นอยู่ค่าคุณสมบัติของสาร 2 ค่า คือ อุณหภูมิและความดันของสาร ณ ขณะนั้น และที่ความดันต่ำมากๆ แก๊สทุกชนิดจะประมาณค่าคุณสมบัติเป็นแก๊สในอุดมคติทั้งหมด ค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สในอุดมคติจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการแสดงค่าความร้อนจำเพาะของสาร[1]

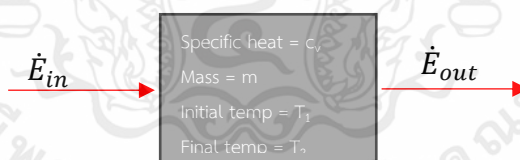
ความสัมพันธ์ของความร้อนจำเพาะของสารกับพลังงานภายใน (u) และเอนทัลปี (h)

$$\Delta u = c_{v,avg} \Delta T$$

$$\Delta h = c_{p,avg} \Delta T$$

2.2.2.2 สมดุลพลังงานสำหรับระบบปิด

พลังงานที่ให้กับระบบ ถูกเก็บอยู่ในรูปพลังงานภายในของระบบ ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์



รูปที่ 2.12 ระบบปิด [1]

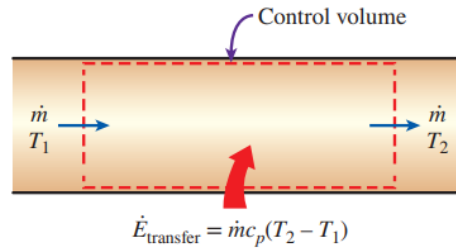
Stationary closed system

$$E_{in} - E_{out} = \Delta U = Q = mc_v \Delta T$$

2.2.2.3 สมดุลพลังงานสำหรับระบบที่สถานการณ์ไหลคงที่

ปริมาตรควบคุม (Control Volume) คือ การไหลเข้า – ออกของ working fluid ที่เคลื่อนที่ผ่านระบบที่มีการแลกเปลี่ยนพลังงาน การวิเคราะห์ระบบภายใต้ปริมาตรควบคุมนั้น จะกำหนดให้ของไหลไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 Steady state in control volume [1]

จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ทำให้ได้สมการการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในปริมาตรควบคุมเป็นดังนี้

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \dot{m}\Delta h = \dot{Q} = \dot{m}c_p\Delta T$$

$$\dot{m} = \rho V A_c$$

โดยที่ \dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวล

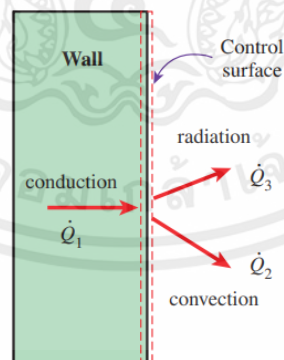
ρ = ความหนาแน่นของสาร

A_c = พื้นที่ที่ตัดฉากกับการไหลของของไหล

V = ความเร็วของของไหล

2.2.2.4 สมดุลพลังงานพื้นผิว

ที่พื้นผิวไม่มีทั้งปริมาตรและมวล ทำให้ไม่มีการกักเก็บพลังงานไว้บนพื้นผิว เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นผิวนั้น เปรียบเสมือนกับการเปลี่ยนสารที่ใช้ถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 2.14 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิว [1]

จากรูป เขียนสมการสมดุลพลังงานได้

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ทฤษฎีกลไกการถ่ายเทความร้อน

2.2.3.1 การนำความร้อน

คือ การถ่ายเทพลังงานจากอนุภาคหรือสสารที่มีพลังงานสูงกว่าไปยังอนุภาคหรือสสารที่มีพลังงานที่ต่ำกว่า การนำความร้อนสามารถเกิดได้ทั้งในของแข็ง ,ของเหลว และแก๊ส กรณีของเหลวและแก๊สการนำความร้อนจะเกิดขึ้นผ่านการชนกันและการเคลื่อนที่แบบสุ่มที่กระจัดกระจายไปทุกทิศทางของโมเลกุล

อัตราการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับรูปร่าง ,ความหนา และวัสดุที่ความร้อนไหลผ่าน

Combine one-Dimensional Heat Conduction Equation

$$\frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^n k \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \dot{e}_{gen} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

โดยที่ $n = 0$ สำหรับกำแพง

$n = 1$ สำหรับทรงกระบอก

$n = 2$ สำหรับทรงกลม

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

2.2.3.2 การพาความร้อน

คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของของแข็งกับของเหลวหรืออากาศ ที่มาจากการผลการนำความร้อนและการเคลื่อนที่ของของไหล ยิ่งของไหลเคลื่อนที่เร็วมากเท่าไร การพาความร้อนย่อมดีตามไปด้วย

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (\text{W})$$

โดยที่ h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

A_s = พื้นที่ผิวที่เกิดการถ่ายโอนความร้อน

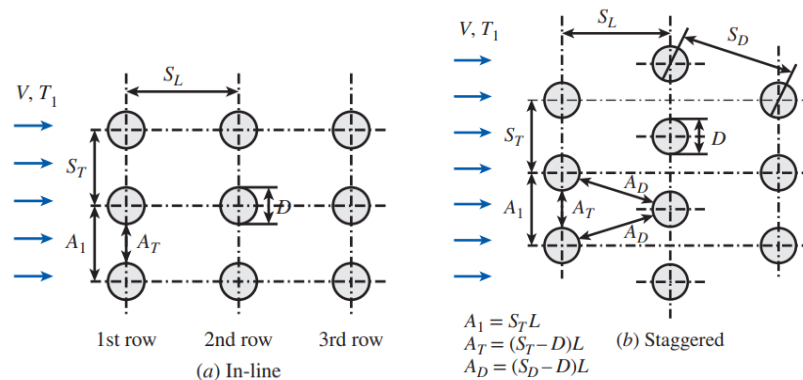
T_s = อุณหภูมิที่ผิว

T_∞ = อุณหภูมิโดยรอบ

2.2.3.3 Flow across tube bank

คือ การถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ไหลอยู่ในกลุ่มท่อ ถูกใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนตามชีวิตประจำวัน เช่น หมอน้ำในรถยนต์ โดยการเรียงตัวของท่อจะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบ In-line และแบบ Staggered

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 รูปแบบการวางท่อ (a) In-lined (b) Staggered [1]

โดยความเร็วสูงสุดที่เกิดขึ้น จะเกิดระหว่างท่อ โดยหากจากสูตรอัตราการไหลเชิงปริมาตร ซึ่งจะมีค่าเท่ากันตลอดการไหล หาได้จาก

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V \quad \text{สำหรับ In-line}$$

$$V_{max} = \frac{S_T}{2(S_D - D)} V \quad \text{สำหรับ Staggered}$$

2.2.3.4 Renolds Number

คือ ตัวแปรไร้มิติค่าหนึ่งที่เกิดจาก อัตราส่วนของแรงเฉื่อย(Inertia Force)กับแรงหนืด(Viscous Force) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการไหลของของไหลนั้นเป็นแบบว่า Laminar Flow หรือ Turbulent Flow โดยค่าที่มากที่สุดที่ทำให้การไหลนั้นเป็นแบบ Laminar Flow จะเรียกว่า Critical Reynolds Number ซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปร่าง และเงื่อนไขของการไหล หาได้จาก

$$Re_D = \frac{\rho V_{max} D}{\mu} = \frac{V_{max} D}{\nu}$$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่นของของไหล

ν = ความเร็วสูงสุดที่เกิดขึ้น

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

2.2.3.5 Nusselt Number

อัตราส่วนของอัตราการพาความร้อนต่อการนำความร้อนของชั้นของไหลที่อยู่ระหว่างผิว หาได้จาก

$$Nu_D = \frac{hD}{k} = C Re_D^m Pr^n \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0.25}$$

โดยที่ h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

Pr = ค่า Prants Number

ซึ่งค่า C, m, n เป็นค่าคงที่ซึ่งต้องนำไปเทียบกับสูตรในตาราง เพื่อหาค่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h)

TABLE 7-2		
Nusselt number correlations for crossflow over tube banks for $N_L > 16$, $0 < Re_D < 2 \times 10^6$ and $0.7 < Pr < 500^*$		
Arrangement	Range of Re_D	Correlation
In-line	0–100	$Nu_D = 0.9 Re_D^{0.4} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	100–1000	$Nu_D = 0.52 Re_D^{0.5} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	1000– 2×10^5	$Nu_D = 0.27 Re_D^{0.63} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	2×10^5 – 2×10^6	$Nu_D = 0.333 Re_D^{0.8} Pr^{0.4} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
Staggered	0–500	$Nu_D = 1.04 Re_D^{0.4} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	500–1000	$Nu_D = 0.71 Re_D^{0.5} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	1000– 2×10^5	$Nu_D = 0.35 (S_r/S_L)^{0.2} Re_D^{0.6} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$
	2×10^5 – 2×10^6	$Nu_D = 0.031 (S_r/S_L)^{0.2} Re_D^{0.8} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$

ตารางที่ 2.2 ค่า Nusselt Number ของการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Flow across tube bank [1]

จากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาความร้อนที่เกิดขึ้นได้จาก

$$\dot{Q} = hA_s \Delta T_{lm} = \dot{m} c_p (T_e - T_i)$$

$$\text{และ } \Delta T_{lm} = \frac{(T_s - T_e) - (T_s - T_i)}{\ln [(T_s - T_e)/(T_s - T_i)]} = \frac{\Delta T_e - \Delta T_i}{\ln (\Delta T_e / \Delta T_i)}$$

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp\left(-\frac{A_s h}{\dot{m} c_p}\right)$$

โดย \dot{Q} = อัตราความร้อนที่เกิดการแลกเปลี่ยน

\dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวล

A_s = พื้นที่ผิวท่อ

T_s = อุณหภูมิที่ผิวท่อ

T_i = อุณหภูมิขาเข้า

T_e = อุณหภูมิขาออก

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

c_p = ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่

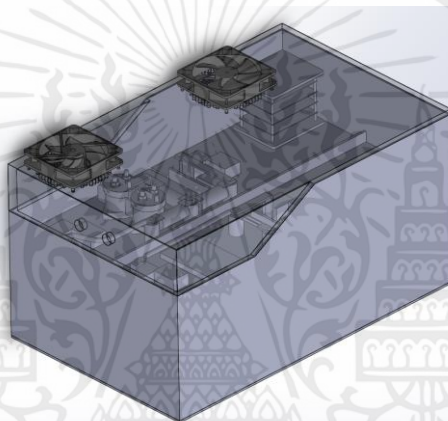
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งจะเริ่มจากการออกแบบรูปร่างและลักษณะการจัดวางพัดลมด้วยข้อจำกัดที่มี เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามข้อกำหนดของการแข่งขันรถสูตรนักศึกษา โดยจะใช้ระเบียบโปรแกรม TSAE BMS ของทางบริษัท อีซียู ซ็อบ จำกัดที่ติดมากับตัว Master BMS มาวิเคราะห์ตัวแปรดังต่อไปนี้ อุณหภูมิ ค่าความต่างศักย์ กระแสและเวลา จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ จากการทดสอบเพื่อดูว่าการออกแบบระบายความร้อนที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 3.1 แสดงจำลองตำแหน่งติดตั้งพัดลม



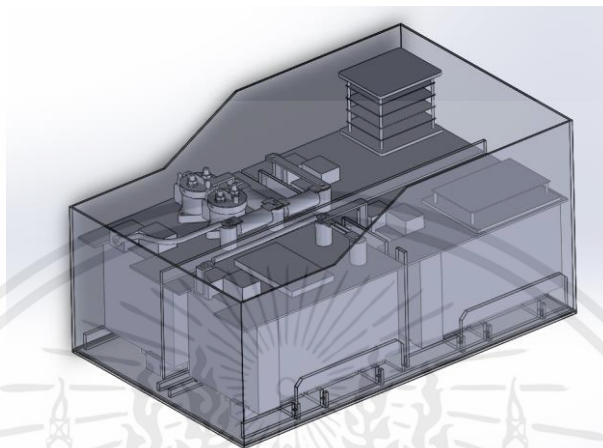
รูปที่ 3.2 ขณะทำการทดลองดึงพลังงานออกจากตัวแบตเตอรี่

การทำการทดลองดึงพลังงานออกจากตัวแบตเตอรี่ทั้งหมด เพื่อดูความร้อนที่เกิดขึ้น ณ จุดที่เราสนใจโดยเราจะทำการดึงพลังงานออกจากแบตเตอรี่จนกว่าพลังงานจะต่ำกว่าย่านการใช้งานของมอเตอร์ ย่านการใช้งานของมอเตอร์อยู่ที่ 60-92.4 โวลต์ ซึ่งแบตเตอรี่ทั้งหมดเรามีค่าความต่างศักย์อยู่ที่ 75.6 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลต์ เราจะทำการดึงพลังงานออกมาจนเหลืออยู่ที่ 60 โวลต์ และเก็บค่าผลการทดลอง ค่าที่ได้จากผลการทดลองจะถูกเก็บมาจาก 2 อุปกรณ์ 1. Data Logger 2. Master Board BMS

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าสำหรับนักศึกษาและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 Accumulator



รูปที่ 3.3 Accumulator

ประกอบด้วย

- Battery Pack เป็นแหล่งพลังงานให้กับมอเตอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆในระบบไฟฟ้าแรงดันสูง
- Fuse เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่อกระแสไฟฟ้ามากเกินไปที่กำหนด
- Contractor Relay เป็นแม่เหล็กคอยล์สวิตช์ที่สั่งให้มีการจ่ายกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**KILOVAC EV200 Series Contactor With 1 Form X (SPST-NO)
Contacts Rated 500+ Amps, 12-900 Vdc**

Product Facts

- Designed to be the smallest, lightest weight, lowest cost sealed contactor in the industry with its current rating (500+A carry, 2000A interrupt at 320VDC)
- Built-in coil economizer — only 1.7W hold power @ 12VDC and it limits back EMF to 0V. Models requiring external economizer also available
- Optional auxiliary contact for easy monitoring of power contact position
- Hermetically sealed — intrinsically safe, operates in explosive/harsh environments with no oxidation or contamination of coil or contacts, during long periods of non-operation
- Versatile coil/power connections
- UL Recognized for the U.S. and Canada (File E208033) All contact ratings & coil versions may not be UL Recognized
- CE marked for EC applications
- AIAG QS9000 designed, built and approved
- RoHS versions available



EV200 Series Contactor (CZONKA Relay, Type)

Coil Operating Voltage (Valid Over Temperature Range)			
Voltage (Will Operate)	9-36VDC	32-95VDC	48-95VDC
Voltage (Max.)	36VDC	95VDC	95VDC
Pickup (Close) Voltage Max.	9VDC	32VDC	48VDC
Hold Voltage (Min.)	7.5VDC	22VDC	34VDC
Dropout (Open) Voltage (Min.)	6VDC	18VDC	27VDC
Inrush Current (Max.)	3.8A	1.3A	0.7A
Holding Current (Avg.)	0.13A @ 12V, 0.07A @ 24V	0.03A @ 48V	0.02A @ 72V
Inrush Time (Max.)	130ms	130ms	130ms

Ordering Information

Typical Part Number ► **EV200 A A A N A**

Series:
EV200 = 500+ Amp, 12-900VDC Contactor

Contact Form:
A = Normally Open
H = Normally Open with NO Aux. Contacts
G = Normally Open with NC Aux. Contacts ⁴

Coil Voltage:
A = 9-36VDC (1 = requires external coil economizer)
D = 32-95VDC (2 = requires external coil economizer)
J = 48-95VDC (3 = requires external coil economizer)
R = 28VDC with Mechanical Economizer

Coil Wire Length:
A = 15.3 in (390 mm)

Coil Terminal Connector:
N = None
C = Molex Mini-fit Jr, 2 Skt, Female 18-24, P/N 39-01-2020 & 39-00-0060 +red is pin 1 (A length only)

Mounting & Power Terminals:
A = Bottom Mount & Male 10mm x M8 Terminals

Performance Data

Contact Arrangement, Power Contacts — 1 Form A (SPST-NO)
Rated Operating Voltage — 12 – 900 VDC
Continuous (Carry) Current, Typical — 500 A @ 85°C, 400 mcm conductors
Consult Factory for required conductors for higher (500+ A) currents
Make/Break Current at Various Voltages 1 — See graph next page
Break Current at 320VDC 1 — 2,000 A, 1 cycle³
Contact Resistance, Typ. (@200A) — 0.2 mohms
Load Life — See graph next page
Mechanical Life — 1 million cycles
Contact Arrangement, Auxiliary Contacts — 1 Form A (SPST-NO)
Aux. Contact Current, Max. — 2A @ 30VDC / 3A @ 125VAC
Aux. Contact Current, Min. — 100mA @ 8V
Aux. Contact Resistance, Max. — 0.417 ohms @ 30VDC / 150 ohms @ 125VAC
Operate Time @ 25°C — Close (includes bounce), Typ. — 15 ms
Bounce (after close only), Max. — 7 ms
Release (includes arcing), Max @ 2000A — 12 ms
Dielectric Withstanding Voltage — 2,200 Vrms @ sea level (leakage <1mA)
Insulation Resistance @ 500VDC — 100 megohms²
Shock, 11ms 1/2 Sine, Peak, Operating — 20 G
Vibration, Sine, 80-2000Hz., Peak — 20 G
Operating Ambient Temperature — -40°C to +85°C
Weight, Nominal — .95 lb. (.43 kg)

Notes:
1 Main power contacts
2 50 at end of life
3 Does not meet dielectric & IR after test, 1700 amp for unit with Aux. Contacts
4 Meets IEC 60947-4-1 Annex F Mirror Contact

For factory-direct application assistance, dial 800-253-4560, ext. 2055, or 805-220-2055.



7
KILOVAC High Voltage DC Contactors

รูปที่ 3.4 แสดงข้อมูลต่างๆ ของ Contactor Relay

- Precharge เป็นอุปกรณ์ที่หน่วงกระแสไฟฟ้าขณะที่เกิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าในครั้งแรก เพื่อลดการกระชากของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายไปยัง Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 Battery Management System

เป็นชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้แต่ละเซลล์มีความสมดุลกันเมื่อมีการ Charge และ Discharge ประกอบด้วย 2 อุปกรณ์ คือ Main BMS And IMD และ BMS 14 Cell

1. Main BMS And IMD

- เป็นศูนย์กลางการควบคุม BMS ของแต่ละโมดูลของแบตเตอรี่
- เก็บค่าแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิจาก BMS ย่อยเพื่อนำมาบันทึกเป็นข้อมูล
- เมื่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ถึงค่าที่กำหนด จะสั่งตัดการจ่ายไฟทันที
- เมื่อวัดค่าความต่างศักย์ของขั้วบวกแบตเตอรี่กับโครงรถเกินค่าที่กำหนด จะสั่งตัดการจ่ายไฟทันที
- Specification
 - 12-30 VDC Power supply
 - 1 Can bus for connect to other device
 - 3 contractor drive
 - IMD – Insulation Monitoring Device up to 1000 volts



รูปที่ 3.5 Main BMS And IMD

2. BMS 14 Cell

- ควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแต่ละเซลล์แบตเตอรี่ในโมดูล
- เก็บค่าแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิจากเซลล์แบตเตอรี่เพื่อส่งข้อมูลไปยัง Main BMS ให้สั่งการต่างๆ
- Specification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power Supply	Self power from battery
Isolation	1500 VDC
PCBs Size	105x80 mm
Connectors	Direct connect to battery pack
Communication	CAN BUS
Digital Outputs	1 x Main Contractor
	1 x Precharge
Analog Inputs	2 x Pack Temperature
	1 x Load Volt
Cell Connections	14 Cell direct connect
Current Sensor Interface	On board R Shunt Max 300Ah

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูล BMS 14 Cell



รูปที่ 3.6 BMS 14 Cells

3.2.3 แบตเตอรี่ 12V

- ใช้สำหรับจ่ายกระแสไฟให้กับระบบ Shutdown Circuit และระบบระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่หลักและมอเตอร์ขับเคลื่อน



รูปที่ 3.7 แบตเตอรี่ 12V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 พัดลมขนาด 120 มิลลิเมตร

- *Specification*

ITEM	DESCRIPTION
Brand	DELTA ELECTRONICS.INC.
Model	AFB1212VH NT747 – A00
Voltage	12 VDC
Input Current	0.60A
Input Power	7.20 Watts
Speed	3000 R.P.M
Air Volume Flow Rate	80.73 CFM

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลพัดลมที่ใช้ในระบบระบายความร้อน



รูปที่ 3.8 แสดงพัดลมที่ใช้ในระบบระบายความร้อน

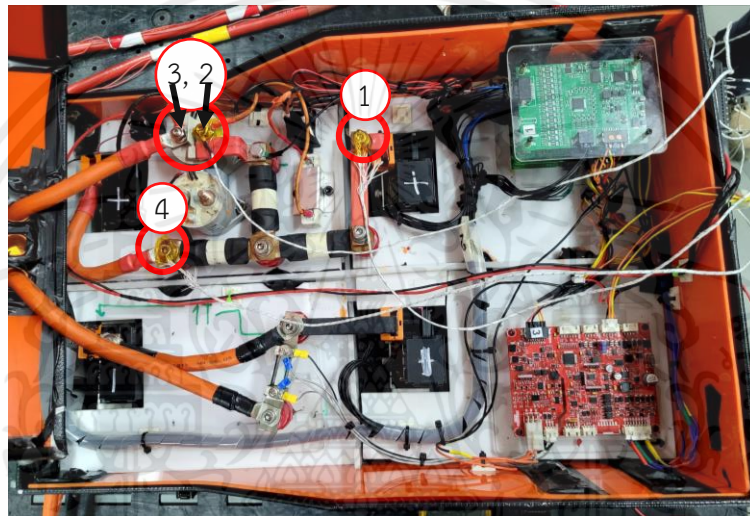
3.2.5 Data Logger

- เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เราสนใจ ในที่นี้จะมีทั้งหมด 4 จุด คือ
 1. ขั้วบวกของโมดูลแบตเตอรี่ที่ 4
 2. ขั้ว *Contactor Relay* ขาเข้า
 3. ขั้ว *Contactor Relay* ขาออก
 4. ขั้วบวกของโมดูลแบตเตอรี่ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 Data Logger



รูปที่ 3.10 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลทั้ง 4 ตำแหน่ง

3.2.6 เครื่องวัดความเร็วอากาศ (Air Flow Meter)

- ใช้สำหรับวัดความเร็วลมที่เกิดในกล่อง Accumulator ในบริเวณจุดที่เราสนใจ



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

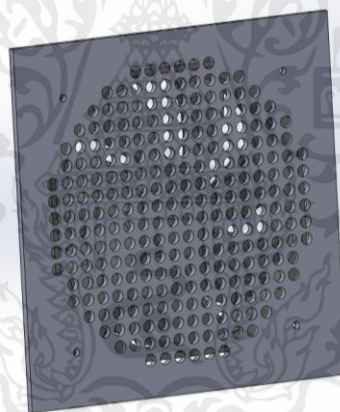
3.3 ออกแบบระบบระบายความร้อนและรูปแบบการติดตั้งชุดพัดลมในรถยนต์ไฟฟ้าสูตรนักศึกษา

จากกฎการแข่งขัน FSAE ได้ระบุไว้ว่า การทำช่องเปิดค้ำไว้ ต้องเป็นช่องวงกลม ไม่ควรทำเป็น slot รูวงกลมควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด 10 มิลลิเมตร และพื้นที่ที่เหลือจากการทำช่องว่างที่เปิดค้ำไว้ต้องมีค่ามากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นด้านที่ทำช่องว่าง คำนวนหาพื้นที่ที่สามารถทำช่องว่างให้ได้มากที่สุด จากฝากล่องขนาด 400x636 ตารางมิลลิเมตร

$$\begin{aligned} \text{Maximum Area of Hole} &= \frac{1}{4} \times \text{Cover Area} \\ &= \frac{1}{4} \times 400 \times 636 \\ &= 63600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3.3.1 ออกแบบตะแกรงสำหรับติดตั้งพัดลม

ในงานวิจัยนี้จะใช้พัดลมขนาด 120 mm จำนวน 2 ตัว เพื่อดูทิศทางของกระแสลมเมื่อผ่านอุปกรณ์ต่างในชุดควบคุมแบตเตอรี่ กำหนดให้รูที่เจาะเพื่อให้ลมผ่านจากพัดลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ออกแบบเพื่อให้ได้พื้นที่มากที่สุด



รูปที่ 3.12 ตะแกรงลม

คำนวณพื้นที่ที่ใช้สำหรับทำรูตะแกรง

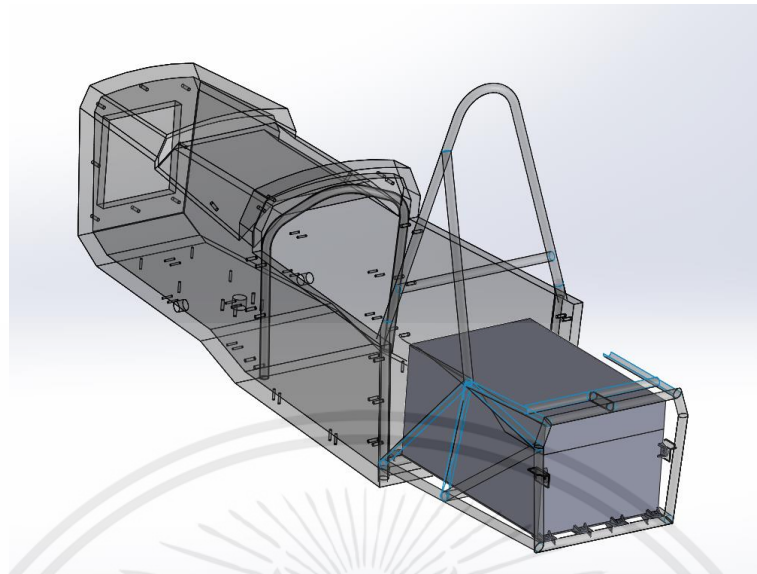
$$\text{Sieve Area} = n \frac{\pi}{4} D^2$$

โดยที่ $n = 256$ รู , $D = 5$ mm

คำนวณออกมาได้พื้นที่รูเจาะเท่ากับ 5026.55 ตารางมิลลิเมตรต่อพัดลม 1 ตัว เพราะฉะนั้น พัดลมทั้งหมด 2 ตัว จะได้พื้นที่ทั้งหมด 10053.1 ตารางมิลลิเมตร

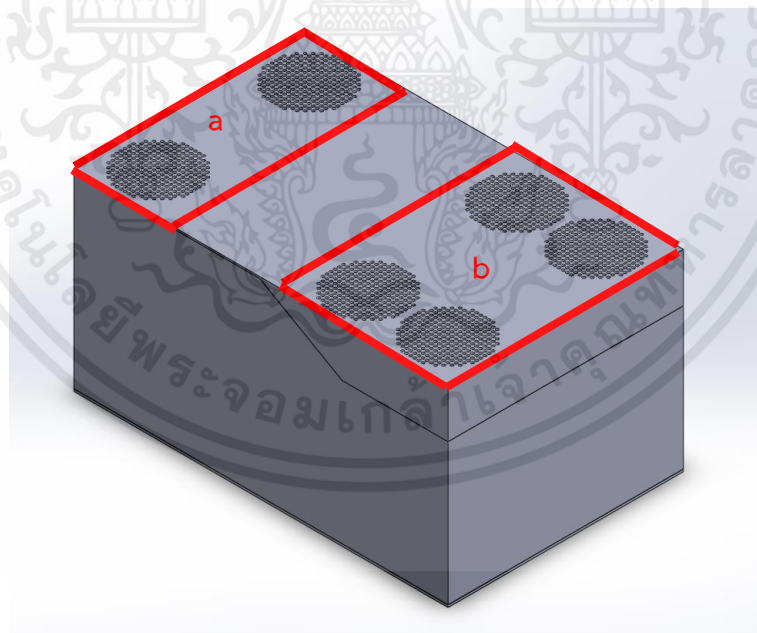
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ออกแบบตำแหน่งติดตั้งพัดลมบนฝากล่อง Accumulator



รูปที่ 3.13 แสดงตำแหน่งของ Accumulator บนรถ Formula Student

จุดที่ทำการติดตั้งพัดลม ควรจะให้อยู่ในทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของรถแข่ง เพื่อป้องกันการกระแสนลมที่จะตีย้อนกลับทำให้อากาศเคลื่อนที่ออกมาจากกล่องเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น

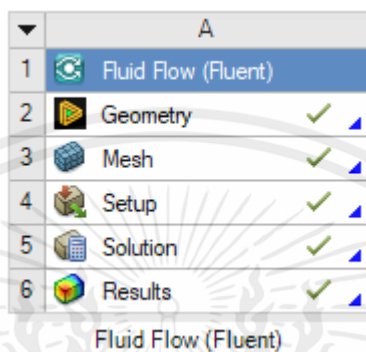


รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งติดตั้งพัดลม (a) คือบริเวณตำแหน่งที่ดูดลมเข้า (b) คือบริเวณตำแหน่งที่ดูดลมออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อเลือกแนวทิศทางการไหลของอากาศ

ในการการวิเคราะห์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการทดสอบการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นในกล่อง Accumulator จะทำโดยใช้โปรแกรม ANSYS โดยใช้ Fluid Flow (Fluent) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์สำหรับทิศทางการไหลของอากาศเพื่อให้ผ่านจุดที่เราสนใจมากที่สุด โดยกำหนดให้อากาศที่ไหลเข้ากับอากาศที่ไหลออกมีค่าเท่ากัน จากนั้นนำผลมาสอบเทียบเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และความแม่นยำของระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์



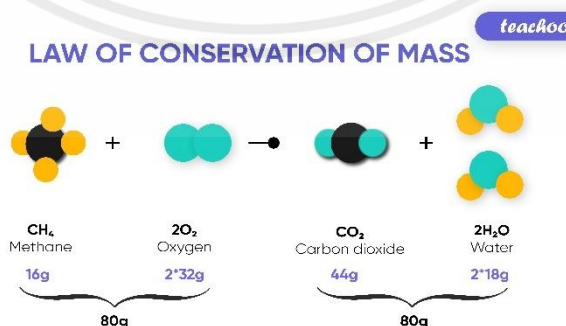
รูปที่ 3.15 แสดงแบบแผนขั้นตอนการจำลอง

3.4.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ในเครื่องมือ Fluid Flow (Fluent) จะใช้สมการควบคุม (Governing Equation) ในการคำนวณ เพื่อใช้สร้างแบบจำลองจากค่าเริ่มต้นที่เรานำเข้า ซึ่งประกอบไปด้วย กฎอนุรักษ์มวลสาร (Conservation of Mass), กฎอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum) และกฎอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

1. กฎอนุรักษ์มวลสาร (Conservation of Mass)

คือ มวลสารที่มีปฏิกริยากันในกระบวนการต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ จะคงอยู่ตลอด สามารถเปลี่ยนสถานะได้



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างกฎอนุรักษ์มวลสารในปฏิกริยาเคมี

<https://www.teachoo.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมการที่เกี่ยวข้องคือ
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho v_r) + \frac{\rho v_r}{r} = S_m \quad [10]$$

โดย ρ = ความหนาแน่นของสาร

x = พิกัดแนวแกน

r = พิกัดเชิงมุม

v_x = ความเร็วตามแนวแกน

v_r = ความเร็วเชิงมุม

S_m = มวลที่เพิ่มขึ้นหลังจากเฟสแรก

2. กฎอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)

คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของอนุภาคในระบบเมื่อเทียบกับเวลาเท่ากับผลรวมของแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุนั้นเมื่อเทียบกับเวลา



รูปที่ 3.17 การชนกันของลูกบิลเลียด

<https://www.sciencefacts.net>

โดยสมการที่เกี่ยวข้อง คือ สมการโมเมนตัมเชิงเส้น

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v_x) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x}(r \rho v_x v_x) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v_r v_x) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left[r \mu \left(2 \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right) \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \mu \left(2 \frac{\partial v_x}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial x} \right) \right] + F_x \quad [10]$$

สมการโมเมนตัมเชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x}(r \rho v_x v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v_r v_r) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left[r \mu \left(\frac{\partial v_r}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial r} \right) \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \mu \left(2 \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right) \right] - 2\mu \frac{v_r}{r^2} + \frac{2\mu}{3r} (\nabla \cdot \vec{v}) + \rho \frac{v_r^2}{r} + F_r \quad [10]$$

$$\text{โดยที่ } \nabla \cdot \vec{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_x}{r} \quad [10]$$

โดย ρ = ความหนาแน่นของสาร

x = พิกัดแนวแกน

r = พิกัดเชิงมุม

v_x = ความเร็วตามแนวแกน

v_r = ความเร็วเชิงมุม

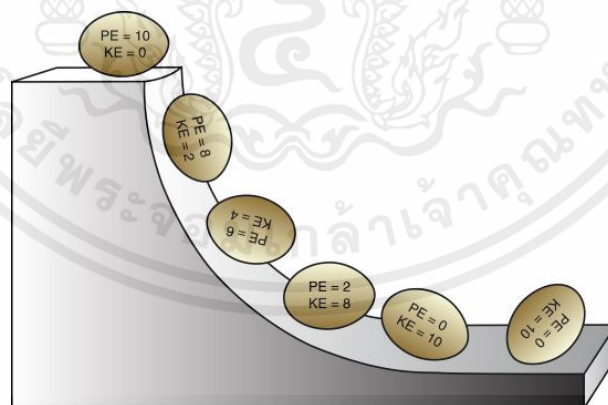
F_x = แรงดันตามแนวแกน

F_r = แรงดันเชิงมุม

μ = ความหนืดไดนามิก

3. กฎอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

พลังงานของระบบที่เกิดขึ้นมีค่าคงที่เสมอ สามารถรับพลังงานหรือสูญเสียพลังงานออกไปนอกระบบ โดยที่รูปแบบของพลังงานจะเป็นชนิดเดียวกันหรือแปรสภาพไปเป็นรูปแบบอื่นๆได้ แต่ในท้ายที่สุด พลังงานในกระบวนการทั้งหมดจะไม่สูญหายหรือเกิดขึ้นมาใหม่ได้ ยกตัวอย่างเช่น การสันดาปภายในของเครื่องยนต์



รูปที่ 3.18 การเปลี่ยนรูปแบบพลังงานจากพลังงานศักย์โน้มถ่วงเป็นพลังงานจลน์

<https://www.sciencedirect.com>

โดยสมการที่เกี่ยวข้องคือ

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho E + p) = \nabla \cdot [k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{j}_j + (\vec{\tau}_{eff} \cdot \vec{v})] + S_h \quad [11]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

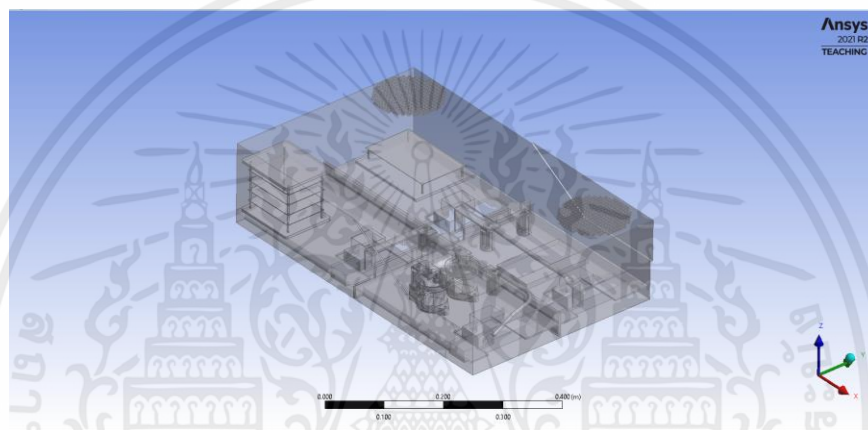
โดยที่
$$E = h + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad [11]$$

ซึ่งในการจำลองนี้ ไม่ได้ใช้กฎอนุรักษ์พลังงานในการคำนวณ เนื่องจากต้องการแค่แนวโน้มของเส้น Streamline ที่เกิดขึ้นในกล่อง Accumulator

3.4.2 ระเบียบวิเคราะห์ไฟฟัด์เอลเมนต์

1. สร้างแบบจำลอง 3 มิติของมวลอากาศ

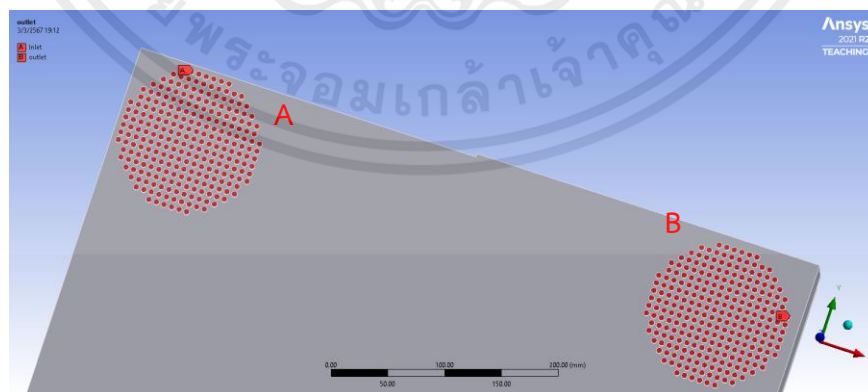
ใช้โปรแกรม Catia V5 เพื่อสร้างแบบจำลอง จากนั้น นำแบบจำลองไปเข้าในฟังก์ชัน Geometry เนื่องจากในเครื่องมือ Fluid Flow (Fluent) ต้องมีการสร้างมวลของอากาศที่ไหลผ่านสิ่งของต่างๆขึ้นมา



รูปที่ 3.19 แบบจำลอง 3 มิติของมวลอากาศ

2. การกำหนดทิศทางของอากาศ

กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่ไหลเข้า – ออกภายในกล่อง Accumulator ที่จะระบายความร้อนตามที่กำหนดไว้

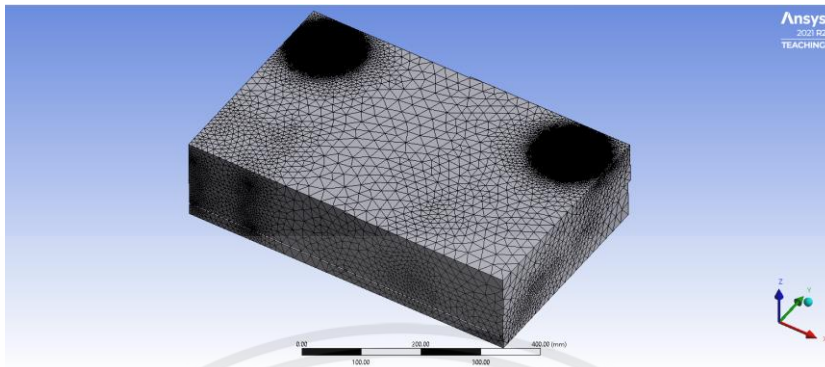


รูปที่ 3.20 ตำแหน่ง A คือทางเข้าของอากาศ ตำแหน่ง B ทางออกของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การสร้าง Mesh เพื่อนำไปวิเคราะห์

ทำการสร้าง Mesh ข้อมูลจาก Geometry โดยตั้งค่า Element Size อยู่ที่ 25 mm



รูปที่ 3.21 แสดง Mesh ของมวลอากาศ

4. Boundary Conditions

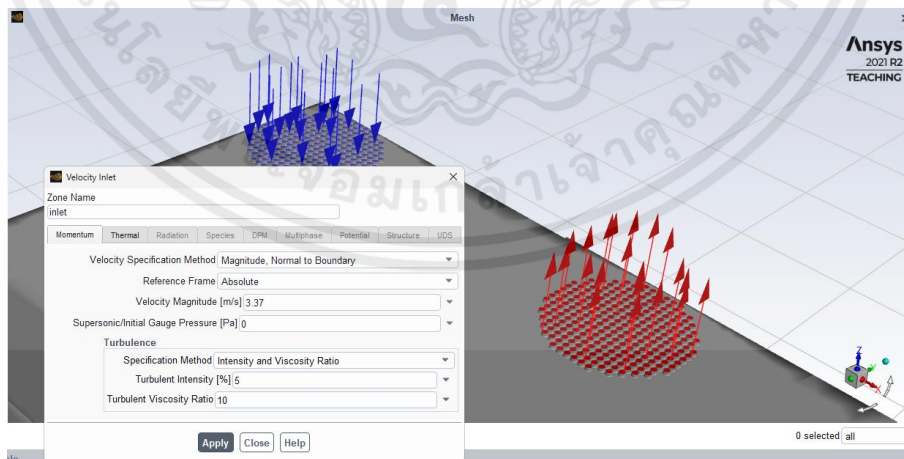
ตั้งค่า Boundary Condition ในขั้นตอน Set up เพื่อจำลองการเกิด Streamline ในกล่องแบตเตอรี่ โดยที่ ความเร็วของอากาศขาเข้าและขาออก ตามข้อมูลของพัดลมที่ใช้ โดยใช้สมการ $Q = Av$ เพื่อหาความเร็วของลมที่เข้าไปในกล่อง Accumulator

โดยที่ $Q = 80.73 \text{ CFM} = 0.0381 \text{ m}^3/\text{s}$

$$A = \pi r^2 = \pi (0.062)^2 = 0.0113 \text{ m}^2$$

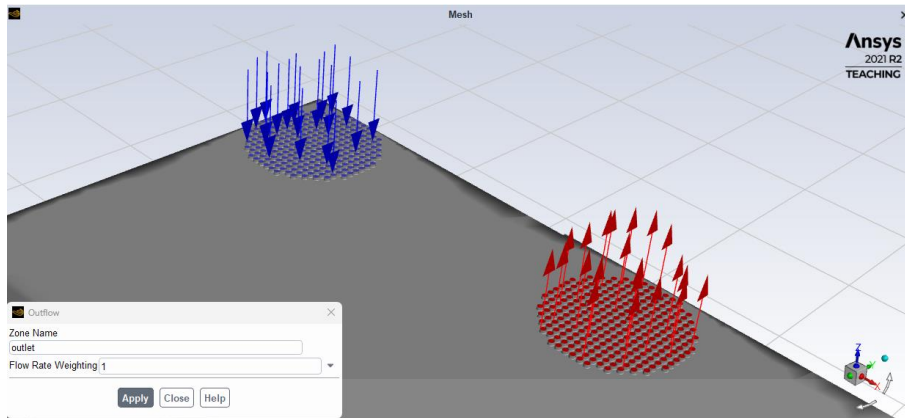
จะได้ $v = 3.37 \text{ m/s}$

แทนค่าที่ได้ลงในโปรแกรม



รูปที่ 3.22 แสดงการกำหนด Boundary Conditions ที่ทางเข้าของอากาศ

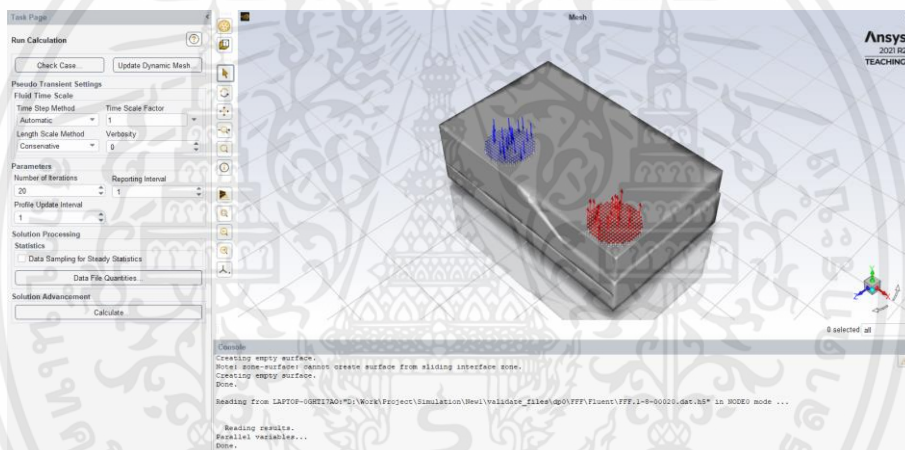
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงการกำหนด Boundary Conditions ที่ทางออกของอากาศ

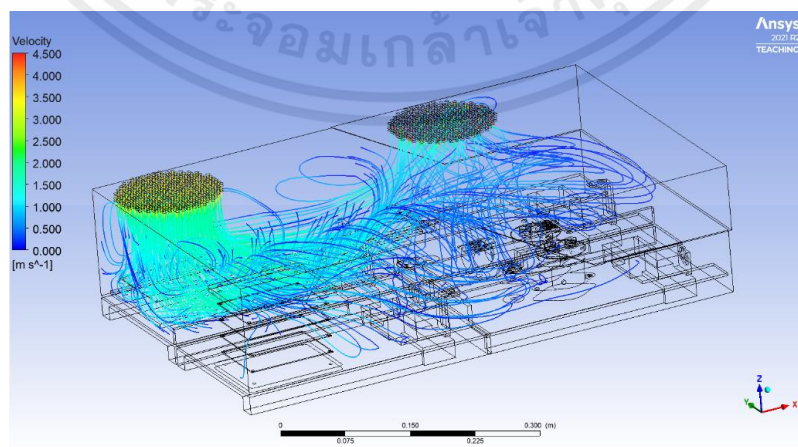
5. Calculation

เมื่อตั้งค่าทั้งหมดแล้ว กดคำสั่ง Calculation เพื่อดู Streamline ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.24 แสดงหน้าต่างฟังก์ชัน Calculation

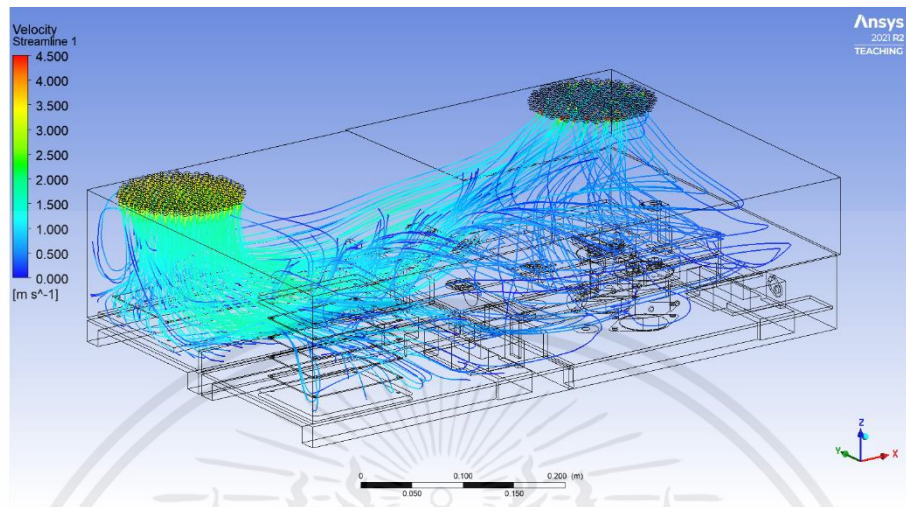
3.4.3 ผลการวิเคราะห์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 3.25 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 1

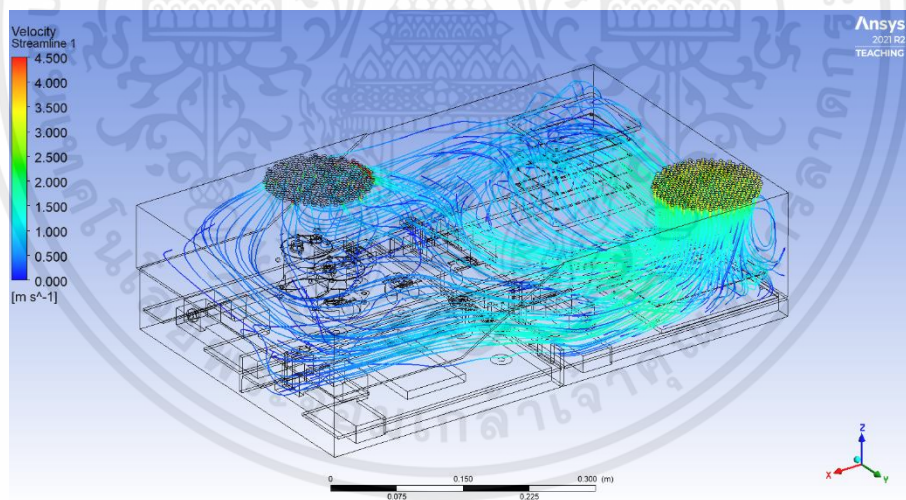
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการจำลองแบบที่ 1 พบว่า กระแสลมตรงจุดที่เราสนใจมีน้อย สังเกตจากเส้น Streamline ที่เกิดขึ้น ปริมาณลมส่วนมากจะไปอยู่ที่ฝั่งติดตั้งชุดพัดลม



รูปที่ 3.26 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 2

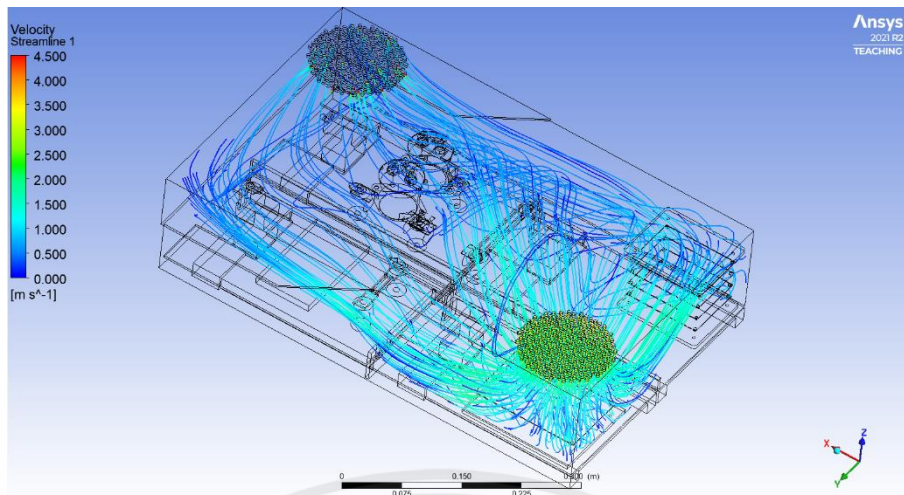
ผลการจำลองแบบที่ 2 พบว่า กระแสลมผ่านที่บัสบาร์ของชุดแบตเตอรี่ที่ 4 และบัสบาร์ ช่วงที่เชื่อมต่อเข้ากับ Contactor Relay มีปริมาณมาก ซึ่งไม่ตรงกับจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.27 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 3

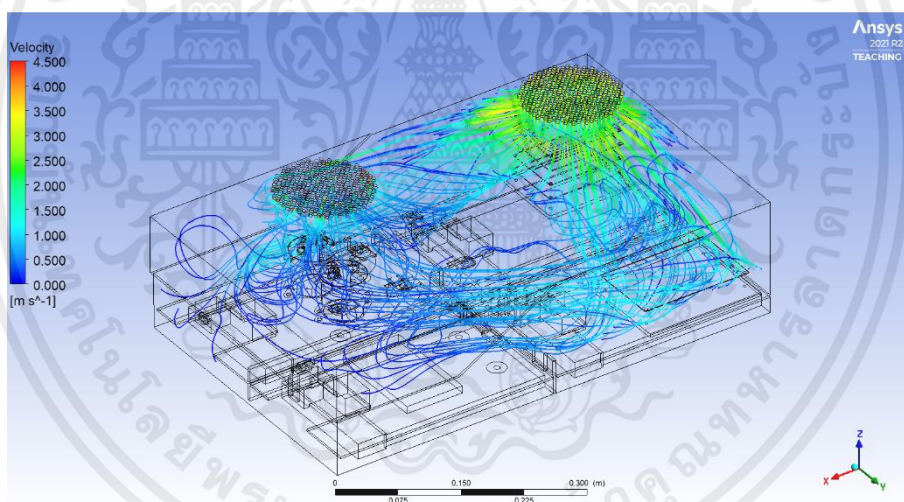
ผลการจำลองแบบที่ 3 พบว่า กระแสลมผ่านที่ขั้วของ Contactor Relay เบางบางเกิน เนื่องจากอยู่ใกล้ช่องที่อากาศออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 4

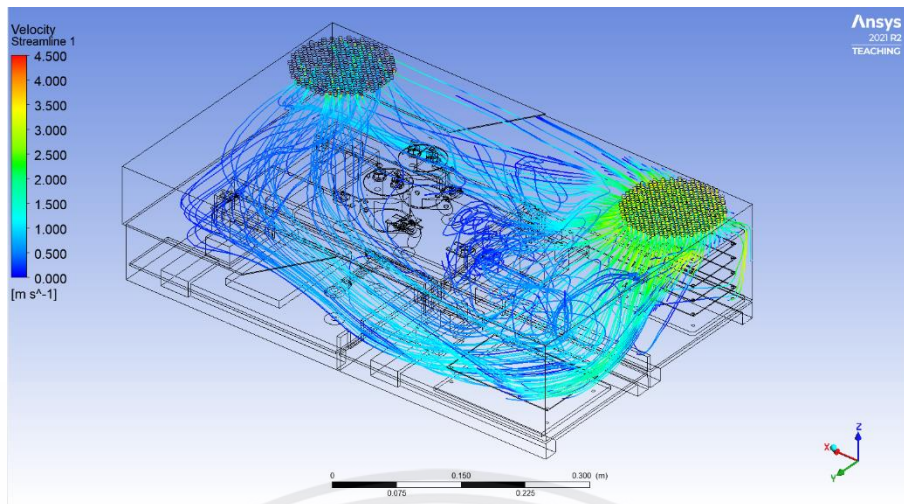
ผลการจำลองแบบที่ 4 พบว่า กระแสลมที่เกิดขึ้นผ่านจุดที่เราสนใจทั้ง 4 จุด ซึ่งบริเวณที่มีกระแสลมมากที่สุดอยู่ที่บริเวณหัวของ Contactor Relay ทั้งฝั่งที่รับกระแสและจ่ายกระแสไฟฟ้าออกไป



รูปที่ 3.29 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 5

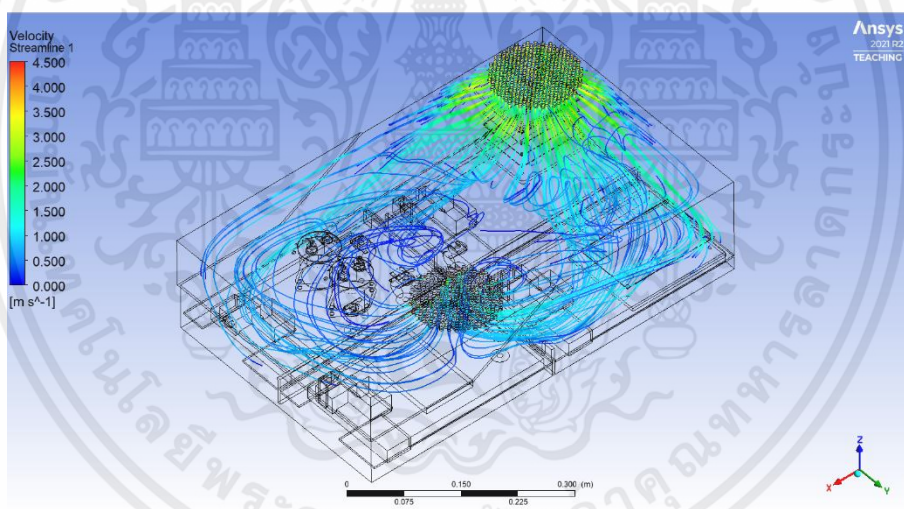
ผลการจำลองแบบที่ 5 พบว่า กระแสลมที่เกิดขึ้นไม่ผ่านจุดที่เราสนใจทั้ง 4 จุด เนื่องจากจุดที่อากาศถูกดูดออกอยู่ใกล้กับจุดที่เราสนใจ ทำให้อากาศลอยตัวสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



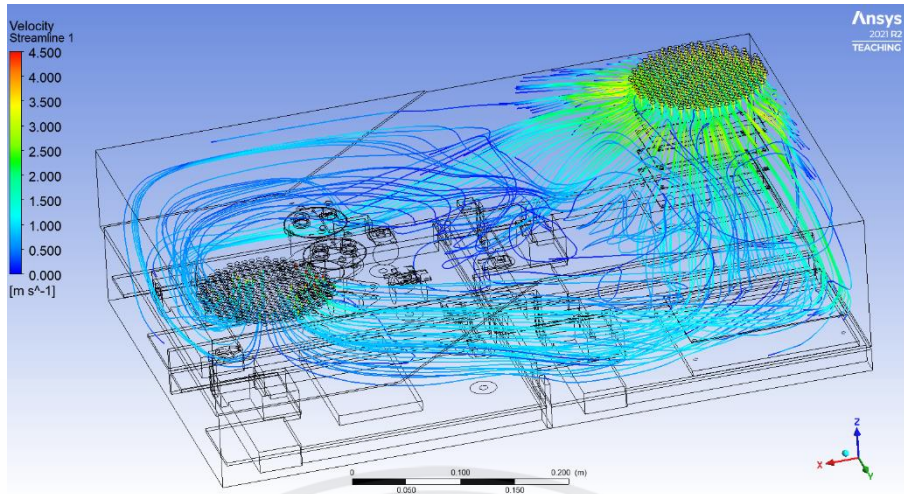
รูปที่ 3.30 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 6

ผลการจำลองแบบที่ 6 พบว่า กระแสลมที่เกิดขึ้นผ่านจุดที่เราสนใจ 2 จุด คือ จุดที่ 1 และ จุดที่ 2 บริเวณ Contactor Relay ไม่มีกระแสลมผ่านที่ชั่วเลย และตำแหน่งที่ติดตั้งพัดลมเพื่อดูดอากาศเข้าอยู่บริเวณเดียวกันกับที่ติดตั้งชุด BMS ทำให้กระแสลมถูกจำกัดทิศทาง



รูปที่ 3.31 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 7

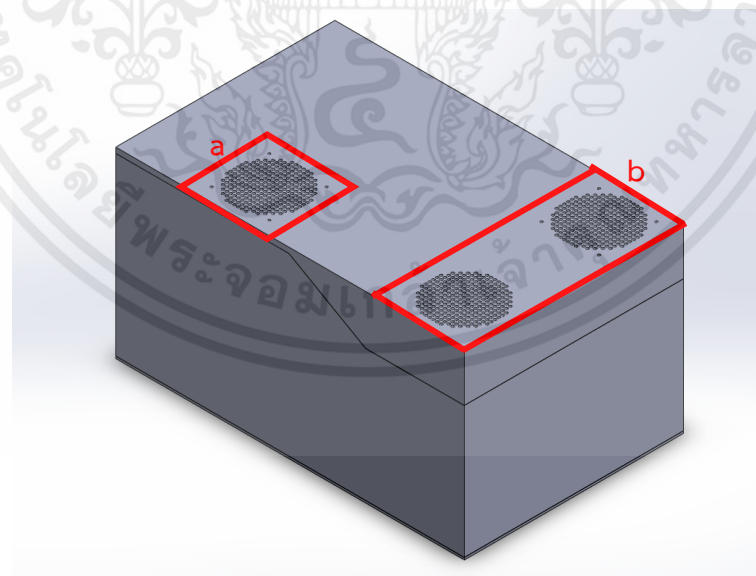
ผลการจำลองแบบที่ 7 พบว่า กระแสลมที่เกิดขึ้นไม่ผ่านจุดที่เราสนใจเลย เนื่องจากตำแหน่งที่ติดตั้งพัดลมเพื่อดูดอากาศเข้าอยู่บริเวณเดียวกันกับที่ติดตั้งชุด BMS ทำให้กระแสลมถูกจำกัดทิศทาง และยากที่จะไหลลงไปตรงบริเวณที่เราสนใจ



รูปที่ 3.32 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 8

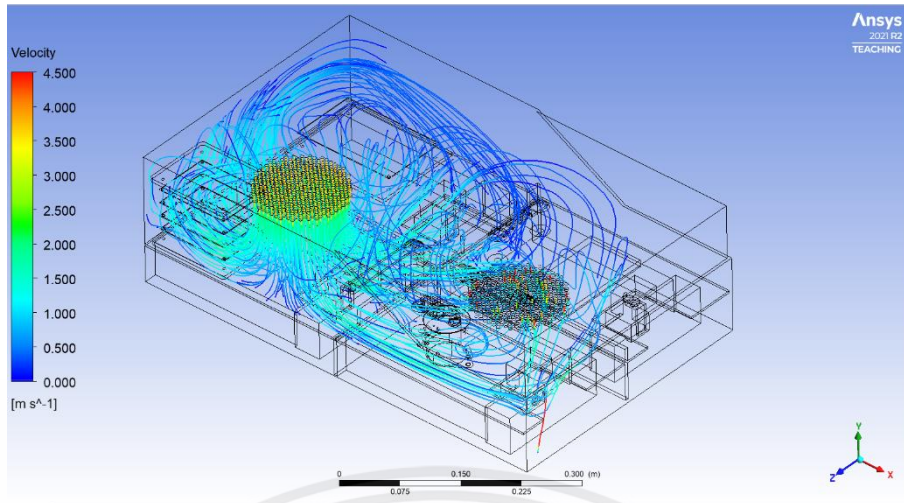
ผลการจำลองแบบที่ 8 พบว่า เนื่องจากตำแหน่งที่ติดตั้งพัดลมเพื่อดูดอากาศเข้าอยู่บริเวณเดียวกันกับที่ติดตั้งชุด BMS ทำให้กระแสลมถูกจำกัดทิศทาง แต่ตำแหน่งของพัดลมที่ดูดออกอยู่ไกล ทำให้มีกระแสลมผ่านจุดที่ 1, 2 และ 3

จากผลการจำลองแบบที่ 1 – 8 พบว่า ทั้ง 8 แบบมีปริมาณลมที่ผ่านทั้ง 4 จุดได้ไม่ครบ บางจุดได้ปริมาณลมที่น้อยเกินไป และถ้าจุดที่ดูดออกอยู่ใกล้กับจุดที่เราสนใจมากเกินไป ลมที่ไปแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกดูดออกก่อน ดังนั้นจึงได้ทำการเพิ่มจุดดูดอากาศเข้า และเหลือจุดที่ดูดอากาศออกให้อยู่ในตำแหน่งที่ไกลที่สุด



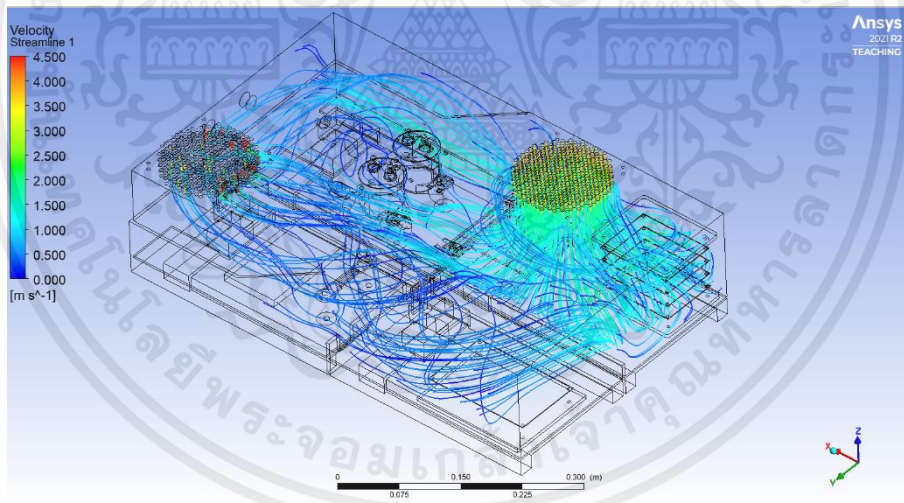
รูปที่ 3.33 แสดงตำแหน่งติดตั้งพัดลม (a) คือบริเวณตำแหน่งที่ดูดลมเข้า (b) คือบริเวณตำแหน่งที่ดูดลมออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 9

ผลการจำลองแบบที่ 9 พบว่า ตำแหน่งของพัดลมที่ดูดอากาศเข้าอยู่ใกล้กับจุดที่ 1 ทำให้มีบริเวณโดยรอบได้รับอากาศในปริมาณมาก จุดที่ 4 มีกระแสลมที่ผ่านปริมาณมากเช่นกัน เพราะเป็นจุดกระแสลมเริ่มถูกดูดขึ้นไปบริเวณพัด



รูปที่ 3.35 แสดงผลแบบจำลองการเกิด Streamline ของแบบที่ 10

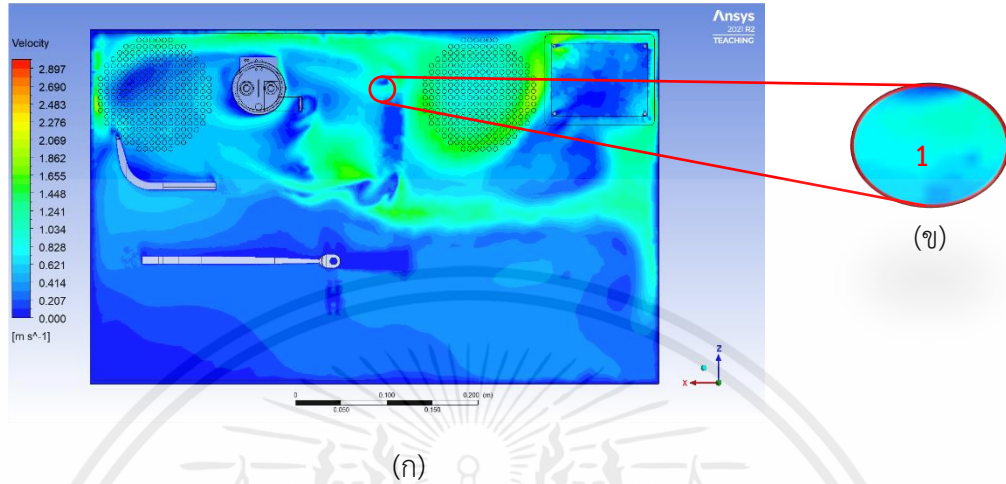
ผลการจำลองแบบที่ 10 พบว่า ตำแหน่งของพัดลมที่ดูดอากาศเข้าอยู่ใกล้กับจุดที่ 1 ทำให้มีบริเวณโดยรอบได้รับอากาศในปริมาณมาก และจุดที่ 4 มีกระแสลมที่ผ่านปริมาณมากเช่นกัน เพราะเป็นจุดกระแสลมเริ่มถูกดูดขึ้นไปบริเวณพัด

3.4.4 การสอบเทียบผลวิเคราะห์ระเหยไฟไนต์เอลเมนต์

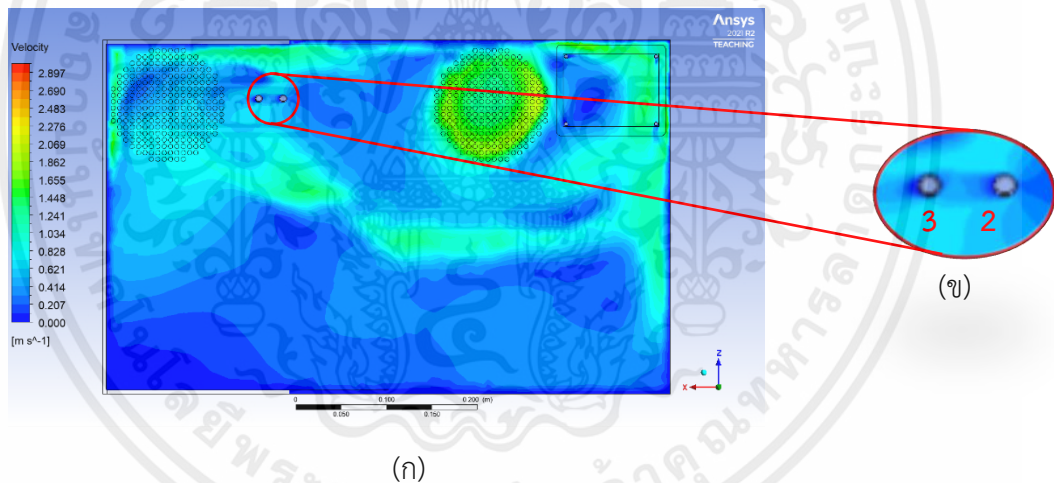
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลวิเคราะห์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ เลือกผลจากแบบที่ 9 เพื่อใช้ในการสอบเทียบเนื่องจากเป็นผลการวิเคราะห์ตามที่เราต้องการ

ผลวิเคราะห์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์แบบที่ 9



รูปที่ 3.36 แสดงคอนทัวร์ของความเร็วที่เกิดขึ้นของจุดที่ 1 (ก) ทั้งหมดระนาบ (ข) แสดงรูปขยายของคอนทัวร์บริเวณจุดที่ 1



รูปที่ 3.37 แสดงคอนทัวร์ของความเร็วที่เกิดขึ้นของจุดที่ 2 และ 3 (ก) ทั้งหมดระนาบ (ข) แสดงรูปขยายของคอนทัวร์บริเวณจุดที่ 2 และ 3

ความเร็วจากผลวิเคราะห์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์

จุดที่ 1 : 0.828 m/s

จุดที่ 2 : 0.725 m/s

จุดที่ 3 : 0.828 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการสอบเทียบ

1. เจาะรูที่ฝาชุดการทดลองขนาด 10 mm ตามจุดที่เราต้องการวัดค่า 3 จุด



รูปที่ 3.38 แสดงจุดที่เจาะฝาชุดการทดลอง

2. นำแท่งวัดความเร็วหย่อนลงไปในระดับที่ต้องการวัด



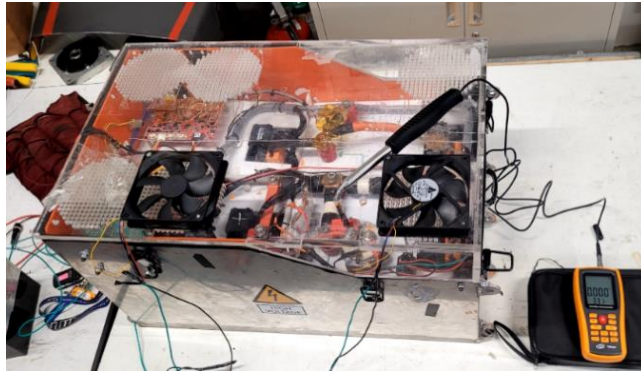
รูปที่ 3.39 แสดงการวางอุปกรณ์

3. เปิดพัดลมและบันทึกค่าความเร็วลมทุก 5 วินาที จนครบ 5 นาที



รูปที่ 3.40 แสดงตำแหน่งการวัดความเร็วลมตำแหน่งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.41 แสดงตำแหน่งการวัดความเร็วลมตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 3.42 แสดงตำแหน่งการวัดความเร็วลมตำแหน่งที่ 3

4. นำค่าที่บันทึกได้มาหาค่าเฉลี่ยความเร็วลมจากทั้ง 3 จุด

จุดที่ 1 : 0.802 m/s

จุดที่ 2 : 0.619 m/s

จุดที่ 3 : 0.735 m/s

5. เปรียบเทียบกับผลจากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

$V_{\text{simulation}}$ (m/s)	V_{Actual} (m/s)	Error (%)
0.828	0.802	3.24
0.725	0.619	17.1
0.828	0.735	12.6

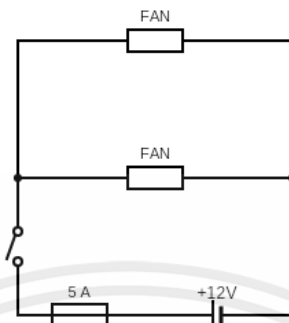
ตารางที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบ

- เตรียมวงจรไฟฟ้าของพัดลมสำหรับการทดลอง



รูปที่ 3.43 แผนภาพแสดงวงจรพัดลม

- ทดสอบแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ที่ใช้ เพื่อดูปริมาณไฟฟ้าที่ใช้สามารถเลี้ยงวงจรสำหรับพัดลมได้เพียงพอ

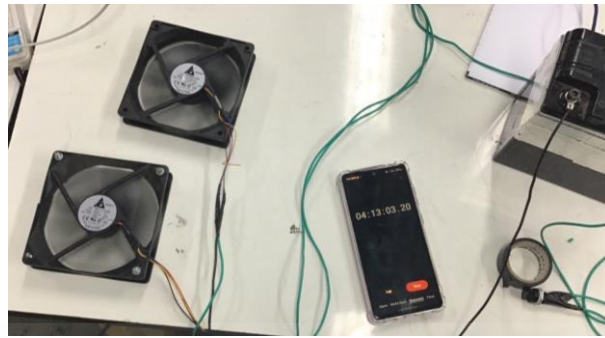


รูปที่ 3.44 แสดงเวลาที่ทดสอบเพื่อผ่านไป 1 ชั่วโมง 44 นาที



รูปที่ 3.45 แสดงเวลาที่ทดสอบเพื่อผ่านไป 3 ชั่วโมง 6 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



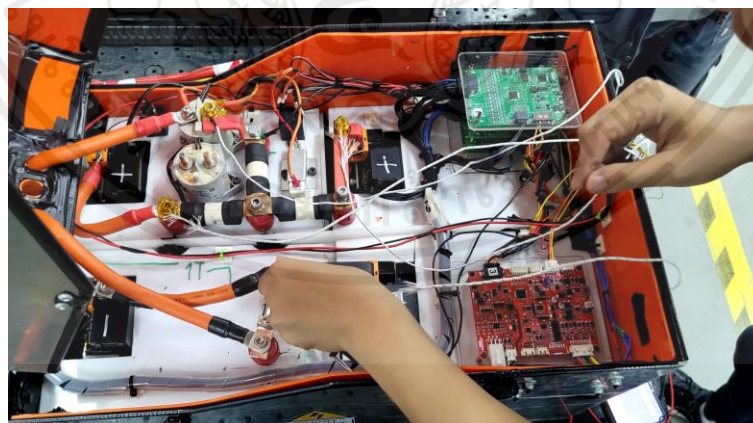
รูปที่ 3.46 แสดงเวลาที่ทดสอบเพื่อผ่านไป 4 ชั่วโมง 13 นาที

2. นำ Accumulator ขึ้นบนแท่นที่ใช้ทำการทดสอบแบตเตอรี่



รูปที่ 3.47 แสดงขั้นตอนขณะนำชุดทดลองขึ้นแท่นทดสอบ

3. ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลตรงจุดที่สนใจ



รูปที่ 3.48 แสดงขั้นตอนขณะติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล

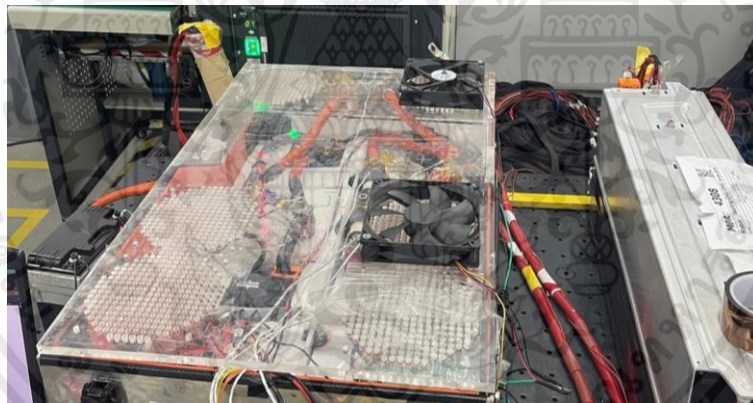
4. เชื่อมต่อชุด Accumulator เข้ากับเครื่องดึงกระแสไฟฟ้า และต่ออุปกรณ์จาก Main BMS เข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อเก็บค่าอุณหภูมิเกิดขึ้นในชุดแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.49 แสดงภาพก่อนเริ่มการทดลอง

5. ทำการตั้งค่าเครื่องดึงพลังงานไฟฟ้า โดยค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 98 แอมป์ และให้ตัดการทำงานเมื่อโวลเตจของแบตเตอรี่เหลือ 60 โวลต์ และเริ่มการดึงพลังงานจากแบบที่ไม่มีระบบระบายความร้อน
6. เมื่อครบ 1 ชั่วโมง ทำการบันทึกอุณหภูมิจาก Data Logger และ Main BMS
7. ทำการทดลองอีกครั้งตามขั้นตอนที่ 5 ถึง 6 แบบมีระบบระบายความร้อน



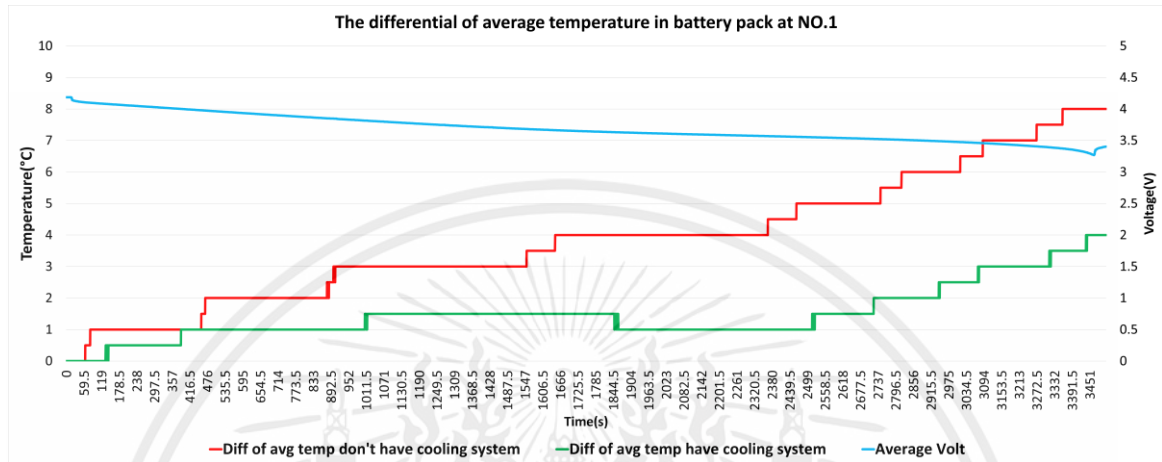
รูปที่ 3.50 แสดงภาพที่ติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดลอง และพัลลวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

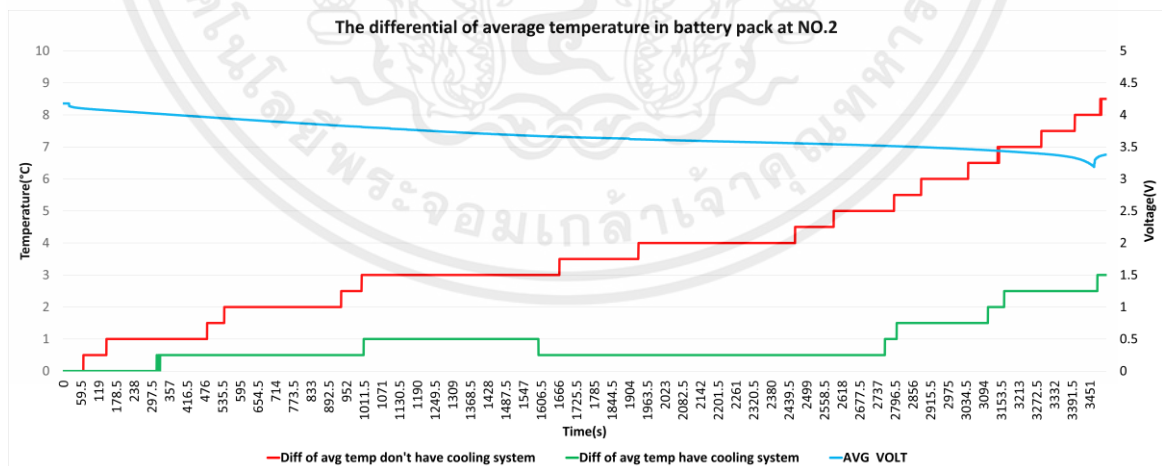
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการทดลองภายในชุดแบตเตอรี่



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของความร้อน, ค่าความต่างศักย์และเวลา ระหว่างกรณีที่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมกับกรณีไม่มีระบบระบายความร้อนของโมดูลที่ 1

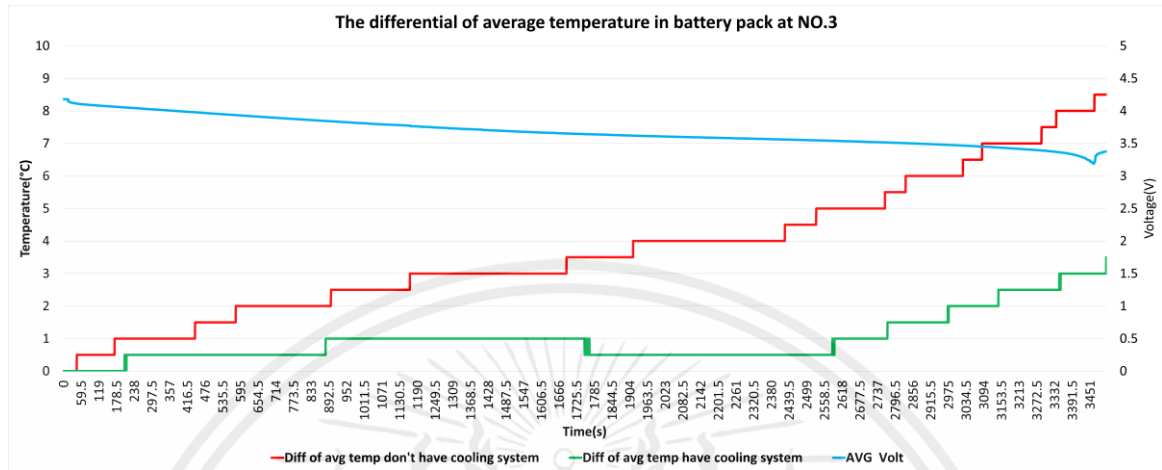
จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าในกรณีที่กล่องแบตเตอรี่โมดูลที่ 1 ที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนกับกล่องแบตเตอรี่ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนจะมีความร้อนที่วัดได้แตกต่างกันภายในอยู่ที่ 4.0 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของความร้อน, ค่าความต่างศักย์และเวลา ระหว่างกรณีที่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมกับกรณีไม่มีระบบระบายความร้อนของโมดูลที่ 2

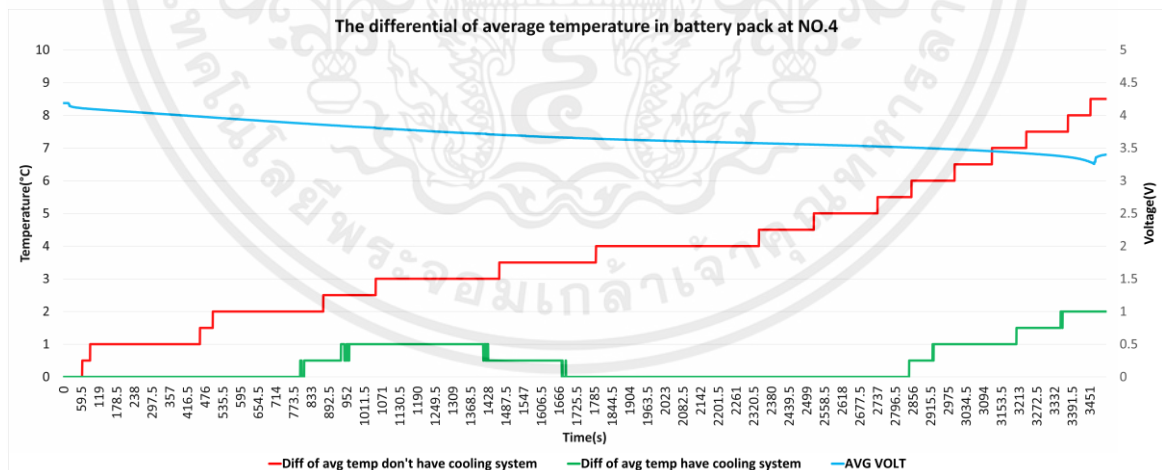
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าในกรณีที่กล่องแบตเตอรี่โมดูลที่ 2 ที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนกับกล่องแบตเตอรี่ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนจะมีความร้อนที่วัดได้แตกต่างกันภายในอยู่ที่ 5.5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของความร้อน, ค่าความต่างศักย์และเวลา ระหว่างกรณีที่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมกับกรณีไม่มีระบบระบายความร้อนของโมดูลที่ 3

จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าในกรณีที่กล่องแบตเตอรี่โมดูลที่ 3 ที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนกับกล่องแบตเตอรี่ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนจะมีความร้อนที่วัดได้แตกต่างกันภายในอยู่ที่ 5.0 องศาเซลเซียส

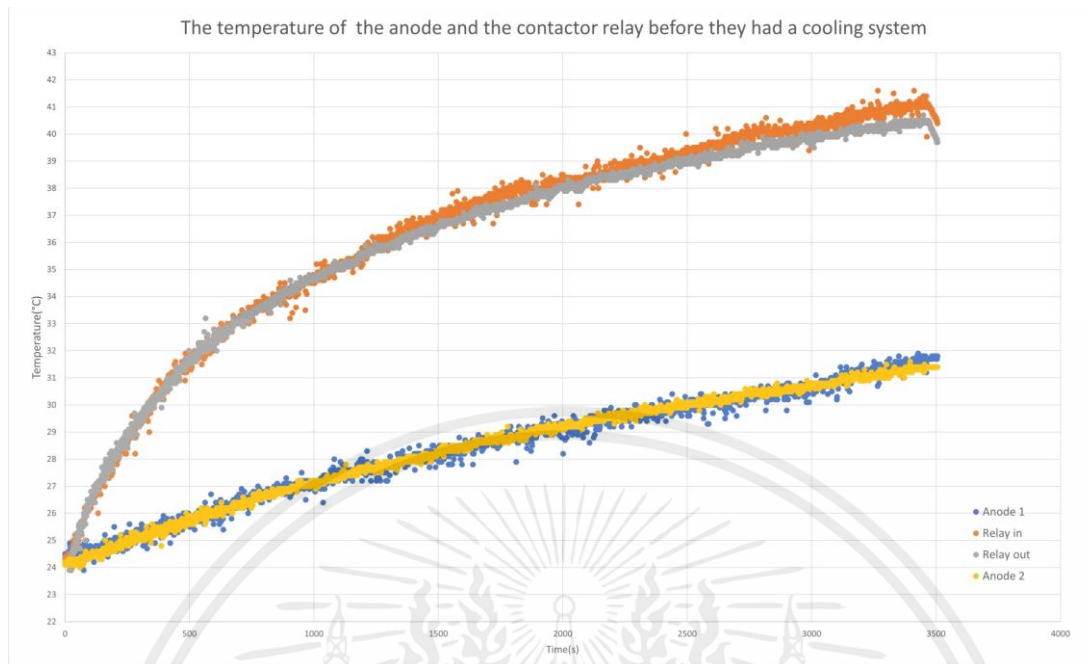


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างของความร้อน, ค่าความต่างศักย์และเวลา ระหว่างกรณีที่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมกับกรณีไม่มีระบบระบายความร้อนของโมดูลที่ 4

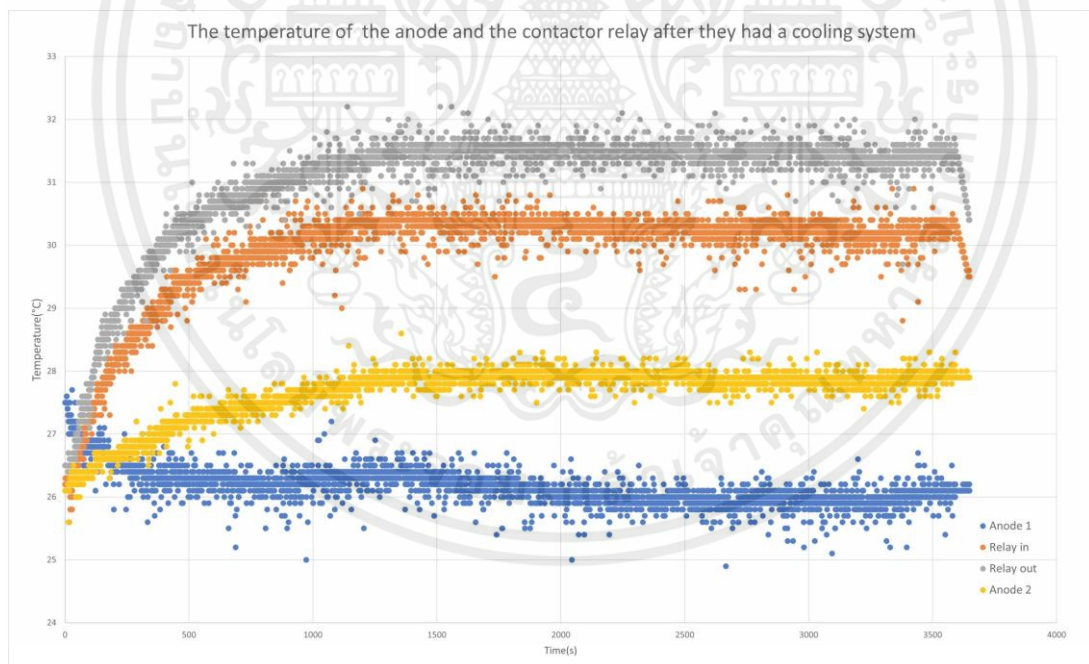
จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าในกรณีที่กล่องแบตเตอรี่โมดูลที่ 4 ที่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนกับกล่องแบตเตอรี่ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนจะมีความร้อนที่วัดได้แตกต่างกันภายในอยู่ที่ 6.5 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองภายนอกชุดแบตเตอรี่ที่เราสนใจ



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความร้อนที่วัดกับเวลาทั้งหมด 4 ตำแหน่งที่เราสนใจกรณีไม่มีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลม

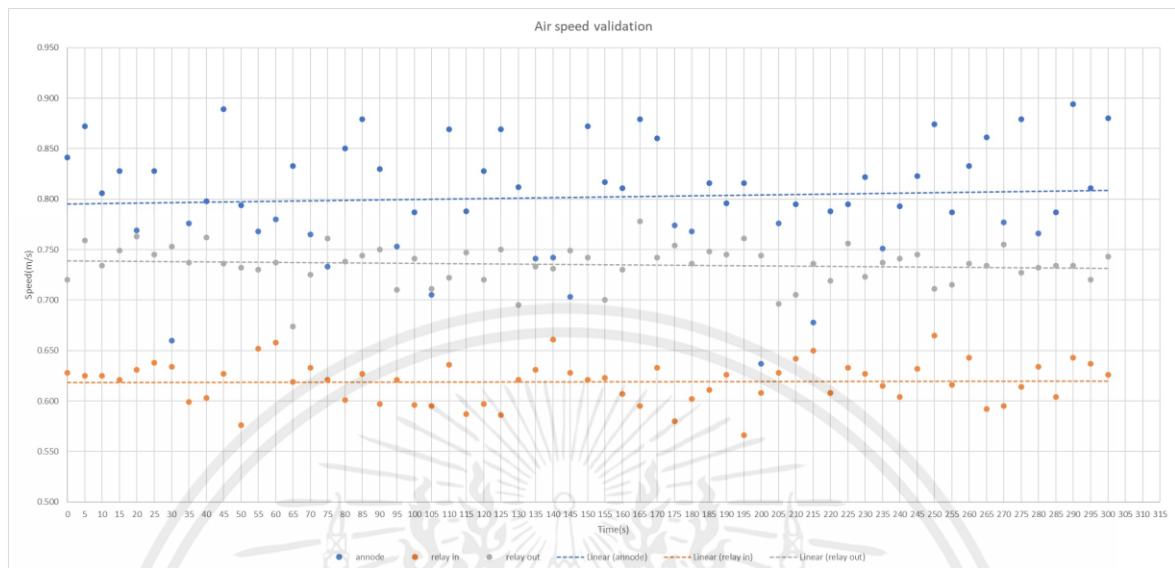


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความร้อนที่วัดกับเวลาทั้งหมด 4 ตำแหน่งที่เราสนใจกรณีมีระบบระบายความร้อนด้วยพัดลม

จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าในกรณีที่กล่องแบตเตอรี่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนกับกล่องแบตเตอรี่ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนจะมีความร้อนที่วัดได้แตกต่างกันภายนอกอยู่ โดยความร้อนสะสมภายนอกโมดูลแบตเตอรี่ มีตำแหน่งที่สนใจทั้งหมด 4 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งมีค่าความร้อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดได้แตกต่างกันดังนี้ ตำแหน่งที่1 ขั้วบวกโมดูล4 อยู่ที่ 5 องศาเซลเซียส ตำแหน่งที่2 Relay in อยู่ที่ 11 องศาเซลเซียส ตำแหน่งที่ 3 Relay out อยู่ที่ 9 องศาเซลเซียส ตำแหน่งที่4 ขั้วบวกโมดูล2 อยู่ที่ 3.5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.7 กราฟความเร็วลมตำแหน่งที่สนใจ 3 ตำแหน่ง

จากการทดลองจะพบว่าค่าเฉลี่ยของความเร็วลมเทียบกับเวลาทั้ง 3 ตำแหน่งมีค่าดังนี้

ตำแหน่งที่ 1 ขั้วบวกโมดูลแบตเตอรี่ที่ 4 0.802 เมตร/วินาที

ตำแหน่งที่ 2 Relay in 0.7619 เมตร/วินาที

ตำแหน่งที่ 3 Relay out 0.735 เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิจารณ์หรืออภิปรายผล

จากการศึกษาระบบระบายความร้อนของกล่องแบตเตอรี่ในรถสูตรนักศึกษาทำให้ได้ข้อสรุปดังนี้

- ความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นมากที่สุดจะอยู่บริเวณชุด Relay ทั้งขาเข้าและขาออกเนื่องจากชุด Relay ทำหน้าที่เป็นสะพานไฟระหว่างแบตเตอรี่ทั้ง 4 โมดูลกับชุดคอนโทรลเลอร์ ทำให้ชุด Relay ต้องรับการจ่ายกระแสไฟจากทั้ง 4 โมดูลทำให้ค่าความร้อนสะสมที่ชุด Relay ขาเข้ามีค่า 41.3 °C และขาออก 40.5 °C เพราะฉะนั้นควรออกแบบระบบระบายความร้อนที่ชุด Relay เพื่อให้การทำงานยังคงอยู่ในย่านการใช้งาน
- จากการสร้างแบบจำลองดูลักษณะการไหลของอากาศทำให้ทราบถึงพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอากาศที่มีอุณหภูมิสูงไปอุณหภูมิต่ำซึ่งทำให้ตัดสินใจได้ว่าเราควรเลือกแบบจำลองรูปแบบไหนในการนำไปทดสอบ จากทิศทางการไหลของอากาศที่ผ่านตำแหน่งที่เราสนใจไม่ว่าจะเป็นชุดแบตเตอรี่หรือ 4 ตำแหน่งที่เราสนใจ ตำแหน่งที่ 1 ขั้วบวกโมดูล 4, ตำแหน่งที่ 2 Relay in, ตำแหน่งที่ 3 Relay out และตำแหน่งที่ 4 ขั้วบวกโมดูล 2
- การวิเคราะห์ ความแตกต่างของความร้อนสะสมทั้งชุดแบตเตอรี่และภายนอกชุดแบตเตอรี่ทั้ง 4 ตำแหน่ง ชี้ให้เห็นว่า การใช้พัดลม 2 ตัว 1 ตัว ดูดอากาศเข้ากล่อง, 1 ตัวดูดอากาศออกจากกล่อง มีความแตกต่างของความร้อนสะสมที่เกิดขึ้น
- จากกราฟผลการทดลองสรุปได้ว่าในกรณีที่กล่องแบตเตอรี่ไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนกับกล่องแบตเตอรี่ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนมีความร้อนที่วัดได้แตกต่างกันทั้งภายในและภายนอก โดยความร้อนที่วัดได้ภายในโมดูลแบตเตอรี่แต่ละโมดูล มีค่าดังนี้ โมดูลที่ 1 อยู่ที่ 4.0 °C, โมดูลที่ 2 อยู่ที่ 5.5 °C, โมดูลที่ 3 อยู่ที่ 5.0 °C และโมดูลที่ 4 อยู่ที่ 6.5 °C และความร้อนสะสมภายนอกโมดูลแบตเตอรี่ที่มีตำแหน่งที่สนใจทั้งหมด 4 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งมีค่าความร้อนที่วัดได้แตกต่างกันดังนี้ ตำแหน่งที่ 1 ขั้วบวกโมดูล 4 อยู่ที่ 5 °C, ตำแหน่งที่ 2 Relay in อยู่ที่ 11 °C, ตำแหน่งที่ 3 Relay out อยู่ที่ 9 °C และตำแหน่งที่ 4 ขั้วบวกโมดูล 2 อยู่ที่ 3.5 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar. Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications. Sixth Edition. McGrawHill.
- [2] Liam West, Barry Shepherd, Nathaniel Karabon, Josh Howell, Mike Pyrtko.
Department of Mechanical Engineering. University of Wisconsin-Madison, (December 12th, 2016) Design Report of the High Voltage Battery Pack for Formula SAE Electric.
- [3] Knight, Clay, "Design Report of the 2022 High Voltage Battery Pack and System for FSAE TigerRacing Electric Vehicle" (2022). Honors Theses. 798. https://repository.lsu.edu/honors_etd/798
- [4] Leone Martellucci, Kodekondla Kalyan Krishna.
Department of Astronautical, Electrical and Energy Engineering, Sapienza University, Rome, Italy. Analysis of Air-Cooling Battery Thermal Management System for Formula Student Car.
- [5] Olsson, William. Grinde, Linus. KTH, School of Industrial Engineering and Management (ITM).
2022 (English) Independent thesis Basic level (degree of Bachelor), Air Cooling of Lithium Polymer Batteries: Experiments and Calculations on the KTH Formula Student 2022 Race Car Accumulator.
- [6] Hammad Khurshid, Eram Naz. Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering & Technology, Jamia Millia Islamia, New Delhi, India. (Mar 2022).
Design and Analysis of a Cooling System for High Voltage Battery Pack of a Formula Student Electric Vehicle.
- [7] Seham Shahid, Martin Agelin-Chaab Faculty of Engineering and Applied Science, Ontario Tech University, 2000 Simcoe Street North, Oshawa, Ontario L1H 7K4, Canada.(2022). A review of thermal runaway prevention and mitigation strategies for lithium-ion batteries.
- [8] Munson, Young, Okiishi, Huebsch. Fundamental Of Fluid Mechanics. Sixth Edition.
- [9] Politecnico Di Torino, Master of Science Program in Automotive Engineering (Master Degree). Design of a Battery Pack for Formula SAE Racing Car.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] ANSYS FLUENT 12.0. (2009). Continuity and Momentum Equations. April 1st 2019.

[Online], Available:

<https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node11.htm>

[11] ANSYS FLUENT 12.0.(2009). Heat Transfer Theory. April 1st 2019. [Online], Available:

<https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node107.htm>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้