การศึกษาพฤติกรรมการระเบิดและเกิดเพลิงไหม้ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

Study of explode and fire behavior of li-ion battery

โดย

นาย คุณากร ไชโยธา

นาย ธนาวุฒิ จอดนอก

นาย สิริวัฒน์ กิตินารถอินทราณี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of explode and fire behavior of li-ion battery

By

Mr. Kunakorn Chaiyotha

Mr. Thanawut Jodnok

Mr. Siriwat Kitinartintranee

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมการระเบิดและเกิดเพลิงไหม้ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

Study of explode and fire behavior of li-ion battery

ผู้จัดทำ

1. นาย คุณากร ไชโยธา รหัสประจำตัว 63010113
2. นาย ธนาวุฒิ จอดนอก รหัสประจำตัว 63010442
3. นาย สิริวัฒน์ กิตินารถอินทราณี รหัสประจำตัว 63010985

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาพฤติกรรมการระเบิดและเกิดเพลิงไหม้ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

Study of explode and fire behavior of li-ion battery

นาย คุณากร ไชโยธา 63010113
นาย ธนาวุฒิ จอดนอก 63010442
นาย สิริวัฒน์ กิตินารถอินทราณี 63010985
ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารยที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาพฤติกรรมของอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า ขณะการเกิดระเบิดและเพลิงไหม้ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Thermal Runaway โดยมีขอบเขตในการศึกษาคือ จะศึกษาแบตเตอรี่ NMC (Nickel Manganese cobalt) , LCO (Lithium cobalt oxide) , NCR (Nickel Cobalt rechargeable) ขนาด 18650 เท่านั้นโดยจะทำการทดลองโดยทำให้เกิด Thermal Runaway จากชุดทดลองโดยการให้ความร้อนจาก Heat plate ภายใต้สถานะที่แบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้า 4.22 V+-0.24% เพื่อทดลองหาข้อเปรียบเทียบพฤติกรรมก่อนเกิด , ขณะเกิด , หลังเกิด Thermal Runaway ของแบตเตอรี่ทั้งสามชนิด โดยจากผลการทดลองพบว่าพฤติกรรมของแบตเตอรี่ทั้งสามมีลักษณะดังนี้ การระบายความดันแบตเตอรี่ทั้งสาม มีการระบายออกมาทางขั้วแคโทดและมีค่าอุณหภูมิดังนี้ NMC ที่อุณหภูมิ 130-140°C, NCR ที่อุณหภูมิ 110-115°C, LCO ที่อุณหภูมิ 130-150°C ส่วนของการระเบิด NCR, LCO จะระเบิดที่ขั้วแคโทดจะแตกต่างกันที่ความรุนแรงและเปลวไฟที่ NCR มีมากกว่า LCO จะมีควันก่อนการระเบิดซึ่ง NCR ไม่มีควันก่อนการระเบิดเลย สุดท้ายคือ แบตเตอรี่ NMC ที่มีการระเบิดและการเกิดเปลวไฟที่ขั้วแอโนดก่อนและที่ขั้วแคโทดตามลำดับ ซึ่งหากเปรียบเทียบอุณหภูมิของการเกิดการระบายแรงดันและเกิดการระเบิด จะได้ดังนี้ NCR < NMC < LCO และมีค่าอุณหภูมิดังนี้ NMC ที่อุณหภูมิ 170-180°C, NCR ที่อุณหภูมิ 165-180°C, LCO ที่อุณหภูมิ 160-180°C สุดท้ายนี้เพื่อนำข้อมูลไปประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้แบตเตอรี่สำหรับ รถไฟฟ้าดัดแปลง เช่น Formula Student KMITL หรือเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับบุคคลที่ต้องการศึกษาต่อและพัฒนาระบบต่างๆ

คำสำคัญ : การหนีความร้อน, นิกเกิล แมงกานิส โคบอล, ลิเทียม โคบอล ออฟไซด์, นิกเกิล โคบอล รีชาร์จเอเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of explode and fire behavior of li-ion battery.

Kunakorn Chaiyotha 63010113
Thanawut Jodnok 63010442
Siriwat Kitinartintranee 63010985
Asst.Prof.Dr.Chinda Charoenphonphanich Advisor

ABSTARCT

This research aims to Study the behavior of temperature and voltage. During the lithium ion battery's venting and explosion. Also known as Thermal Runaway, the scope of study is will study NMC, LCO, NCR size 18650 batteries only. The experiment will be done by causing Thermal Runaway from the experimental set by heating from the Heat plate under the condition that the battery has a voltage of 4.22 V+-0.24%. To try and find a comparison of the behavior before, during, and after Thermal Runaway of the three types of batteries from the experimental results, it was found that the behavior of the three batteries is as follows. All three battery pressure reliefs have Ventilation through the cathode and has the following temperature values: NMC at a temperature of 130-140°C, NCR at a temperature of 110-115°C, LCO at a temperature of 130-150°C as for the NCR explosion, LCO will explode at the cathode. The difference is in the intensity and flame that NCR has more. LCO will have smoke before the explosion, whereas NCR has no smoke before the explosion NMC batteries have the explosion and flame occur simultaneously at the anode first and at the cathode If comparing the temperature of pressure relief and explosion, it will be as follows: NCR < NMC < LCO and have the following temperature values: NMC at 170-180°C, NCR at 165-180°C, LCO at 160°C-180°C Finally, to use the information to make a decision on choosing batteries for Modified electric trains such as Formula Student KMITL or for information for people who want to continue their education and develop various systems.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keyword: Thermal runaway, NMC (Nickel Manganese cobalt), LCO (Lithium cobalt oxide), NCR (Nickel Cobalt rechargeable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงมิอาจเสร็จได้ด้วยดีหากไม่ได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำในด้านต่างๆจาก ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่คอยดูแล และ คอยช่วยเหลือให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จลงด้วยดี

ขอขอบคุณ ดร.มานพ มาสมทบ(พี่หนุ่ย) นายทินกร เกษรทอง(พี่กร) นาย พงศ์กรณ์ มีลาภโชติพงศ์(พี่ปอนด์) และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่คอยให้การสนับสนุนและให้คำแนะนำที่ดีต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

และท้ายที่สุดต้องขอขอบคุณ บิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนให้คำสั่งสอน ตั้งแต่กำเนิดเรื่อยมาจนมีโอกาสถึงทุกวันนี้ต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงกับบุญคุณที่มิอาจทดแทนได้

นาย คุณากร ไชโยธา
นาย ธนาวุฒิ จอดนอก
นาย สิริวัฒน์ กิตินารถอินทราณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....IV
สารบัญ.....V
สารบัญตาราง.....IX
สารบัญรูปภาพ.....X
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....5
1.3 ขอบเขต.....5
1.4 แผนงานดำเนินงาน.....6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....6
บทที่ 2 เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....7
2.1 ยานยนต์ไฟฟ้า.....7
2.1.1 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า.....7
2.2 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่.....10
2.2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าจากโรงงาน.....10
2.2.2 ยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง.....13
2.3 แบตเตอรี่ลิเทียม.....14
2.4 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียม.....18
2.5 การทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียม.....20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.6 Thermal Runaway Process 21
2.7 การทบทวนวรรณกรรม.....23
2.8.1 THESIS 1 23
2.8.2 THESIS 2 24
2.8.3 THESIS 3 25
2.8.4 THESIS 4 26
2.8.5 THESIS 5 26
2.8.6 THESIS 6 27
2.8.7 THESIS 7 28
2.8.8 THESIS 8 30
2.8.9 THESIS 9 31
2.8 มาตรฐานต่างๆ.....32
2.9 การไหม้ของแบตเตอรี่ 37
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์ 38
3.1 การออกแบบโครงสร้างการทำงานโดยรวมของชุดทดลอง 38
3.2 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ 39
3.3 รูปแบบโครงสร้างของ “ชุดทดลองพฤติกรรมของแบตเตอรี่” ที่ออกแบบในโปรแกรม SolidWorks 41
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างชุดทดลอง 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4.1 บอร์ด Arduino R3 43
3.4.2 Thermocouple 44
3.4.3 Module max6675 44
3.4.4 Power Supply 45
3.4.5 Heat plate 45
3.4.6 Controller Temperature.....46
3.4.7 Multimeter 46
3.4.8 Flash Light 47
3.4.9 Bread Board 47
3.4.10 สายไฟ 48
3.4.11 เทปพันสายไฟ 48
3.4.12 เทปอะลูมิเนียมฟลอยด์ 49
3.4.13 Computer 49
3.5 ขั้นตอนในการทดลอง.....50
3.5.1 การกำหนดค่าในการทดลอง.....50
3.5.2 การเก็บข้อมูล และลักษณะการเก็บข้อมูล.....50
3.5.3 การวิเคราะห์และประมวลผลการทดลอง.....51
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....52
4.1 การทดลองศึกษาพฤติกรรมการเกิดระเบิดและเพลิงไหม้ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน....52
4.1.1 ผลการทดลองของ NMC 18650.....52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.2 ผลการทดลองของ NCR 18650.....55
4.1.3 ผลการทดลองของ LCO 18650.....58
4.1.4 เปรียบเทียบแบตเตอรี่แต่ละประเภท.....61
4.2 ส่วนอภิปรายจากการทดลอง.....63
4.3 ส่วนความคิดเห็นจากการทดลอง.....63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....64
5.1 สรุปผลการทดลอง.....64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แผนการดำเนินงาน.....6
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่.....14
ตารางที่ 3 วัสดุของส่วนประกอบแบตเตอรี่ลิเทียม.....19
ตารางที่ 4 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลอง NMC18650 ทั้ง 3 ก้อน.....54
ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลอง NCR18650 ทั้ง 3 ก้อน.....57
ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลอง LCO18650 ทั้ง 3 ก้อน.....60
ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบแบตเตอรี่ทั้งสามชนิด.....62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ประเภทของรถยนต์ไฟฟ้า 2
รูปที่ 1.2 การเกิด Thermal Runaway 4
รูปที่ 2.1 ผังยานยนต์ประเภท HEV 7
รูปที่ 2.2 ผังยานยนต์ประเภท PHEV.....8
รูปที่ 2.3 ผังยานยนต์ประเภท BEV 8
รูปที่ 2.4 ผังยานยนต์ประเภท FCEV 9
รูปที่ 2.5 ยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง 13
รูปที่ 2.6 Radar Chart of NMC 14
รูปที่ 2.7 Radar Chart of LCO 15
รูปที่ 2.8 Radar Chart of LFP 16
รูปที่ 2. 9 Radar Chart of NCR 16
รูปที่ 2. 10 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียม 18
รูปที่ 2. 11 การทำงานของแบตเตอรี่ขณะ Discharge 20
รูปที่ 2. 12 กระบวนการเกิด Thermal Runaway 21
รูปที่ 2. 13 Mechanistic Model of SEI layer 22
รูปที่ 2. 14 การทบทวนวรรณกรรม 1 23
รูปที่ 2. 15 การทบทวนวรรณกรรม 1 24
รูปที่ 2. 16 การทดลองของการทบทวนวรรณกรรม 3 25
รูปที่ 2. 17 การทดลองของการทบทวนวรรณกรรม 5 27
รูปที่ 2. 18 การทดลองของการทบทวนวรรณกรรม 6 28
รูปที่ 2. 19 การทดลองของการทบทวนวรรณกรรม 7.....29
รูปที่ 2. 20 การทดลองของการทบทวนวรรณกรรม 8.....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2. 21 การทดลองของการทบทวนวรรณกรรม 9 31
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องบีบอัดแบตเตอรี่ 33
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของปริญญานิพนธ์.....38
รูปที่ 3.2 การออกแบบในส่วนฮาร์ดแวร์.....39
รูปที่ 3.3 การต่อสายไฟและการต่ออุปกรณ์ในการทำการทดสอบ.....40
รูปที่ 3.4 ฐานของตัวล็อคแบตเตอรี่.....41
รูปที่ 3.5 ชิ้นส่วนที่ใช้ล็อคแบตเตอรี่.....42
รูปที่ 3.6 ภาพรวมชิ้นส่วนตัวล็อคแบตเตอรี่.....42
รูปที่ 3.7 Board Arduino R3.....43
รูปที่ 3.8 Thermocouple Type k.....44
รูปที่ 3.9 Module max6675 44
รูปที่ 3.10 Power Supply 45
รูปที่ 3.11 Heat Plate.....45
รูปที่ 3.12 Controller Temperature.....46
รูปที่ 3.13 Multimeter.....46
รูปที่ 3.14 Flash Light.....47
รูปที่ 3.15 Bread Board.....47
รูปที่ 3.16 สายไฟ AWG 24 48
รูปที่ 3.17 เทปพันสายไฟ 3 M.....48
รูปที่ 3.18 เทปอะลูมิเนียมฟลอยด์ 3 M.....49
รูปที่ 3.19 Computer.....49
รูปที่ 3.20 ตารางการเก็บข้อมูล.....50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.21 ตารางการเปรียบเทียบข้อมูลแบตเตอรี่แต่ละประเภท.....51
รูปที่ 4.1 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา NMC18650 ก้อนที่ 1.....52
รูปที่ 4.2 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา NMC18650 ก้อนที่ 2.....53
รูปที่ 4.3 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา NMC18650 ก้อนที่ 3.....53
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดลองแบตเตอรี่ NMC18650.....54
รูปที่ 4.5 รูปขณะเกิดการระบายความดัน, การระเบิดและเกิดเพลิงไหม.....54
รูปที่ 4.6 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา NCR18650 ก้อนที่ 1.....55
รูปที่ 4.7 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา NCR18650 ก้อนที่ 2.....55
รูปที่ 4.8 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา NCR18650 ก้อนที่ 3.....56
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดลองแบตเตอรี่ NCR18650.....57
รูปที่ 4.10 รูปขณะเกิดการระบายความดัน, การระเบิดและเกิดเพลิงไหม.....57
รูปที่ 4.11 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา LCO18650 ก้อนที่ 1.....58
รูปที่ 4.12 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา LCO18650 ก้อนที่ 2.....58
รูปที่ 4.13 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา LCO18650 ก้อนที่ 3.....59
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดลองแบตเตอรี่ LCO18650.....60
รูปที่ 4.15 รูปขณะเกิดการระบายความดัน, การระเบิดและเกิดเพลิงไหม.....60
รูปที่ 4.16 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลาของแบตเตอรี่ทั้งสามชนิด.....61
รูปที่ 4.17 รูปเปรียบเทียบขณะเกิดการระบายความดัน, การระเบิดและเกิดเพลิงไหมของแบตเตอรี่ทั้งสามชนิด.....62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประวัติศาสตร์เกี่ยวกับยานยนต์ได้มีมานานตั้งแต่ ปี คริสต์ศักราช 1844 และได้พัฒนาผ่านกาลเวลามากกว่าหลายทศวรรษจนมาถึงยุคของยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งได้เริ่มต้นมีการเปลี่ยนแปลงและให้ความสนใจกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากตระหนักถึงมลภาวะที่ส่งออกไปจากกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน อีกทั้งยังต้องใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่มีอยู่จำกัด ทำให้เห็นถึงพลังงานทางเลือกใหม่ที่มีผลช่วยเกี่ยวกับมลภาวะและทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดไปด้วยทำให้ปัญหาด้านมลพิษ และ ราคาน้ำมัน ถูกแก้ไขโดยมีการคิดค้นและหาพลังงานทางเลือกอื่นๆที่หลากหลายโดยตัวเลือกหนึ่งก็คือ พลังงานไฟฟ้า โดยได้มีจุดเริ่มต้นตั้งแต่ปีคริสต์ศักราช 1881 โดยรถยนต์ไฟฟ้าคันแรกได้ถือกำเนิดออกมา ในปีคริสต์ศักราช 1888 ด้วยกำลัง 0.9 กิโลวัตต์ (1 แรงม้า) วิ่งได้ด้วยความเร็วสูงสุด 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บนน้ำหนักตัวรถ 400 กิโลกรัม ซึ่งเมื่อเทียบกับปัจจุบันทำให้ได้รู้ว่ากาลเวลาที่เดินผ่านมนุษย์ได้ให้ความสนใจและมีการพัฒนาเกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าอย่างมากซึ่งในปัจจุบันรถยนต์ไฟฟ้าก็มีมากมายหลายประเภท ดังนี้

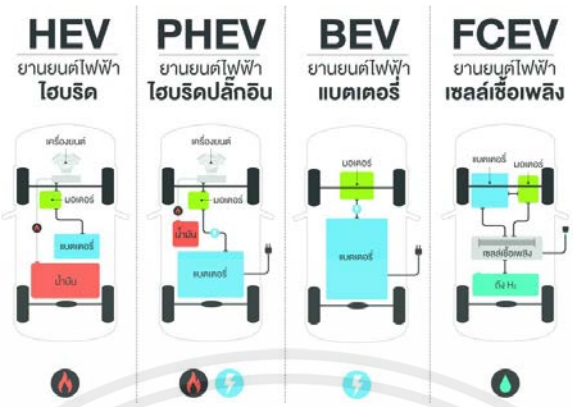
1.รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ 100% หรือ Battery Electric Vehicle – BEV ที่จะใช้พลังงานสะอาดอย่างแท้จริงขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า 100% ไม่มีมลพิษเลย

2.รถยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริด หรือ Hybrid Electric Vehicle – HEV จะเป็นยานยนต์ที่ใช้พลังงานแบบผสมโดยจะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาป และ พลังงานไฟฟ้ากับมอเตอร์ไฟฟ้ามีสองระบบในรถทำให้ลดการใช้เชื้อเพลิงลง

3. รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดแบบปลั๊กอิน หรือ Plug-in Hybrid Electric Vehicle – PHEV จะต่อยอดมาจาก Hybrid Electric Vehicle – HEV แต่จะแตกต่างตรงที่ จะเพิ่มระบบเสียบปลั๊กชาร์จไฟขึ้นมา ทำให้สามารถอัดประจุไฟฟ้ามาเก็บไว้ใช้ได้

4. รถยนต์พลังงานไฮโดรเจนหรือรถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle - FCEV) คือรถที่ใช้เซลเชื้อเพลิงเปลี่ยนแก๊สไฮโดรเจนเป็นพลังงานไฟฟ้าจะแตกต่างจากรถยนต์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแบตเตอรี่ หรือก็คือรถที่สารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ด้วยตัวเองจากแก๊สไฮโดรเจน และผ่านกระบวนการเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้า และได้น้ำออกมาจากกระบวนการนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 ประเภทของรถยนต์ไฟฟ้า

(ที่มา: https://erdi.cmu.ac.th/?p=1489)

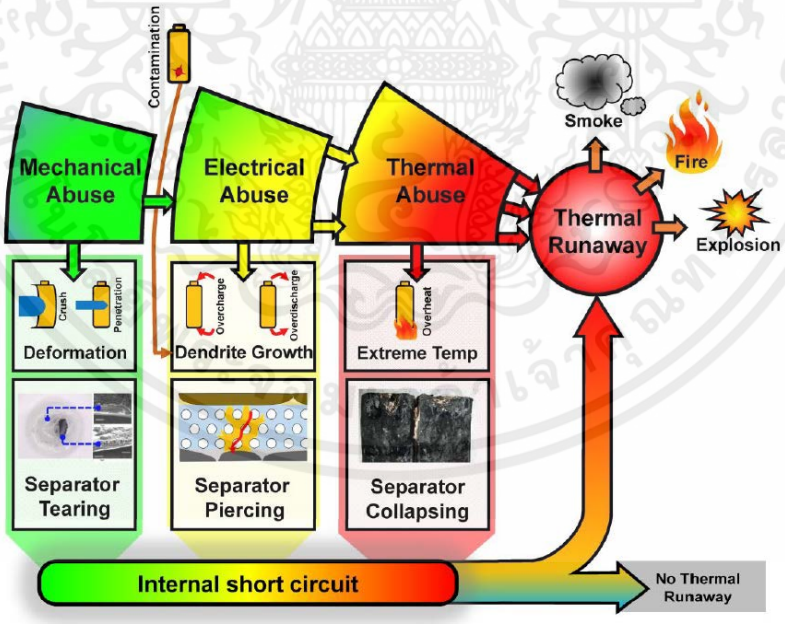
จะเห็นได้ว่าปัจจุบันเทคโนโลยีด้านยานยนต์ไฟฟ้านั้นมีการให้ความสนใจทั่วโลกและมากมายในส่วนของเราก็จะสนใจรถยนต์ประเภทที่มีแบตเตอรี่เป็นหลักโดยในรถยนต์ไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่มีระบบมากมายที่ซับซ้อนในรถยนต์ไฟฟ้า เริ่มจากระบบที่เป็นหัวใจหลักของรถยนต์ไฟฟ้าเลยก็คือ ระบบไฟฟ้าแรงดันสูงซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักในการทำให้รถยนต์ไฟฟ้าขับเคลื่อนได้ ในระบบฟ้าแรงดันสูงก็จะมีอุปกรณ์ที่เป็นเหมือนดังร่างกายมนุษย์ก็คือแบตเตอรี่แรงดันสูง และ อุปกรณ์ที่เป็นเหมือนดั่งสมอง ก็คือ ระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่คอยควบคุมถัดมาก็คือระบบที่สำคัญของรถไฟฟ้าโดยรับช่วงต่อจากพลังงาน คือ ระบบขับเคลื่อน ซึ่งคือสิ่งที่นำพลังงานไฟฟ้ามาขับเคลื่อนทำให้รถยนต์ไฟฟ้าวิ่งได้นั่นเอง สุดท้ายก็จะเป็นระบบเสริมเพื่อเพิ่มความสดวกสบายในปัจจุบันก็คือ ระบบควบคุมการขับขี่ และ ระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำที่จะเกี่ยวข้องกับสิ่งอำนวยความสดวกในห้องโดยสาร ทำให้เห็นได้ว่าการพัฒนาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันสามารถรับมือกับปัญหาของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในโดยการนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้แทน ส่งผลให้ปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงในอุตสาหกรรมยานยนต์ทั่วโลกโดยมีการผลิตจัดจำหน่ายและใช้สอยรถยนต์ไฟฟ้ากันมากขึ้นทั่วโลกในปัจจุบัน โดยอ้างอิงจากสถิติ ในปีคริสต์ศักราช 2021 ทั้งปี มีคนใช้รถยนต์ไฟฟ้า 11,382 คันในประเทศไทย แต่ในปีคริสต์ศักราช 2022 ใน 7 เดือนแรกของปีมีคนใช้รถยนต์ไฟฟ้ากว่า 20,087 คันในประเทศไทยจะเห็นได้ว่ามีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้นทุกๆวัน เพราะเหตุผลหลายปัจจัยทั้งด้านสิ่งแวดล้อม หรือ ความสดวกสบาย รวมทั้งประหยัดค่าน้ำมันอีกด้วยจึงทำให้ในปัจจุบันในท้องตลาดมีการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าหลากหลายทั้ง รูปแบบ ราคา สมรรถนะ และ ลักษณะการใช้งาน เป็นต้น แต่ปัญหาหลายหลายอย่างได้ถูกแก้ไขด้วยการเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้า ก็ย่อมมีปัญหาใหม่ตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปัญหาที่เกิดขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้านั่นพบเจอได้ทั่วโลกซึ่งแล้วแต่กรณีที่เกิดและมีเหตุผลและปัจจัยอะไรบ้างที่ทำให้เกิดเหตุ โดยปัญหาที่ทั่วโลกพบเจอส่วนมากคือปัญหาการระเบิดและเกิดเพลิงไหม้ก็คือในส่วนของแบตเตอรี่ที่มีจำนวนมากและการทำงานของแบตเตอรี่ก็มีความเกี่ยวเนื่องกับความร้อนและปัจจัยการเกิดเหตุระเบิดและเพลิงไหม้มากที่สุด และการเกิดมีหลากหลายรูปแบบล้วนแล้วแต่ปัจจัยที่เกิดขึ้นตามวัตถุประสงค์ของมนุษย์ โดยมีหลากหลายปัจจัย เช่น เรื่องระยะทางการขับขี่ที่มาพร้อมกับสถานีอัดประจุยังไม่ครอบครุมในช่วงแรกจึงทำให้ต้องมีการวางแผนการเดินทางเพื่อการเดินทางระยะไกล หรือ แม้กระทั่งเรื่องการจัดการขยะแบตเตอรี่ที่เป็นเหมือนดาบสองคมที่ต้องการลดมลภาวะทางท่อไอเสียของเครื่องยนต์สันดาบภายในแต่กลับสร้างขยะแบตเตอรี่ ซึ่งยังไม่มีมาตรการที่ชัดเจนจึงต้องมีการดำเนินการเรื่องนี้ต่อไป สุดท้ายก็คือเรื่องราคาของตัวรถที่ถูกออกมาจัดจำหน่ายจากผู้ผลิตในช่วงแรกก็ทำให้มีเพียงคนบางกลุ่มเท่านั้นที่สามารถเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้ เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ทันสมัยตามองค์ความรู้ของมนุษย์และเทคโนโลยีในปัจจุบันที่ก้าวหน้าและทันสมัยแต่ก็มาพร้อมกับราคาที่สูงเช่นกันจึงทำให้ปัญหานี้ มีการแก้ไขโดยมีผู้ผลิตที่หลากหลายมากขึ้นและมีให้เลือกหลายรูปแบบและหลายราคาซึ่งเมื่อราคาต่ำประสิทธิภาพและความปลอดภัยก็อาจจะลดลงไปเช่นเดียวกันทำให้เกิดปัญหาที่เราสนใจและต้องการจะแก้ไขปัญหาของรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันนั้นก็คือ การระเบิดและเกิดเพลิงไหม้ในแบตเตอรี่ โดยเริ่มจากราคาที่ถูกลงและความต้องการในประสิธิภาพที่สูงพอๆกับรถไฟฟ้าที่ราคาแพงจึงทำให้เกิดช่องโหว่ของความปลอดภัย เช่นการชาร์จที่รวดเร็วใช้เวลาน้อย ก็ต้องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าด้วยพลังงานที่มากซึ่งความทนทานของวัสดุที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าราคาไม่สูงอาจทนต่อความร้อนไม่ไหว หรือ อาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับทฤษฎีทางไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรง DC หรือกระแสไฟฟ้าสลับ AC ซึ่งมีความแตกต่างกันเช่น ไฟฟ้ากระแสสลับ AC นั้นสามารถส่งไปที่ไกลๆได้ดี กำลังไฟฟ้าไม่ตก หรือสามารถแปลงแรงดันให้สูงขึ้นหรือต่ำลงได้ตามต้องการ ไฟฟ้ากระแสตรง DC นั้นจะไหลไปในทิศทางเดียวกันตลอด มีค่าแรงดันไฟฟ้าหรือแรงเคลื่อนเป็นบวกเสมอ โดยมีคุณสมบัติที่เราสนใจด้วยคือ สามารถเก็บประจุไว้ในเซลล์ หรือ แบตเตอรี่ได้ ทำให้เวลาชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าถ้าเป็นกระแสไฟฟ้าสลับ AC ต้องแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง DC ก่อน เหตุผลทั้งหมดเหล่านี้ล้วนอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาที่เรานั้นสนใจจะมาแก้ไข และ เหตุการณ์ระเบิดและเพลิงไหมในแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้านั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทุกเวลาไม่ว่าจะเป็นขณะขับขี่ , ขณะจอดเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ , ขณะจอดรถ หรือ หลังจากเกิดอุบัติเหตุก็มีโอกาศที่จะทำให้เกิดเหตุได้ สามารถอ้างอิงจากสถิติการเกิดเหตุระเบิดและเพลิงไหม้ของรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศจีน มีเนื้อความว่าในปีคริสต์ศักราช 2020-2021 มีการรายงานเหตุเกิดการระเบิดและเพลิงไหม้ของรถยนต์ไฟฟ้า 86 ครั้ง เฉลี่ยออกมาเป็น 1 ครั้งต่อ 1 สัปดาห์ แต่ในปีคริสต์ศักราช 2023 มีการรายงานการเกิดเหตุมากถึง 640 ครั้ง เมื่อเทียบรายปีมีอัตราการเกิดเพิ่มขึ้นถึง 32% หรือ เฉลี่ย 7 คันต่อ 1 วัน อีกทั้งระบบป้องกันในรถยนต์ไฟฟ้าปัจจุบันมีการป้องกันที่น้อยมากในส่วนของการระเบิดและเพลิงไหม้ในแบตเตอรี่ เมื่อเทียบกับระบบป้องกันด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่นๆ และในประเทศไทยถือว่ายังใหม่มากสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่มีการผลิต วิจัย และทดลองกับสภาพอากาศหรือพื้นที่ในต่างประเทศซึ่งทำให้บางระบบไม่สามารถทำงานได้เต็มที่พร้อมกับความปลอดภัยใน อุณหภูมิ หรือ สภาพพื้นที่ท้องถนนในประเทศไทยเท่าที่ควร อีกทั้งยังไม่มีมาตรฐานความปลอดภัยที่ครอบคลุมของการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อรองรับการใช้งานที่มากขึ้นทำให้เกิดความกังวลที่จะมีความเสี่ยงในการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้ากับผู้ขับขี่ ซึ่งทำให้หลายคนตระหนักถึงความปลอดภัยของการใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพด้านการใช้งานและมีประสิทธิภาพต่อด้านความปลอดภัยในเหตุฉุกเฉินขนาดใหญ่ และ โอกาสที่เกิดล้วนมีหลายปัจจัยหลักมีอยู่สามส่วน นั่นก็คือ Mechanical Abuse โดยเกิดได้หลากหลายรูปแบบ การถูกเจาะ ถูกกระแทก ถูกบีบ ถูกกด ถูกขูดเป็นต้น ซึ่งเป็นผลพวงต่อเนื่องที่สามรถทำให้เกิด Electrical Abuse ซึ่งมีการเกิดได้สองแบบ คือจากการ Overcharge และ Internal Short Circuit ซึ่งถ้าเซลแบตเตอรี่ถูกแรงมากระทำแบบ Mechanical Abuse ก็อาจส่งผลให้เกิดการ Internal Short Circuit ขึ้นได้ซึ่งเป็นผลพวงทำให้เกิดปัจจัยสุดท้ายนั่นก็คือ Thermal Abuse หรือก็คือการเกิด Overheat ขึ้นเนื่องจากมีอุณหภูมิสะสมที่มากเกินไปจากปัจจัยต่างๆทั้งสามนี้ทำให้เกิดเหตุการ Thermal Runaway หรือการเกิดเหตุระเบิดและเพลิงไหม้ในแบตเตอรี่นั่นเอง ซึ่งมีการเกิดดังนี้ เริ่มจากเกิดควันออกมาก่อน จากนั้นก็จะเกิดเพลิงไหม้ และสุดท้ายก็จะเกิดการระเบิดในที่สุด ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษา ค้นคว้า และ ทดลอง พร้อมทั้งรับมือป้องกันกับปัญหาใหม่ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 1.2 การเกิด Thermal Runaway

(ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/Thermal-runaway-caused-due-to-rise-in-battery-temperature-11_fig1_362692661)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาการระเบิดและเกิดเหตุเพลิงไหม้ในรถยนต์ไฟฟ้า ที่กล่าวถึงเกิดจากการที่มนุษย์เริ่มเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฟฟ้ากันมากขึ้นอย่างแพร่หลาย แต่รถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันมีช่องโหว่ในเรื่องความปลอดภัยของการเกิดระเบิดและเพลิงไหม้ในแบตเตอรี่ ที่มีปัจจัยในการเกิดได้หลายหลายรูปแบบ และ หลากหลายกรณีที่เป็นเหตุเกิดตัวอย่าง ซึ่งเหตุผลที่จะสื่อคือไม่ว่าจะเป็นรถยนต์สันดาป หรือ รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ทุกประเภททุกล้วนมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไปทำให้ในฐานะวิศวกรก็ต้องการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับการพัฒนาและเทคโนโลยีเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในทุกด้านจึงทำให้เกิดความคิดที่จะจัดทำวิทยานิพนธ์ หรือ Thesis ที่ต้องการจะศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการเกิดของการระเบิดและเกิดเพลิงไหม้ในแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า ทำให้มีกระบวนการการค้นคว้า ทดลอง และ เก็บข้อมูลเพื่อนำมาหาวิธีป้องกันและระงับเหตุการระเบิดและเกิดเหตุเพลิงไหม้ หรือ หวังว่าข้อมูลที่ทำนี้จะนำไปต่อยอด เพื่อหาสิ่งที่ดีกว่า และ เป็นประโยชน์ต่อผู้คนที่สนใจเกี่ยวกับข้อมูลของวิทยานิพนธ์นี้ และ ให้เป็นข้อมูลที่ทำให้ตระหนักถึงข้อบกพร่องหรือผลเสียของการเกิดระเบิดและเพลิงไหม้ในแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า อีกทั้งยังต้องการที่จะส่งเสริมในการพัฒนาเกี่ยวกับความปลอดภัย และ การใช้งานนวัตกรรมยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันรวมถึงในอนาคตข้างหน้าอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมและลักษณะของอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า ขณะเกิดการระบายแรงดันและการเกิดระเบิดของแบตเตอรี่ทั้ง 3 ชนิด

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมและลักษณะของอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า ขณะเกิดการระบายแรงดันและการเกิดระเบิดของแบตเตอรี่ทั้ง 3 ชนิด

1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางและจุดเริ่มต้นของการก่อตั้งศูนย์ทดสอบแบตเตอรี่ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3 ขอบเขต

ศึกษาพฤติกรรมขณะเกิดการระบายแรงดัน (Venting) และเกิดการระเบิด (Explode) ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Thermal Runaway โดยจะศึกษาแบตเตอรี่ NMC , LCO , NCR ขนาด 18650 ชนิดละ 3 ก้อน ทำการทดลองด้วยการให้ความร้อนจาก Heat plate จนทำให้เกิด Thermal Runaway ภายใต้สถานะการชาร์จ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 แผนงานดำเนินการ

ตารางที่ 1 แผนการดำเนินงาน

PLAN		ACTUAL						
NO	Detail	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR
1	Find information							
2	Presentation 1							
3	Design							
4	Prepare equipment							
5	Setup experimental							
6	Test experimental							
7	Start the test , Collect data							
8	Analyze data							
9	Presentation 2							

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงพฤติกรรมการเกิดเหตุระเบิดและเพลิงไหม้ของแบตเตอรี่ลิเทียม

1.5.2 ได้ชุดทดลองแบตเตอรี่ที่สามารถใช้ได้จริงโดยมีความปลอดภัย

1.5.3 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้างความเข้าใจและเปรียบเทียบถึงพฤติกรรมของแบตเตอรี่แต่ละประเภทที่ได้เลือกมาทดลอง

1.5.4 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการพัฒนาและต่อยอดเกี่ยวกับด้านความปลอดภัยของแบตเตอรี่ลิเทียม

1.5.5 เพื่อเป็นแนวทางและจุดเริ่มต้นของการก่อตั้งศูนย์ทดสอบแบตเตอรี่ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันนี้ผู้คนมีการหันมาใช้พลังงานสะอาดกันมากขึ้นเพื่อลดมลภาวะทางอากาศ ทำให้มีการเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

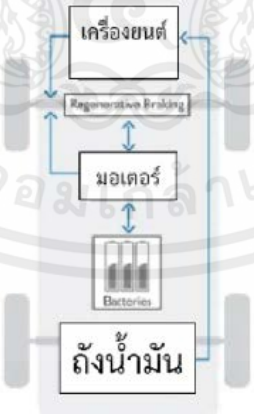
โครงงานนี้ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้า โดยมุ่งเน้นไปในส่วนของแบตเตอรี่ (Li-ion Battery) ศึกษาการทำงานและความปลอดภัยของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อป้องกันหรือเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้งาน

2.1 ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric vehicle)

ยานยนต์ไฟฟ้า หมายถึง ยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว หรือยานยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปในการช่วยขับเคลื่อนหรือผลิตพลังงานไฟฟ้าเก็บสะสมในแบตเตอรี่ หรือยานยนต์ที่มีการอัดประจุไฟฟ้าจากภายนอก หรือการใช้เชื้อเพลงไฮโดรเจนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง

2.1.1 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric vehicle, HEV) ยานยนต์ที่มีการใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนเป็นหลัก และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าร่วมเพื่อช่วยเพิ่มกำลังในการขับเคลื่อน ทำให้รถมีประสิทธิภาพสูงขึ้น อีกทั้งยังมีการเปลี่ยนพลังงานกลที่เหลือเป็นพลังงานไฟฟ้าเก็บในแบตเตอรี่เพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า

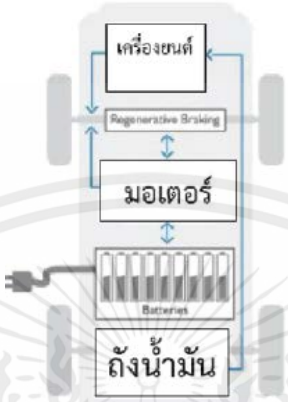


รูปที่ 2.1 ผังยานยนต์ประเภท HEV

(ที่มา : http://www.evat.or.th/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

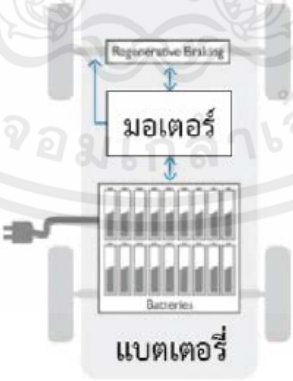
1. ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid vehicle, PHEV) ยานยนต์ที่มีการพัฒนาต่อมาจากยานยนต์ HEV มีการอัดประจุจากภายนอกมาเก็บในแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่มากกว่า HEV ทำให้สามารถวิ่งด้วยพลังงานไฟฟ้าได้ในระยะทางที่ไกลขึ้น



รูปที่ 2.2 ผังยานยนต์ประเภท PHEV

(ที่มา : http://www.evat.or.th/)

2. ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) ยานยนต์ที่ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียว ไม่มีเครื่องยนต์สันดาป และใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ได้จากการอัดประจุจากภายนอก ทำให้ไม่มีไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

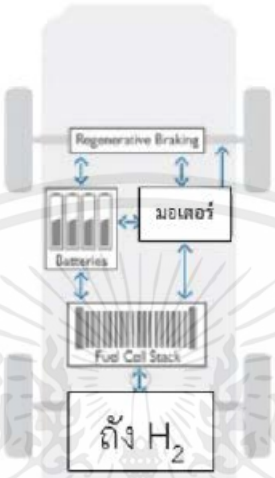


รูปที่ 2.3 ผังยานยนต์ประเภท BEV

(ที่มา : http://www.evat.or.th/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) ยานยนต์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อน โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ผลิตจากเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) ซึ่งใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง โดยการเติมจากภายนอก ซึ่งไม่มีการปลดปล่อยมลพิษ มีเพียงการปล่อยน้ำเท่านั้น



รูปที่ 2.4 ผังยานยนต์ประเภท FCEV

(ที่มา : http://www.evat.or.th/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV)

ยานยนต์ไฟฟ้าในทุกวันนี้มีหลากหลายแบรน หลากหลายรุ่น โดยรุ่นที่เห็นกันบ่อยๆ ก็จะเป็นTesla, MG, BYD, Ora Good Cat เป็นต้น และเริ่มที่จะมีอู่ภายนอกที่พากันนำรถเครื่องยนต์สันดาปมาดัดแปลงเป็นรถไฟฟ้ากันมากขึ้น โดยจะจำแนกยานยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่จากโรงงาน และยานยนต์ไฟฟ้าที่มาจากการดัดแปลง

โดยจะกล่าวถึงในด้านระบบความปลอดภัยและระบบต่างๆของยานยนต์ไฟฟ้าทั้ง 2 ประเภท

2.2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าจากโรงงาน (Electric vehicle from factory)

ยานยนต์ไฟฟ้าจากโรงงานก็จะเป็นยานยนต์ที่มีการผ่านการทดสอบในด้านความปลอดภัยหรือมาตรฐานต่างๆ ของโรงงาน มีส่วนประกอบหลักๆอยู่ 4 ระบบดังนี้

1. ระบบไฟฟ้าแรงดันสูง

    1.1 แบตเตอรี่แรงดันสูง (HVB : High Voltage Battery) ทำหน้าที่ในการเก็บพลังงานมีส่วนประกอบจากแบตเตอรี่หลายๆเซลล์รวมเข้าด้วยกัน ส่วนมากใช้แบตเตอรี่ลิเทียม เพราะมีความสามารถในการคายประจุฉับพลัน รวมถึง ยังมีความจุพลังงานและน้ำหนักที่เหมาะสมกับรถยนต์ไฟฟ้า

    1.2 ระบบการจัดการแบตเตอรี่ (BMS : Battery Management System) เป็นสมองกลที่คอยจัดการดูแลการทำงานทุกๆเซลล์ ในแบตเตอรี่ หน้าที่มีตั้งแต่ ตรวจสอบและควบคุมการชาร์จ , การคายประจุของแบตเตอรี่ , ตรวจสอบอุณหภูมิ , สถานะการชาร์จ , การใช้พลังงานของแบตเตอรี่ , ส่งข้อมูลเพื่อประสานงานกับระบบอื่นๆ , ปรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าของแบตเตอรี่ให้ทานตามที่กำหนด

    1.3 หน่วยจ่ายไฟฟ้าในแบตเตอรี่ (BDU : Battery Distribution Unit) รับคำสั่งต่อจาก BMS โดยการควบคุมการชาร์จไฟ หรือ การคายประจุในแต่ละเซลล์ให้ได้เหมาะสม หลักการทำงานคล้ายรีเลย์ จะติดตั้งอยู่ภายในแบตเตอรี่แรงดันสูง

    1.4 ระบบชาร์จไฟฟ้าแบบ On-Board (OBC : On-Board Charger) จะแปลงกระแสสลับAC ไปเป็นกระแสตรงDC ในการชาร์จไฟฟ้าเข้าสู่ Battery จะแปลงกระแสตรงDC ไปเป็นกระแสสลับ AC ให้มอเตอร์ขับเคลื่อน จะแปลงกระแสตรงแรงดันสูง ไปเป็นกระแสตรงแรงดันต่ำ เพื่อชาร์จไฟเข้าสู่ Battery แรงดันต่ำ 12 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 กล่องควบคุมการสื่อสารของรถยนต์ไฟฟ้า (EVCC : Electric Vehicle Communication Controller) ทำหน้าที่บริหารจัดการ ระหว่างรถ EV และ สถานีชาร์จ หรือ อุปกรณ์ชาร์จ EVCC จะทำหน้าที่เป็นเกตเวย์แลกเปลี่ยนข้อมูลร่วมกันผ่านการสื่อสารระหว่างที่ชาร์จภายนอก กับ ECU โดยรับข้อมูลผ่านเซนเซอร์รอบตัวรถเพื่อมาประมวลผล

1.6 ชุดสายไฟแรงสูง High Voltage Wiring Harness ลำเลียงพลังงานไฟฟ้าแรงดันสูงไปยังส่วนต่างๆของรถยนต์ไฟฟ้า โดยจะเป็นสายไฟฟ้าสีส้ม มีฉนวนป้องกัน และ ฉลากเตือน

1.7 ช่องชาร์จแบตเตอรี่(Charging Port)มีหลากหลายรูปแบบในท้องตลาดรองรับการชาร์จทั้ง AC และ DC

1.8 สวิตซ์ตัดไฟ (Safety Switch) ใช้ในการตัดการทำงนของระบบไฟฟ้าแรงดันสูง เป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มความปลอดภัยในงานซ่อมบำรุง หรือ กรณีฉุกเฉินที่เล็กน้อย

1.9 ชุดควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า (Electric power control unit, EPCU) : แบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

1.9.1 อินเวอร์เตอร์ (Invertor) : ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์

1.9.2 Low voltage DC-DC converter: ทำหน้าที่แปลง High voltage to low voltage สำหรับอุปกรณ์ต่างๆภายในรถ

1.9.3 Vehicle control unit: ทำหน้าที่ควบคุมระบบต่างๆภายในรถ เช่น การควบคุมมอเตอร์ เบรก และระบบไฟฟ้าต่างๆ

2. ระบบขับเคลื่อน

2.1 ระบบส่งกำลัง (Reducer) : ทำหน้าที่ในการส่งกำลังจากมอเตอร์ไปสู่ล้อ ส่วนมากจะมีเพียง 1 เกียร์ โดยทำการปรับหรือลดรอบของมอเตอร์ให้มีความเหมาะสมในการใช้งาน

2.2 มอเตอร์ (Induction Motor) : มอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานจลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบควบคุมการขับขี่

   3.1 หน่วยควบคุมยานพาหนะ (Vehicle Control Unit) เป็นสมองกลอัจฉริยะที่คอยควบคุม และตรวจสอบระบบการทำงานทุกอย่างในการขับเคลื่อนรถยนต์ EV โดย รับข้อมูลจากเซนเซอร์ต่างๆเช่น ตำแหน่งคันเร่ง ตำแหน่งเกียร์ ข้อมูลจากกล่องควบคุมอื่นๆ เพื่อมาประมวลผลและสั่งการ ระบบขับขี่ ระบะเบรก ระบบแอร์ ระบบไฟฟ้า เป็นต้น

4. ระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ

   4.1 ระบบพลังงานไฟฟ้าแรงดันต่ำ จะมีพลังงานประมาณ 12-14 V โดยจะถูกใช้ในระบบอำนวยความสะดวกในห้องโดยสาร เช่น ระบบการสั่งงานด้วยเสียง มัลติมีเดีย เบาะฟ้า กระจกฟ้า เป็นต้น

   4.2 ระบบความปลอดภัย ระบบป้องกันทั่วไปเช่น ถุงลมนิรภัยเมื่อทำงาน จะทำให้มีไฟฟ้าแรงดันต่ำทำหน้าที่ปลดล๊อกประตูทุกบานโดยอัตโนมัติ พร้อมโทรแจ้งเหตุฉุกเฉินไปยังศูนย์ช่วยเหลือ หรือจะเป็นระบบช่วยเบรก ADAS : Advanced Driver Assistance System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง (Electric vehicle conversion)

ยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงคือ การนำรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปมาเปลี่ยนเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า โดยรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงสามารถเลือกอุปกรณ์ต่างๆอย่างเช่น แบตเตอรี่ มอเตอร์ คอนโทรลเลอร์ ของแบรนต่างๆมาประกอบเป็นรถใหม่ โดยมีทีมวิศวกรช่วยในการเลือกอุปกรณ์หรือประเมินสภาพรถก่อนที่จะทำการดัดแปลง

ในด้านความปลอดภัยและมาตรฐานต่างๆในปัจจุบันนี้ประเทศไทยยังอยู่ในช่วงลงนามหรือลงมติในการออกกฎและมาตรฐานให้กับผู้ประกอบการที่รับในการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้า

รูปที่ 2.5 ยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

(ที่มา : https://www.ev-roads.com/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 แบตเตอรี่ลิเทียม (Lithium ion battery, LIB)

ในปัจจุบันแบตเตอรี่ลิเทียมถูกนิยมใช้เป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ยานยนต์ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งแบตเตอรี่ลิเทียมก็มีขนาดที่แตกต่างกัน โดยมีหน่วยในการอ่านค่าของแบตเตอรี่ ดังนี้

Energy density: พลังงานที่กักเก็บได้ต่อหน่วย มีหน่วยเป็น Wh/m^3 (น้ำหนักหรือปริมาตร)

หรือ Specific energy : พลังงานที่กักเก็บได้ต่อน้ำหนัก มีหน่วยเป็น Wh/Kg หรือ กำลังไฟฟ้า-ชั่วโมง ต่อ น้ำหนัก

Power density: ปริมาณกำลัง (อัตราในการถ่ายโอนกำลัง) ต่อหน่วยปริมาตร มีหน่วยเป็น W/m^3

หรือ Specific power : ปริมาณกำลังที่จ่ายได้ต่อหน่วยน้ำหนัก มีหน่วยเป็น W/Kg

ตัวอย่างแบตเตอรี่ลิเทียมบางชนิด

1. NMC (Nickel-Manganese-Cobalt) เป็นวัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทด

ข้อดี - ความหนาแน่นของพลังงานสูง (High energy density) ประมาณ 190-265 Wh/Kg
-ประสิทธิภาพในการชาร์จดี (Good charging performance)
- ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าส่วนมาก (Most common in EV models)

ข้อเสีย - รอบการชาร์จต่ำ (Shorter life cycle)
- มีความเสี่ยงสูงในการเกิด Thermal runaway
- วัสดุในการผลิตแพง, ไม่ยั่งยืน (Unsustainable)

รูปที่ 2.6 Radar Chart of NMC

(ที่มา: https://www.klcbright.com/lithium-battery-type.php)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. LCO (Lithium-Cobalt-Oxide) เป็นวัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทด

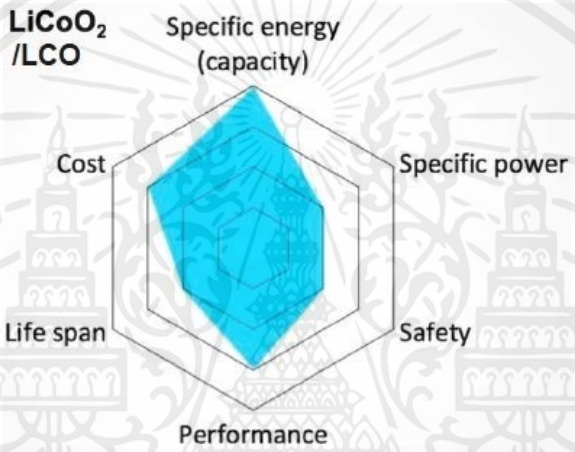
ข้อดี - มีค่าพลังงานจำเพาะสูง สามารถจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ที่กินไฟต่ำได้นาน

- ประสิทธิภาพในการชาร์จดี (Good charging performance)

ข้อเสีย - รอบการชาร์จต่ำ (Shorter life cycle)

- มีความเสี่ยงสูงในการเกิด Thermal runaway

- วัสดุในการผลิตแพง, ไม่ยั่งยืน (Unsustainable)



รูปที่ 2.7 Radar Chart of LCO

(ที่มา: https://www.klcbright.com/lithium-battery-type.php)

3. LFP (Lithium-ferrous-phosphate) เป็นวัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทด

ข้อดี - มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน (Longer-lasting life cycle) รอบการชาร์จมากกว่า 2000 รอบ

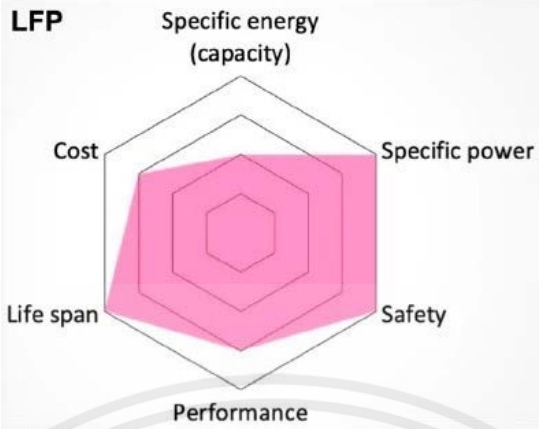
- ต้นทุนในการผลิตต่ำ

- มีความเสี่ยงต่ำในการเกิด Thermal runaway

ข้อเสีย - ความหนาแน่นของพลังงานต่ำ (Lower energy density) 90-165 Wh/Kg

- มีความไวต่อการเพิ่มอุณหภูมิขณะชาร์จ (Temperature-sensitive charging-performance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 Radar Chart of LFP

(ที่มา: https://www.klcbright.com/lithium-battery-type.php)

4. NCR (Nickel- Cobalt- Rechargeable) เป็นวัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทด

ข้อดี - ประสิทธิภาพในการชาร์จดี (Good charging performance)

- ความหนาแน่นของพลังงานสูง (High energy density) 224 Wh/Kg

ข้อเสีย - มีความเสี่ยงสูงในการเกิด Thermal runaway

- วัสดุในการผลิตแพง, ไม่ยั่งยืน (Unsustainable)

รูปที่ 2.9 Radar Chart of NCR

(ที่มา: https://www.klcbright.com/lithium-battery-type.php)

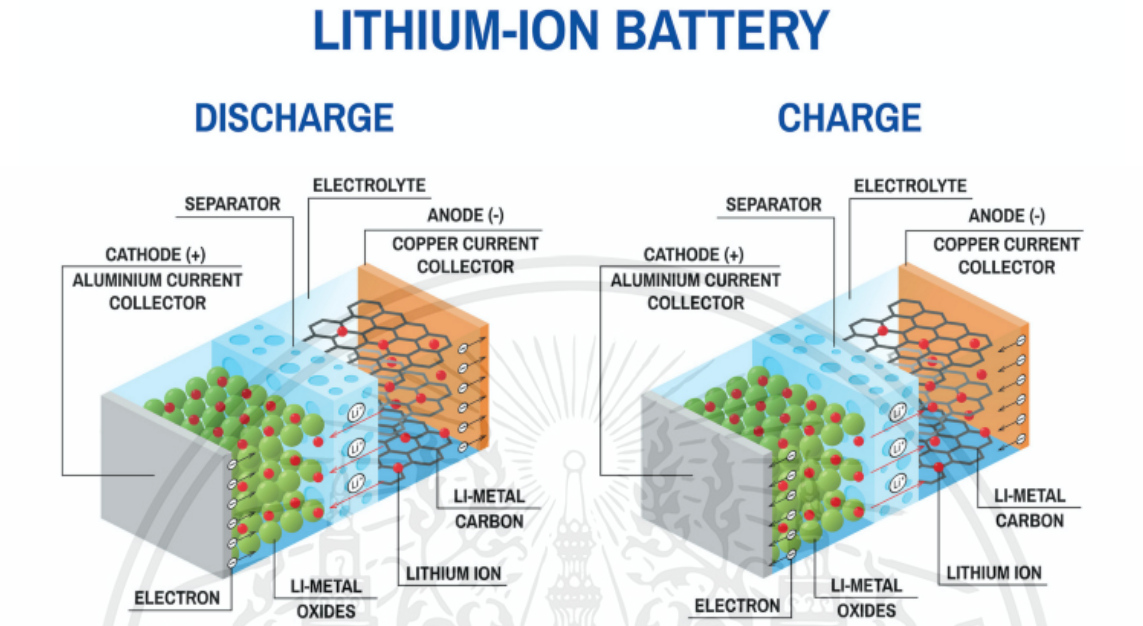
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่

Battery types / Factors	NMC (Nickel-Manganese-Cobalt)	LCO (Lithium-Cobalt-Oxide)	LFP (Lithium- **F**errous-Phosphate)	NCR (Nickel- Cobalt-**R**echargeable)
Energy density	✓✓✓	✓✓✓	✓	✓✓✓
Power density	✓✓	✓	✓✓✓	✓✓
Cycle of charge	✓	✓	✓✓	✓✓
Safety	✓✓	✓	✓✓✓	✓
Price	✓✓	✓✓	✓	✓✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียม



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียม

(ที่มา : https://www.changfi.com/fix/2021/09/30/lithium-ion-battery-2/)

ส่วนประกอบหลักมี 5 อย่าง คือ

1. ขั้วแคโทด (Cathode) : ทำจากเมทัลออกไซด์บนแผ่นอะลูมิเนียม ซึ่งความสามารถในการใช้งานและความปลอดภัยขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทด

2 .ขั้วแอโนด (Anode) : ทำมาจากธาต์คาร์บอนที่มีรูพรุน เช่น แกรไฟต์ (C6) เคลือบบนแผ่นทองแดง

3. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) : จะประกอบไปด้วยเกลือของลิเธียม เช่น LiPF6 / LIBF4 ซึ่งมีคุณสมบัติที่ยอมให้ไอออนของลิเธียมผ่าน แต่ไม่ให้อิเล็กตรอนผ่าน

4. ตัวคั่น (Separator) : ทำจากพลาสติกพวกพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) / พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) ซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ขั้วแคโทดและแอโนดสัมผัสกัน โดย PP มีคุณสมบัติทนความร้อนได้ประมาณ 140-170 องศาเซลเซียส ส่วน PE ทนความร้อนได้ประมาณ 105 องศาเซลเซียส

5. Current collector เป็นส่วนโลหะตัวนำที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนไหลผ่านออกสู่วงจรภายนอก และเกิดการนำพลังงานไฟฟ้าจนสามารถนำไปใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากส่วนประกอบที่กล่าวมาข้างต้นนี้ รวมถึงหลักการไฟฟ้าเคมี จะทำให้ Li-ion Battery ทำงาน จากการไหลผ่านของอิเลกตรอนไปสู่โลหะจนทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและ หากแบตเตอรี่หมดต้องทำให้เกิดประจุไฟอีกครั้งก็จะสามารถใช้งานได้ จนกว่าแบตเตอรี่จะเสื่อมสภาพหรือหมดอายุการใช้งานซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของแบตเตอรี่ โดยแบ่งแยกประเภทจากวัสดุที่นำมาใช้

วัสดุที่นำมาใช้สร้างส่วนประกอบของ Li-ion Battery นั้นล้วนมีข้อดีข้อเสียที่ต่างกัน Lithium-ferrous-phosphate (LFP) เป็นวัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทดที่ปลอดภัย เพราะ มีความเสถียรต่อความร้อนทำให้มีความเสี่ยงต่ำในการเกิด Thermal runaway อีกทั้งยังมีต้นทุนที่ต่ำ แต่ก็ตามมาด้วยข้อด้อยที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทดชนิดอื่น เนื่องจากมีความหนาแน่นของพลังงานต่ำกว่าทำให้การคายประจุก็ต่ำลงไปเช่นกัน หรือ ในส่วนของขั้วแอโนดที่มักใช้ คาร์บอน และ กราไฟต์เป็นวัสดุที่นิยม เนื่องจากสามารถรองรับการย้อนกลับปริมาณมากของลิเทียมได้ดังนั้นจึงสรุปวัสดุในการทำส่วนประกอบของ Li-ion Battery ดังตาราง

ตารางที่ 3 วัสดุของส่วนประกอบแบตเตอรี่ลิเทียม

Cathode	NMC, NCA, LFP, LMO, LCO, EPCs
Anode	Graphitic Carbon, Hard Carbon, Synthetic Graphite, LTO, Tin-based alloys, Silicon-based alloys
Separator	Polypropylene, Polyethylene, Cellulosic paper, Nonwoven fabrics, Ceramic
Electrolyte Salts	$LiPF_6$, $LiClO_4$, $LiAsF_6$, $LiCF_3SO_3$, $LiBF_4$
Electrolyte Solvents	DMC, EC, DEC, PC, Gamma-GBL, RTIL's
Binder	PVDF, SBR, Glass Fiber, CMC, ACM
Gel Precursor	PEO, PAN, PVDF, PMMA, PTFE
Flame Retardants	HMPN, THP, TFP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

กลไกการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนก็เหมือนกันกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ คือการเปลี่ยนพลังงานเคมีภายในแบตเตอรี่เป็นพลังงานไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าไปใช้กับอุปกรณ์ต่างๆด้วยกระบวนการปลดปล่อย (Discharge process) และในทางกลับกันแบตเตอรี่จะอัดประจุกลับโดยกระบวนการชาร์จ (Charging process) ขณะเดียวกันลิเทียมไอออนจะเคลื่อนที่ผ่าน Electrolyte จากขั้วแคโทดไปแอโนด และอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรกระแสไฟฟ้าภายนอก จากขั้วแคโทดไปแอโนดเช่นกัน

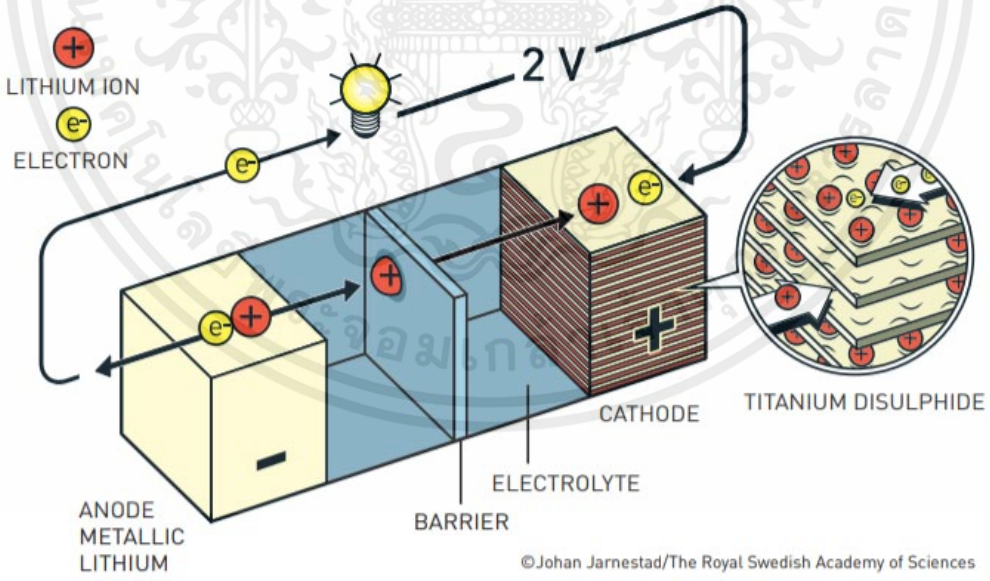
โดยปฏิกิริยาทางเคมีในการจ่ายกระแสไฟฟ้า (Discharge process)

Anode (-) : LiC_6 (s) $\longrightarrow$ C_6 (s) + Li^+ (aq) + e^- เป็นปฏิกิริยา Oxidation (จ่ายอิเล็กตรอน)

Cathode (+) : CoO_2 (s) + Li^+ (aq) + e^- $\longrightarrow$ $LiCoO_2$ (s) เป็นปฏิกิริยา Reduction (รับอิเล็กตรอน)

Overall reaction during discharging : LiC_6 (s) + CoO_2 (s) $\rightleftharpoons$ C_6 (s) + $LiCoO_2$ (s) เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) หรือ (Reduction + Oxidation) และเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ Reversible reaction

หากเป็นการชาร์จ (Charging process) ก็จะเป็นปฏิกิริยาตรงข้ามกับปฏิกิริยาที่กล่าวมา



รูปที่ 2.11 การทำงานของแบตเตอรี่ ขณะเกิดการ Discharge

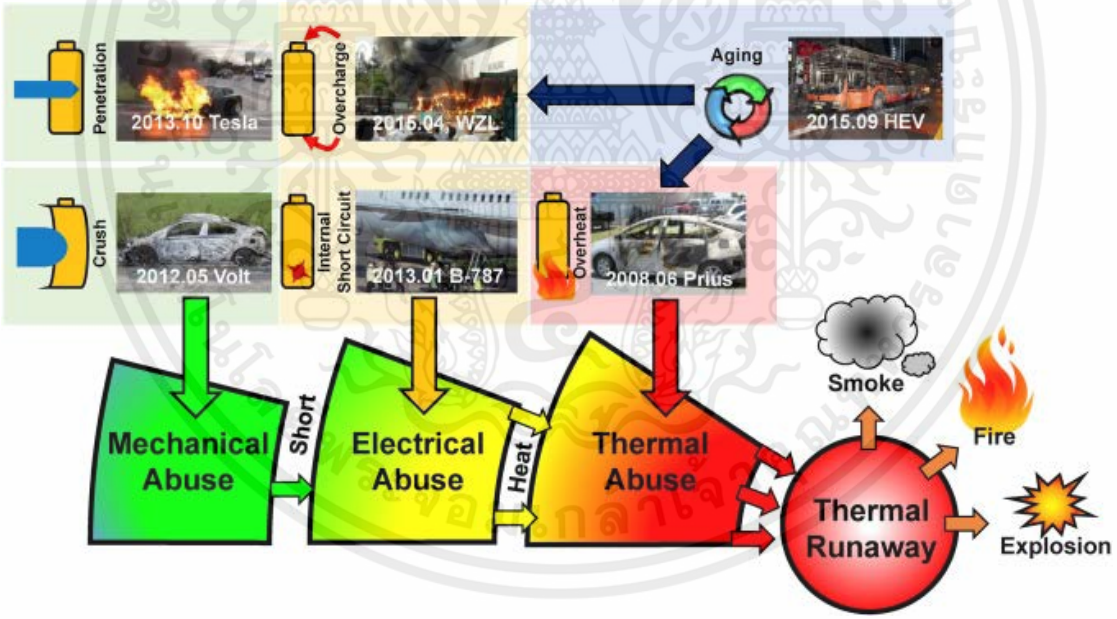
(ที่มา : https://www.scispec.co.th/learning/index.php/blog/elemental/lithium-battery)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Thermal runaway process

Thermal runaway เป็นหนึ่งในความเสี่ยงหลักที่เกิดขึ้นได้ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยมีลักษณะการเกิด คือ การที่เซลล์แบตเตอรี่ไม่สามารถควบคุมได้หรือสามารถเกิดความร้อนด้วยตัวมันเอง ซึ่งมีผลกระทบต่อความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ อุณหภูมิและความดัน ซึ่งสามารถเกิดได้จาก 3 ปัจจัยคือ ทางกล, ทางไฟฟ้า, ทางความร้อน ดังรูปที่ 2.8

ในการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมในสถานะปกติ ความต่างศักย์ภายในเซลล์แบตเตอรี่จะค่อยๆลดลง ถ้าหากความต่างศักย์ของแบตเตอรี่มีการลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์แบตเตอรี่ไม่สมบูรณ์ จะทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้น ซึ่งเป็นการบ่งบอกได้ว่าแบตเตอรี่ได้มีการสูญเสียความสามารถในการทำงานและอาจนำมาสู่การลัดวงจรภายในเซลล์แบตเตอรี่ ลักษณะที่ความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ลดลงอย่างรวดเร็ว จะเกิดในช่วงอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของตัวคั่นภายในแบตเตอรี่



รูปที่ 2.12 กระบวนการเกิด Thermal Runaway

(ที่มา : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2405829716303464)

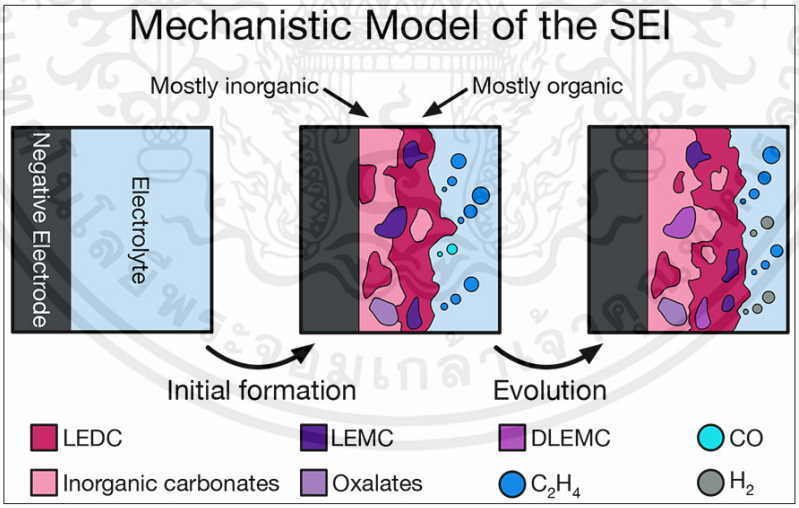
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanism inside the battery when Thermal Runaway occurs.

เริ่มจากการสลายตัวของชั้น SEI ซึ่งคือชั้นบางๆเกิดขึ้นบนกราไฟท์แอโนดทำหน้าที่ป้องกันแอโนดไม่ให้ทำปฏิกิริยากับอิเล็กโทรไลต์อีก ที่อุณหภูมิภายในประมาณ 80-120 °C การสลายตัวของชั้น SEI จะสร้างความร้อนภายในแบตเตอรี่ และยังทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่าง Anode กับ Electrolyte ทำให้ผลที่ตามมาคือ แอโนดสูญเสียการป้องกันจากชั้น SEI และ ตัวทำละลายอินทรีย์ทำปฏิกิริยากับลิเทียมแบบ intercalated lithium ทำให้เกิดสารไฮโดรคาร์บอน ที่สามารถติดไฟได้นั่นเอง

หลังจากที่เกิดปฏิกิริยาจากการสลายตัวของชั้น SEI เมื่อไม่มีชั้นดังกล่าวทำให้ Separator ไม่สามารถคงอยู่ไว้ได้จึงเกิดการสัมผัสระหว่างแคโทดและแอโนดซึ่งกันและกันทำให้เกิดความร้อนภายในเซลล์อาจทำให้ ISC ส่งผลให้เกิด Thermal Runaway ในที่สุด

ในการเกิด Thermal Runaway อุณหภูมิที่สูงขึ้น แคโทดจะสลายตัวและปล่อย O_2 ออกมา ทำให้เกิดความร้อนสูงเมื่อความร้อนเกิดขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องทำให้อิเล็กโทรไลต์สลายตัวและจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซฟลูออไรด์ ไฮโดรคาร์บอน จนถึงจุดที่แบตเตอรี่ระเบิด เกิดไฟ และ เกิดควันเขม่าในที่สุด



รูปที่ 2.13 Mechanistic Model of SEI layer

(ที่มา: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsenergylett.2c00517)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การทบทวนวรรณกรรม

2.7.1 Research Status of Cathode Materials for Lithium Ion Batteries

By Zihao Lin. School of Materials Science and Engineering, China University of Geosciences Beijing, Bejing, China. Jun 2023

ในบทความนี้ เป็นการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับวัสดุแคโทดสำหรับแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน รวมถึงภาพรวมของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ดัชนีประสิทธิภาพขั้นพื้นฐาน เช่น Energy density หมายถึง อัตราส่วนของการเก็บประจุต่อน้ำหนัก (Wh/kg) และ Power density หมายถึง อัตราส่วนในการจ่ายแรงดันต่อน้ำหนัก (W/kg)

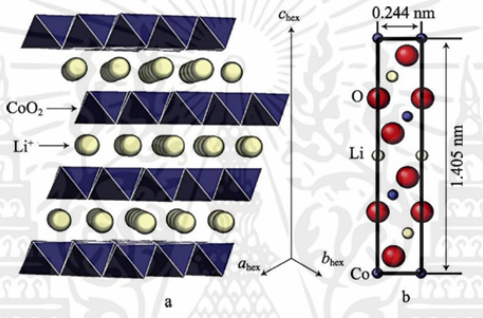


Fig. 6 Crystal Structure Model (a) and Unit Cell Parameter (b) of Layered LiCoO2 with Space Group R-3m [19]

รูปที่ 2.14 การทบทวนวรรณกรรม 1

ส่วนวัสดุ LiCoO2 ที่ใช้เป็นขั้วแคโทด มีข้อดีในด้านของการจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้สูง มีความเสถียรในการจ่าย รอบการใช้งานที่ดี แต่ก็ยังมีข้อเสีย คือ หากมีรอบการใช้งานที่เพิ่มขึ้น จะเกิดความต้านทานภายในมาก และสูญเสียเสถียรสภาพทางความร้อน

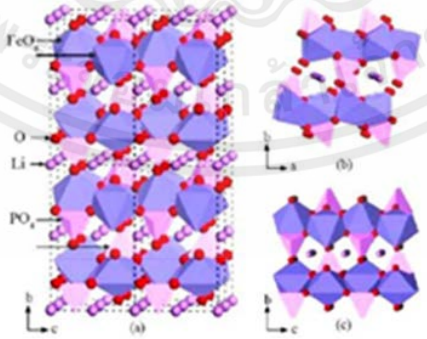


Fig. 9 Schematic Diagram of Crystal Structure of Olivine LiFePO4 [32]

รูปที่ 2.15 การทบทวนวรรณกรรม 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุ LiFePO4 ที่ใช้เป็นขั้วแคโทด มีพันธะโควาเลนต์ระหว่าง P-O ที่แข็งแรงทำให้มีความเสถียรภาพทางความร้อนและเสถียรภาพพลวัตที่สูง มีโครงสร้างที่มั่นคง จ่ายแรงดันเสถียร แต่ก็ยังมีข้อเสีย คือ มีความสามารถในการประจุอิเล็กตรอนที่ไม่สูง

2.7.2 Li-Ion Battery Fire Hazards and Safety Strategies.

By Lingxi Kong, Chuan Li, Jiuchun Jiang and Michael G. Pecht. At University of Maryland, Chongqing Technology and Business University, Beijing Jiaotong University. 22 August 2018

ในปัจจุบันมีการใช้แบตเตอรี่ลิเทียมกันมากขึ้นและมีเหตุการณ์ที่ได้รับความเสียหายจากการระเบิดหรือไฟไหม้จากแบตเตอรี่ลิเทียม เลยจะมาพูดถึงลักษณะของการเกิด Thermal runaway และการป้องกันหรือปัจจัยที่เลี่ยงไม่ให้เกิดการเกิด Thermal runaway

การเกิดThermal runaway มีผลต่อแรงดันของแบตเตอรี่ อุณหภูมิและความดัน โดยแรงดันของแบตเตอรี่จะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว ก่อนที่เกิด Thermal runaway. และแบตเตอรี่จะมีอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากความร้อนที่สะสมมีมากกว่าการระบายความร้อน

ปกติแรงดันของแบตเตอรี่จะไม่ลดลงอย่างรวดเร็ว หากมีการลดลงอย่างรวดเร็วของแรงดัน หลังจากนั้น 15-40 วินาที พบว่า อุณหภูมิของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นอย่างควบคุมไม่ได้ และการลดลงอย่างรวดเร็วของแรงดันจะเป็นช่วงที่อุณหภูมิที่ตัวคั้นหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 120°C และอาจจะเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิด Thermal runaway

หากจะพูดถึงการป้องกันก็จะมีในส่วนของเซฟตี้วาล์วที่จะทำการปล่อยความดันที่เกินกำหนดออกมา แก๊สเฉื่อยหรือสารหน่วงไฟที่จะใส่ไปในสารอิเล็กโตรไลต์เพื่อให้มีจุดติดไฟที่สูงขึ้นและตัวคั้นที่ทำหน้าที่คั้นระหว่างแคโทดและแอโนด อาจจะทำให้มีหลายชั้นมากขึ้นหรือใช้วัสดุที่มีจุดหลอมเหลวที่สูงมากกว่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 Measurement of 18650 Format Lithium ion Battery Vent Mechanism Flow Parameters

By Frank Austin Mier, At New Mexico Institute of Mining and Technology Socorro, New Mexico, Degree of Master of Science in Mechanical Engineering with Specialization in Explosives Engineering, May 2018

แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมีแนวโน้มความล้มเหลวอย่างมาก ภายใต้สภาวะการใช้งานที่ไม่เหมาะสมต่างๆ ที่ได้รับการบันทึกไว้ สภาวะเหล่านี้มักส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวภายในส่วนประกอบไฟฟ้าเคมีของแบตเตอรี่ ทำให้เกิดก๊าซและความดันภายในเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่การแตกของกล่องระเบิดได้

การทดสอบเพื่อวัดพารามิเตอร์นี้ ภายใต้การทดสอบหรือเงื่อนไขจากความผิดพลาดภายนอก ความดันภายในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่แผ่นระเบิดที่ทำเครื่องหมายไว้ภายในฝาปิดช่องระบายอากาศแตกออก

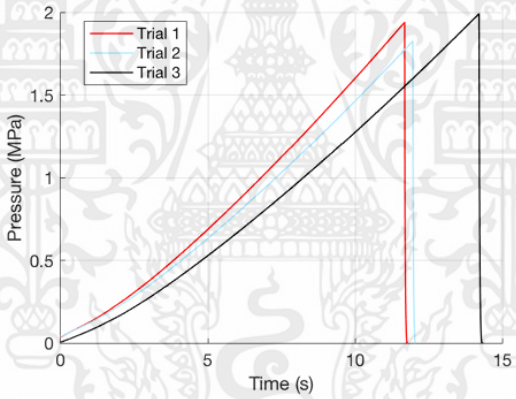


Figure 2.2: Pressure traces from initial burst pressure testing with LG HE2 vent caps.

รูปที่ 2.16 การทดลองของการทบทวนวรรณกรรม 3

การทดลองแรงดันระเบิดครั้งแรกใช้แบตเตอรี่ LG He_2 จำนวน 3 ก้อน แสดงร่องรอยแรงกดที่วัดได้ของการทดลองทั้งสามครั้ง แรงดันระเบิดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.92 MPa หรือ 19.2 bar หรือ 278 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 Fire Behaviour of NMC Li-ion Battery Cells.

By Russo P, Longobardo G, Mazzaro M, Di Bari C, Cancelliere P. At Sapienza University of Rome, Department Chemical Engineering Materials Environment, Rome, Italy. May 2019

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นแบตเตอรี่ที่มีพลังงานที่สูงและมีความหนาแน่นของพลังงานสูง เหมาะแก่การเป็นพลังงานสำรองให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆที่สามารถพกพาได้

จากการทดลองการให้ความร้อน 10-50 kW/m^2 กับแบตเตอรี่ลิเธียมที่มีแบตเตอรี่อยู่ 50 % และ 100 % พบว่า พฤติกรรมของแบตเตอรี่ แบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ เริ่มที่จะเกิด Thermal runaway, เกิดควัน อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและมีเปลวไฟ, เซลล์แบตเตอรี่ระเบิด/ไหม้ จากตัวอย่างแบตเตอรี่ที่ชาร์จอยู่ 50% ให้ความร้อน 35 kW/m^2 ใช้ระยะเวลาในการเกิดควันและเกิดการระเบิดที่เร็วกว่าการให้ความร้อนที่ 25 kW/m^2 ประมาณ 200s

สรุปแบตเตอรี่ที่มีความจุ 100 % จะมีการปล่อยหรือให้ความร้อนที่มากและมีระยะเวลาในการเกิด Thermal runaway ที่เร็วกว่าแบตเตอรี่ที่มีความจุเพียงครึ่งหนึ่งหรือ 50 %

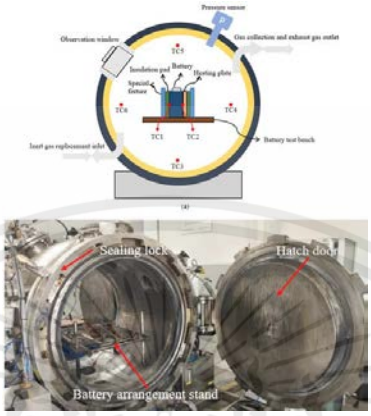
2.7.5. Experimental Study on Thermal Runaway Behavior of Lithium-Ion Battery and Analysis of Combustible Limit of Gas

By Production School of Locomotive and Vehicle Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China

เนื่องจากปัจจุบันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนถูกใช้เป็นพลังงานทางเลือกใหม่ในยานพาหนะไฟฟ้าที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย และก็ตามมาด้วยสถานีเก็บพลังงานที่มากขึ้นเช่นเดียวกันแต่อย่างไรก็ตาม อุบัติเหตุจากการเกิดเพลิงไหม้และการระเบิดในแบตเตอรี่ หรือ กระบวนการเกิด Thermal Runaway ก็มีมากขึ้นในปัจจุบัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบปฏิกิริยาคายความร้อนจากแบตเตอรี่ที่ไม่สามารถควบคุมได้เพื่อเป็นข้อมูลในการการออกแบบระบบแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย มากยิ่งขึ้นในการศึกษานี้ จะศึกษาแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่แตกต่างกันได้รับการทดสอบโดยการให้ความร้อนข้างในห้องทดลองแบบปิดที่มีแก๊สไนโตรเจนปริมาณมากภายในห้องทดลอง นอกจากนี้ ยังมีการคำนวณและเปรียบเทียบคุณลักษณะทางความร้อน รวมไปถึง องค์ประกอบของก๊าซ และอัตราการลุกไหม้ในระหว่างกระบวนการ Thermal Runaway ของแบตเตอรี่ ผลลัพธ์ระบุว่าพฤติกรรมการเกิด Thermal Runaway ของแบตเตอรี่ NCM มีความรุนแรงมากกว่าพฤติกรรมของแบตเตอรี่ LFP และปฏิกิริยาการเกิด Thermal Runaway จะรุนแรงมากขึ้นเมื่อมีความหนาแน่นของพลังงานเพิ่มขึ้น ภายใต้บรรยากาศแก๊สเฉื่อยของไนโตรเจน ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเกิด Thermal Runaway ส่วนใหญ่ได้แก่ H2, CO, CO2 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรคาร์บอน อัตราการลุกไหม้ของ Thermal Runaway และ การคำนวณพารามิเตอร์ลักษณะเฉพาะของวัสดุแคโทดที่แตกต่างกันได้รับการปรับปรุงและสรุป ซึ่งเป็นแนวทางในการออกแบบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่ปลอดภัยและการเลือกแบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพพร้อมด้วยความปลอดภัยที่มากขึ้น



รูปที่ 2.17 การทดลองของการทบทวนวรรณกรรม 5

(ที่มา: https://www.mdpi.com/2313-0105/8/11/250)

2.7.6. A review of thermal runaway prevention and mitigation strategies for lithium-ion batteries

By Faculty of Engineering and Applied Science, Ontario Tech University, 2000 Simcoe Street North, Oshawa, Ontario L1H 7K4, Canada

เนื่องจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนได้รับการสนใจอย่างกว้างขวางในด้านเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการจ่ายไฟให้กับยานพาหนะไฟฟ้า เนื่องจากมีพลังงานและความหนาแน่นของพลังงานสูงแต่ก็ยังมีข้อจำกัดด้านความปลอดภัยของแบตเตอรี่ คือ Thermal Runaway ที่จะเกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนซึ่งเป็นปรากฏการณ์การคายความร้อน ภายในแบตเตอรี่ แบบลูกโซ่ ทำให้อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ไม่เสถียรและเสื่อมสภาพ ซึ่งในที่สุดจะนำไปสู่ความล้มเหลวของแบตเตอรี่ บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมเกี่ยวกับประเด็นสำคัญของกระบวนการเกิด Thermal Runaway ซึ่งประกอบด้วยกลไกการเริ่มต้นของ Thermal Runaway การแพร่กระจายความร้อน และลักษณะเฉพาะของก๊าซที่ระบายออกในระหว่าง Thermal Runaway อีกทั้งเป็นปัญหาด้านความปลอดภัยที่สำคัญ ดังนั้น การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และตัวเลขการคำนวณเพื่อทำนายการเกิด Thermal Runaway จึงได้รับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบ ซึ่งให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบและพัฒนาชุดแบตเตอรี่ที่มีคุณสมบัติด้านความปลอดภัยการหนีความร้อน นอกจากนี้ ยังได้กล่าวถึงการพัฒนาระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่ ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันการ Thermal runaway

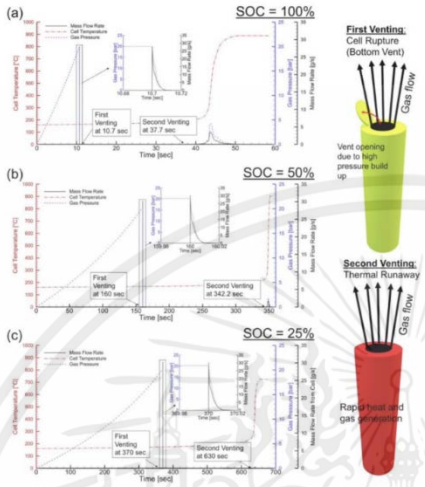


Table 1. Percentage of gases released with varying battery SOC [43].

Type	SOC (%)	H_2 (%)	CO_2 (%)	CO (%)	CH_4 (%)	C_2H_4 (%)	C_2H_6 (%)
NCA	0	1.8	94.7	1.9	1.2	0.4	–
NCA	25	15.5	62.7	5.5	8.7	7.5	–
NCA	50	17.5	33.8	39.9	5.2	3.2	0.4
NCA	75	24.2	20.8	43.7	7.5	3.3	0.5
NCA	100	22.6	19.7	48.9	6.6	2.4	–
NCA	112	25.1	18.8	48.1	5.9	2.1	–
NCA	120	23.5	20.8	48.7	5.4	1.6	–
NCA	127	28.8	16.2	46.6	6.4	1.3	0.3
NCA	132	25.8	18.9	49.2	4.7	1.4	–
NCA	143	26.2	22	43.4	6.9	1.5	–
LFP	0	2.7	93.5	1.8	0.7	0.7	0.7
LFP	25	7.1	85.3	3.1	1.2	3.1	0.2
LFP	50	20.8	66.2	4.8	1.6	6.6	–
LFP	75	21.8	62.6	6.4	1.9	6.3	1
LFP	100	29.4	48.3	9.1	5.4	7.2	0.5
LFP	115	34	52.2	6.4	2.6	4.7	0.1
LFP	130	30.1	55.8	7.7	6.4	–	–

รูปที่ 2.18 การทดลองของการทบทวนวรรณกรรม 6

(ที่มา https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174522001337)

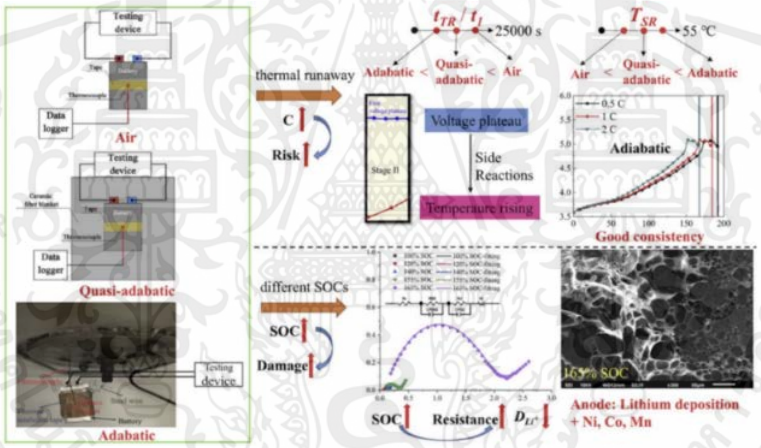
2.7.7. An investigation on thermal runaway behaviours of lithium-ion battery with Li (Ni0.6Co0.2Mn0.2)O2 cathode induced by overcharge under different heat dissipation conditions By a). Jiangsu Key Laboratory of Hazardous Chemicals Safety and Control, College of Safety Science and Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China

b). Department of Chemical and Process Engineering, Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Surrey, Guildford GU2 7XH, United Kingdom

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่มีการศึกษาเพียงเล็กน้อยเกี่ยวกับพฤติกรรมของแบตเตอรี่ภายใต้สภาวะการกระจายความร้อนที่แตกต่างกัน บทความนี้จะเปรียบเทียบพฤติกรรมความร้อนด้วยไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในอากาศ สภาพแวดล้อมเสมือน Adiabatic และ Adiabatic ระหว่างการปล่อยความร้อนที่เกิดจากการอัดประจุมากเกินไป หรือ Overcharging การศึกษาของเราเผยให้เห็นกลไกภายในของการชาร์จไฟมากเกินไปซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่จนไปถึงช่วงล้มเหลวของแบตเตอรี่ เราพบว่าแบตเตอรี่มีแนวโน้มที่จะเกิดการ Thermal Runaway มากกว่าภายใต้สภาวะการกระจายความร้อนที่ลดลงหรือมีอัตราการชาร์จเพิ่มขึ้น แต่สถานะประจุ (State of charge) เวลาที่มีการระบายความร้อนไม่จำเป็นต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพันธ์กับแบตเตอรี่เสมอไป แบตเตอรี่จะพัฒนาแรงดันไฟฟ้าคงที่ และอุณหภูมิจะสูงขึ้นในระหว่างระยะนี้ เนื่องจากปฏิกิริยาการสลายตัวของฟิล์มส่วนต่อประสาน Solid Electrolyte interface หรือปฏิกิริยาของอิเล็กโทรไลต์กับลิเธียมแบบ อินเทอร์คาเลต การไหลเวียนของอากาศและอุณหภูมิที่ไม่สอดคล้องกันอาจส่งผลต่ออุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในระหว่างการ Overcharge ความต้านทานที่เพิ่มขึ้น การทำลายแคโทด รวมถึงการเพิ่มระยะห่างของอนุภาค การละลายและการสะสมของโลหะทรานซิชันบนขั้วบวก และการตกตะกอนของ ลิเธียมบนพื้นผิวของขั้วบวกเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการชาร์จไฟเกิน ข้อสังเกตเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการจัดเก็บ การขนส่ง และการใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.19 การทดลองของการทบทวนวรรณกรรม 7

(ที่มา: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0017931023008220)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.8. Evaluation of detection criteria for thermal runaway experiments on commercial cells for electric vehicles

By a). European Commission, Joint Research Center (JRC), Petten, Netherlands

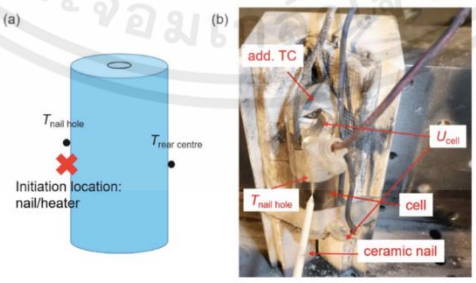
b). European Commission, Joint Research Center (JRC), Ispra, Italy

เนื่องจากปัญหาการเกิดระเบิดและเพลิงไหม้ในแบตเตอรี่ จึงได้ตระหนักถึงการตรวจหาการเปลี่ยนแปลงของความร้อนก่อนเกิดเพื่อหยุดปัญหาก่อนที่จะเกิดขึ้น ถือเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้โดยสารที่ออกจากรถในกรณีเกิดเพลิงไหม้ ในส่วนของการทดสอบจะปฏิบัติตามกฎข้อบังคับ และจะมี มาตรฐานพร้อมทั้งข้อบังคับสากล โดยให้เกณฑ์โดยพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าหรืออุณหภูมิของเซลล์รวมกับอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสำหรับการตรวจจับเหตุการณ์ความร้อน Thermal Runaway เอกสารทั้งหมดใช้เกณฑ์หลายประการร่วมกันในการระบุเหตุการณ์การ Thermal Runaway อย่างไรก็ตาม คำจำกัดความและการรวมกันของเกณฑ์เหล่านี้มีความแตกต่างกัน ตามเอกสารสากล เราระบุเกณฑ์การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของความร้อน และนำไปใช้กับข้อมูลจากการทดสอบการเคลื่อนตัวของความร้อนในเซลล์เดี่ยวเชิงพาณิชย์สำหรับยานพาหนะไฟฟ้า เหตุการณ์ที่เกิดถูกกระตุ้นโดยการเจาะตะปูหรือโดยเครื่องทำความร้อนบนรูปแบบเซลล์ต่างๆ เราสามารถเปรียบเทียบความแม่นยำของเกณฑ์และเกณฑ์ที่รวมกันโดยคำนึงถึงความสามารถในการแยกแยะระหว่างเหตุการณ์ทางความร้อนที่นำไปสู่การเกิด Thermal Runaway

Table 1
Overview of the cells characteristics and trigger methods. The cathode materials were NCA (Nickel, Cobalt, Aluminium) and NCM (Nickel, Cobalt, Manganese). The last column lists the number of tests that did not lead to thermal runaways; see Section 3.2 for details.

Manufacturer/Cell model	Vehicle	Cell type	Battery chemistry	Capacity [Ah]	Energy [Wh]	Gravimetric energy density [Wh/kg]	$T_{trig,op}$ [°C]	Number of tests, method	Number of non-TR events
Samsung INR21700-48G		Cylindrical 21700	NCA/graphite +15wt.% Si	4.8[a]	17.04[a]	250[b]	50	8 nail	3 nail
Samsung SDI	BMW i3, 2nd generation	Prismatic	Ni-rich NCM	94[a]	345.9[a]	170[b]	60	7 nail 7 heater	1 nail 2 heater
LG Chem	Hyundai Ioniq	Pouch	NCM/Graphite	39[a]	146[a]	195[c]	50	7 nail 5 heater	0 nail 1 heater
SK Innovation E400	Kia Soul MY18	Pouch	Ni-rich NCM/Graphite	40[a]	150[a]	191[c]	50	8 nail 5 heater	2 nail 2 heater

Data source:
[a]From data sheet.
[b]Calculated from data sheet.
[c]Calculated from data sheet, using measured average cell mass.



รูปที่ 2.20 การทดลองของการทบทวนวรรณกรรม 8

(ที่มา: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235248472301079X)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.9. Revealing the Thermal Runaway Behavior of Lithium Iron Phosphate Power Batteries at Different States of Charge and Operating Environment

By a). College of Intelligent Systems Science and Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, P. R. China.
b). School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, P. R. China.

ด้วยการใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนอย่างแพร่หลาย ปัญหาด้านความปลอดภัยจึงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นซึ่งปัญหาเกิดจากการใช้ความร้อน ใช้ไฟฟ้า ใช้ทางกลในทางที่ผิด อาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความร้อนได้ ดังนั้นการทำความเข้าใจพฤติกรรมการเกิด Thermal Runaway ของแบตเตอรี่ Li-ion และการป้องกันการเกิดมีความสำคัญอย่างยิ่งในทางปฏิบัติซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้นำแท่นทดลองประกอบด้วยแบตเตอรี่เดี่ยวลิเธียมเหล็กฟอสเฟต ($LiFePO_4$) ความจุขนาดใหญ่ 202 Ah และสร้างกล่องแบตเตอรี่ ศึกษาพฤติกรรมการเกิด Thermal Runaway ของแบตเตอรี่ภายใต้สถานะประจุ (SOC) 100% และ SOC 120% (ประจุมากเกินไป) ศึกษาโดยใช้เครื่องทำความร้อนไฟฟ้าอีกทั้งยังมีการศึกษาอย่างเป็นระบบเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมการเกิด Thermal Runaway ของโมดูลแบตเตอรี่ $LiFePO_4$ที่ทำงานในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยมีพื้นที่เปิดโล่งและกล่องแบตเตอรี่จ่ายไฟ โดยผลการระงับด้วยการพ่นสารดับเพลิงบนการเกิด Thermal Runaway ผลการวิจัยพบว่าการสลายตัวของฟิล์มโซลิดอิเล็กโตรไลต์อินเตอร์เฟส (SEI) ในแบตเตอรี่เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้เกิด Thermal Runaway ซึ่งจะรุนแรงมากขึ้นในสถานะมีประจุมากเกินไป นอกจากนี้ อุณหภูมิควบคุมความร้อนของแบตเตอรี่ Li-ion ในกล่องแบตเตอรี่จ่ายไฟต่ำกว่าในพื้นที่เปิดโล่ง แต่มีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของแบตเตอรี่โดยรอบ ในเวลานี้ การฉีดพ่นสารดับเพลิงอย่างทันท่วงทีสามารถลดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ควบคุมความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และป้องกันปฏิกิริยาลูกโซ่ที่ตามมา การศึกษานี้ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับพฤติกรรมการเกิด Thermal Runaway ของแบตเตอรี่ $LiFePO_4$ ความจุขนาดใหญ่ ที่ทำงานในสถานการณ์จริง

รูปที่ 2.21 การทดลองของการทบทวนวรรณกรรม 9

(ที่มา: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1452398123027499)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 มาตรฐานต่างๆ

2.8.1. UNECE R100 จะเป็นมาตรฐานการทดสอบแบตเตอรี่ยานยนต์ฟ้า 9 รายการ โดยทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหรือ สมอ.ได้ทำการยกร่างมาตรฐาน มอก.3026-2563 ขึ้นมาใหม่โดยอ้างอิงจากข้อกำหนด UN ECE R100 นี้และให้ชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่ายานยนต์ประเภท M และ N คุณลักษณะเฉพาะสำหรับระบบส่งกำลังด้วยไฟฟ้า (Vehicles of Category M and N with regard to specific

1. ความแข็งแกร่งของโครงสร้าง (Mechanical Integrity) แบตเตอรี่ที่ถูกทดสอบจะถูกบดอัดระหว่างแผ่นต้าน และแผ่นบดที่มีแรงอย่างน้อย 100 KN

2. การป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรภายนอก (External short circuit protection) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่จะถูกลัดวงจรจนกว่าจะสามารถยืนยันการทำงานของระบบการป้องกันการลัดวงจร

3. การป้องกันการชาร์จเกิน (Overcharge protection) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบการป้องกันการชาร์จเกิน เมื่อทำการทดสอบแบตเตอรี่ที่ถูกทดสอบจะถูกชาร์จจนกระทั่งแบตเตอรี่จะถูกตัดการชาร์จโดยอัตโนมัติหรือจนกว่าแบตเตอรี่นั้นจะชาร์จสองเท่าของความจุสูงสุด

4. การป้องกันการดิสชาร์จเกิน (Over-discharge protection) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ ในระหว่างการทดสอบ แบตเตอรี่จะถูกคายประจุจนกว่าจะถูกตัดการคายประจุหรือเมื่อแบตเตอรี่ถูกคายประจุถึง 25% ของระดับแรงดันไฟฟ้านอมินอล (Nominal voltage)

5. การป้องกันอุณหภูมิเกิน (Over temperature protection) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบป้องกันของแบตเตอรี่จากความร้อนที่สูงเกินไป เมื่อทำการทดสอบ แบตเตอรี่จะถูกชาร์จและดิสชาร์จออกมาซ้ำ ๆ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ แบตเตอรี่จะถูกวางในเตาอบพาความร้อนหรือห้องควบคุมภูมิอากาศ อุณหภูมิของเตาอบหรือห้องจะค่อยๆเพิ่มขึ้นถึงระดับที่กำหนดไว้ การทดสอบสรุปได้เมื่อแบตเตอรี่ที่ผ่านการทดสอบยับยั้งหรือจำกัดการชาร์จและดิสชาร์จเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การทนอุณหภูมิ (Thermal shock) เพื่อตรวจสอบความต้านทานของแบตเตอรี่ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกะทันหัน แบตเตอรี่ที่ทดสอบจะถูกเก็บไว้ที่ประมาณ 60° C อย่างน้อย 6 ชั่วโมง ตามด้วยการจัดเก็บที่ประมาณ -40° C อีก 6 ชั่วโมง ซ้ำห้าครั้งโดยมีช่วงเวลาพักระหว่างอุณหภูมิร้อนหรือเย็นสุดไม่เกิน 30 นาที

7. การกระแทก (Mechanical shock) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพความปลอดภัยของแบตเตอรี่ภายใต้แรงเฉื่อยที่อาจเกิดขึ้นในสภาพการชนของยานพาหนะ แบตเตอรี่ที่ถูกทดสอบจะถูกเร่งความเร็วหรือชะลอตัวตามความเร่งที่ระบุ

8. การทนไฟ (Fire resistance) ทดสอบเพื่อตรวจสอบความต้านทานของแบตเตอรี่ต่อไฟที่เกิดขึ้นนอกยานพาหนะเพื่อให้ผู้ขับขี่และผู้โดยสารมีเวลาหลบหนีที่เพียงพอ แบตเตอรี่ที่ถูกทดสอบจะต้องสัมผัสกับเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

9. การสั่นสะเทือน (Vibration) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพความปลอดภัยของแบตเตอรี่ ภายใต้เงื่อนไขการสั่นสะเทือน แบตเตอรี่ที่อยู่ภายใต้การทดสอบจะมีการสั่นสะเทือนรูปคลื่นไซน์ระหว่าง 7 Hz และ 50 Hz และกลับไปที่ 7 Hz ในช่วง 15 นาที โดยทำซ้ำ 12 ครั้งเป็นระยะเวลาการทดสอบทั้งหมดสามชั่วโมง

รูปที่ 2.22 ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องบีบอัดแบตเตอรี่

(ที่มา : https://data.thaiauto.or.th/component/tags/tag/29.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 IEC 62133-2:2021 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ข้อกำหนดและการทดสอบ สำหรับทำงานที่ปลอดภัยของเซลล์ทุติยภูมิ และแบตเตอรี่ทุติยภูมิลิเทียมผนึกกันรั่วแบบพกพา บรรจุอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่เป็นกรด ภายใต้การใช้งานตามเจตนาและการใช้งานผิดที่คาดการณ์ได้อย่างมีเหตุผล

<u>การใช้งานตามเจตนา</u>

1. การประจุที่แรงดันไฟฟ้าคงตัวต่อเนื่อง ให้ประจุเซลล์ที่ประจุเต็ม (fully charged cell) โดยการใช้วิธีประจุ (charging method) สำหรับแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานและกระแสไฟฟ้าที่ผู้ทำระบุ เป็นเวลา 7 วัน เกณฑ์การยอมรับ ไม่มีการลุกเป็นไฟ ไม่มีการระเบิด ไม่มีการรั่ว

2. ความเค้นของปลอกที่อุณหภูมิโดยรอบสูง ให้เผยผึ่งแบตเตอรี่ที่ประจุเต็มในอุณหภูมิสูงพอประมาณเพื่อประเมินค่าความมั่นคงของปลอกให้วางแบตเตอรี่นั้นในเตาอบ (oven) มีอากาศหมุนเวียนที่อุณหภูมิ 70 °C ± 2 °C เป็นเวลา 7 h หลังจากเอาแบตเตอรี่นั้นออกจากเตาอบแล้วปล่อยให้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้องเกณฑ์การยอมรับ ปลอกแบตเตอรี่ต้องไม่มีการผิดรูปทางกายภาพ (physical distortion) จนเกิดการเผยผึ่งเซลล์และส่วนประกอบป้องกันภายใน

การใช้งานผิดที่คาดการณ์ได้อย่างมีเหตุผล

1.การลัดวงจรภายนอก ให้เก็บรักษาเซลล์ที่ประจุเต็มแต่ละเซลล์ไว้ในอุณหภูมิโดยรอบ 55 °C ± 5 °C โดยวิธีดำเนินการที่สองตามข้อ 7.1.2 หลังจากการรักษาเสถียรภาพไว้เป็นเวลา 1 h ถึง 4 h และขณะที่ยังอยู่ในอุณหภูมิโดยรอบ 55 °C ± 5 °C ให้ลัดวงจรเซลล์นั้นโดยการต่อวงจรขั้วต่อลบและขั้วต่อบวกด้วยความต้านทานภายนอกโดยรวม 80 mΩ ± 20 mΩ ให้เซลล์นั้นคงอยู่ในสภาพทดสอบต่อไปเป็นเวลา 24 h หรือจนอุณหภูมิพื้นผิวลดลง 20 % ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงสุดแล้วแต่อย่างใดถึงก่อน

เกณฑ์การยอมรับ : ไม่มีการลุกเป็นไฟ ไม่มีการระเบิด

2.การตกอิสระ ให้ทำการทดสอบการตกอิสระ (free fall test) ในอุณหภูมิโดยรอบ 20 °C ± 5 °C โดยการใช้เซลล์หรือแบตเตอรี่ซึ่งถูกประจุเต็มโดยวิธีดำเนินการที่หนึ่งตามข้อ 7.1.1 ให้ปล่อยเซลล์หรือแบตเตอรี่แต่ละก้อนหล่นจากที่สูง 1.0 m ลงบนพื้นคอนกรีตหรือพื้นโลหะแบนราบจ านวน 3 ครั้ง โดยให้เซลล์หรือแบตเตอรี่นั้นกระทบพื้นในทิศทางสุ่ม หลังจากการทดสอบ ให้วางเซลล์หรือแบตเตอรี่นั้นพักไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 1 h แล้วจึงตรวจพินิจด้วยตาเปล่า เกณฑ์การยอมรับ : ไม่มีการลุกเป็นไฟ ไม่มีการระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การใช้ผิดทางความร้อน ให้วางเซลล์ที่ประจุเต็มแต่ละเซลล์ในเตาอบมีอากาศหมุนเวียนด้วยควาโน้ม

ถ่วงหรือการพาในอุณหภูมิโดยรอบ 20 °C ± 5 °C เป็นเวลา 1 h โดยวิธีด าเนินการที่สองตามข้อ 7.1.2 ให้เพิ่มอุณหภูมิเตาอบขึ้นที่อัตรา 5 °C/min ± 2 °C/min จนถึง 130 °C ± 2 °C ให้เซลล์นั้นยังคงอยู่ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 30 min ก่อนการทดสอบสิ้นสุด เกณฑ์การยอมรับ ไม่มีการลุกเป็นไฟ ไม่มีการระเบิด

4. การบดอัด ทันทีที่ย้ายเซลล์ที่ประจุเต็มแต่ละเซลล์ซึ่งถูกประจุโดยวิธีดำเนินการที่สองตามข้อ 7.1.2 ให้บดอัดเซลล์แต่ละเซลล์ระหว่างพื้นผิวแบนราบ 2 พื้นผิวในอุณหภูมิโดยรอบ ด้วยอุปกรณ์ให้แรงบดอัด 13kN ± 0.78 kN เมื่อแรงบดอัดสูงสุดหรือทันทีที่แรงดันไฟฟ้าตกลง 1/3 ของแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นแล้วจึงปล่อยแรงบดอัดให้บดอัดเซลล์ทรงกระบอกหรือเซลล์ทรงสี่เหลี่ยมตามแกนยาวของเซลล์ขนานกับพื้นผิวแบนราบของเครื่องบดอัด (crushing apparatus) ให้ทำเฉพาะด้านกว้างของเซลล์ทรงสี่เหลี่ยมให้บดอัดเซลล์เหรียญบนพื้นผิวแบนราบของเซลล์เหรียญ เกณฑ์การยอมรับ ไม่มีการลุกเป็นไฟ ไม่มีการระเบิด

5.การประจุเกินของแบตเตอรี่ ให้ทดสอบในอุณหภูมิโดยรอบ 20 °C ± 5 °C ให้ปล่อยประจุแบตเตอรี่ที่ทดสอบแต่ละก้อนที่กระแสไฟฟ้าคงตัว 0.2 It A จนถึงแรงดันไฟฟ้าถึงที่สุดที่ผู้ท าระบุแล้วจึงประจุแบตเตอรี่ตัวอย่างทดสอบที่กระแสไฟฟ้าคงตัว 2.0 It A โดยการใช้แรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย ดังนี้

• 1.4 เท่าของแรงดันไฟฟ้าประจุขีดจำกัดบนตามตารางที่ ก.1 (แต่ไม่เกิน 6.0 V) ส าหรับแบตเตอรี่เซลล์เดี่ยว/แบตเตอรี่ก้อนกลุ่มเซลล์หรือ

• 1.2 เท่าของแรงดันไฟฟ้าประจุขีดจ ากัดบนตามตารางที่ ก.1 ต่อเซลล์ส าหรับแบตเตอรี่แบบหลายเซลล์ต่ออนุกรม (series connected multi-cell battery) และ

• พอเพียงแก่การคงค่ากระแสไฟฟ้า 2.0 It A ตลอดช่วงเวลาทดสอบหรือจนกระทั่งถึงค่าแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายให้ติดเทอร์มอคัปเปิลกับแบตเตอรี่ทดสอบแต่ละก้อนสำหรับแบตเตอรี่มีปลอก ให้วัดอุณหภูมิบนปลอกแบตเตอรี่ ให้วัดต่อเนื่องจนกระทั่งอุณหภูมิของปลอกชั้นนอกถึงภาวะสถานะคงตัว (เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 10 °C ในคาบ 30 min) หรือกลับถึงอุณหภูมิโดยรอบ เกณฑ์การยอมรับ ไม่มีการลุกเป็นไฟ ไม่มีการระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.การปล่อยประจุบังคับ ให้ปล่อยประจุเซลล์เดี่ยวถึงแรงดันไฟฟ้าปล่อยประจุขีดจำกัดล่าง (lower limit discharge voltage) ที่ผู้ทำเซลล์ระบุแล้วให้ปล่อยประจุเซลล์ที่ปล่อยประจุแล้วนั้นที่กระแสไฟฟ้าปล่อยประจุบังคับ (forced discharge current) 1 It A ถึงค่าลบของแรงดันไฟฟ้าประจุขีดจ ากัดบน ช่วงเวลารวมทั้งสิ้นในการทดสอบการปล่อยประจุบังคับ คือ 90 min เกณฑ์การยอมรับ ไม่มีการลุกเป็นไฟ ไม่มีการระเบิด

7.การทดสอบทางกลการสั่น ให้ทดสอบแบตเตอรี่ที่ประจุเต็มโดยวิธีดำเนินการที่หนึ่งตามข้อ 7.1 ใหยึดแบตเตอรี่อย่างมั่นคงกับแท่นของเครื่องสั่น (vibration machine) โดยไม่ทำให้เสียรูปแบบการสั่นของแบตเตอรี่ ให้เกิดลักษณะที่ส่งผ่านการสั่นอย่างถูกต้อง ให้ทดสอบด้วยการสั่นรูปไซน์ตามตารางที่ 3 จำนวน 12 วัฏจักร เป็นเวลาโดยรวมประมาณ 3 h สำหรับตำแหน่งติดตั้งแต่ละตำแหน่งจำนวน 3 ตำแหน่งตั้งฉากซึ่งกันและกันอย่างร่วมกัน โดยให้ทิศทางหนึ่งตั้งฉากกับผิวหน้าขั้วต่อ (terminal face) เกณฑ์การยอมรับ : ไม่มีการลุกเป็นไฟ ไม่มีการระเบิด ไม่มีการรั่วหรือการระบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การไหม้ของแบตเตอรี่

2.9.1.การจัดประเภทของคลาสไฟ (Fire Class)

จำแนกได้จาก เชื้อเพลิงของปฏิกิริยาไฟนั้นๆ แบ่งได้ 5 ประเภทดังนี้

1. Fire Class A (Ordinary Combustibles) สัญลักษณ์ A เชื้อเพลิงคือ ไม้ กระดาษ ยาง พลาสติกที่ติดไฟ.
2. Fire Class B (Flammable Liquids) สัญลักษณ์ B เชื้อเพลิง คือ ของเหลวติดไฟ น้ำมันทุกชนิด.
3. Fire Class C (Electrical Equipment) สัญลักษณ์ร C เชื้อเพลิงที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทุกชนิด.
4. Fire Class D (Combustible Metals) สัญลักษณ์ D เชื้อเพลิงคือโลหะที่ติดไฟ.
5. Fire Class K (Combustible Cooking) สัญลักษณ์ K เชื้อเพลิงจากน้ำมันไขมันสัตว์ของเหลวที่ใช้ในครัวเรือน.

2.9.2. Lithium-ion (Li-ion) battery

Battery แต่ละประเภทมีการทำงานแบบเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่สารประกอบของแบตเตอรี่หากเกิดการระเบิดขึ้นจากแบตเตอรี่ การที่จะจัดประเภทของไฟที่เกิดขึ้น มี 2 ประเภทคือ

- Fire Class C เนื่องจากการทำงานของแบตเตอรี่คือ เป็นแหละจ่ายไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ หรือรถไฟฟ้า
- Fire Class D เนื่องจากสารประกอบของแบตเตอรี่มีโลหะติดไฟซึ่งเป็นเชื้อเพลิง โลหะติดไฟ

2.9.3. การดับเพลิงจากข้อมูลต่างๆ

1.ข้อมูลการดับเพลิงของประเทศเยอรมนี

การดับเพลิงที่ลุกไหม้บนรถยนต์สันดาป ใช้เวลา15-30นาที ใช้น้ำไปราว 500 ลิตร ส่วนรถยนต์ที่เป็นไฟฟ้าใช้เวลา2-3ชั่วโมงในการควบคุมเพลิงและใช้น้ำราว100000ลิตร

2.ข้อมูลจากนักดับเพลิงเกาหลีใต้ ใช้เวลา 7 ชั่วโมงและน้ำ17000ลิตร

2.9.4. ความร้ายแรงของเหตุไฟไหม้รถยนต์ไฟฟ้า

นอกจากดับยากและใช้เวลานานด้วยแหล่งความร้อนหลักเกิดจากจุดจ่ายพลังงานอย่างแบตเตอรี่แล้ว อุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่ขัดข้องสามารถพุ่งไปได้ถึง 800 องศาเซลเซียส การลดอุณหภูมิเพื่อควบคุมไฟจึงทำได้ยาก เพราะสามารถปะทุใหม่ได้ตลอด ต้นไฟอย่างแบตเตอรี่ก็ยากต่อการเข้าถึงจึงทำให้จัดการได้ยากขึ้นไปอีกความยุ่งยากอีกอย่างเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้รถยนต์ไฟฟ้าคือ เมื่อเกิดไฟไหม้แบตเตอรี่ย่อมเกิดการเสียหายทำให้สารเคมีภายในรั่วไหล จำเป็นต้องหาวิธีจัดการเฉพาะทางต่อไปด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

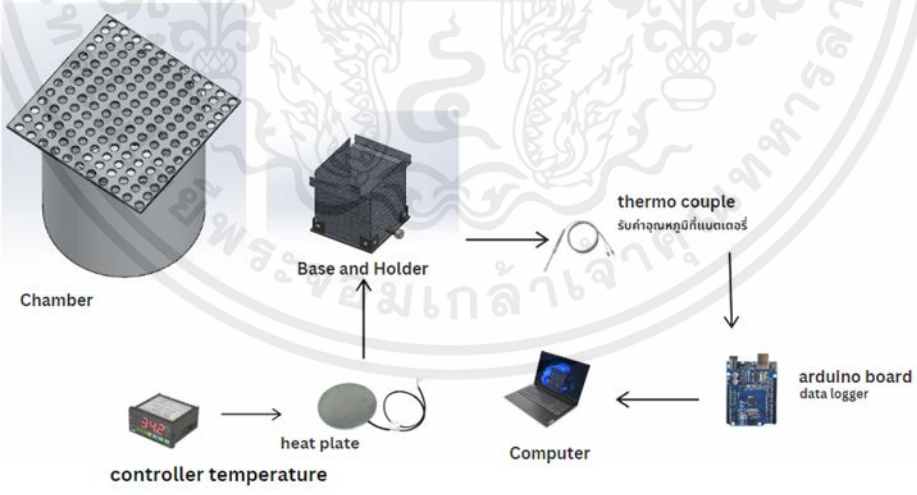
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาพฤติกรรมการระเบิดไหม้ ของแบตเตอร์รี่ลิเทียมไอออน” ได้ทำการออกแบบชุดการทดลองเพื่อศึกษาการระเบิดไหม้ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยมีการศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ จากปัจจัยการให้ความร้อนจากแผ่นทำความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้นจนเกิดกระบวนการ Thermal Runaway

การออกแบบโครงสร้างของชุดทดลองให้มีการเก็บค่า แรงดันไฟฟ้า ความร้อนที่แบตเตอรี่ ระหว่างการทดลอง และพฤติกรรมของความร้อนของแบตเตอรี่ โดยการออกแบบคำนึงถึงการระเบิดที่จะเกิดจากการทดลองสามารถป้องกันอันตรายจากการทดลองได้ ดังนั้นปริญญานิพนธ์ที่นำเสนอจึงมีหลักการเกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ การออกแบบโครงสร้างการทำงานโดยรวมของชุดทดลอง การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ของ“ชุดทดลองพฤติกรรมการระเบิดไหม้ของแบตเตอรี่” รูปแบบโครงสร้างของชุดการทดลองที่ออกแบบในโปรแกรม SolidWorks เครื่องมือที่ใช้ในชุดทดลองและการจัดเก็บผลการทดลอง

3.1 การออกแบบโครงสร้างการทำงานโดยรวมของชุดทดลอง

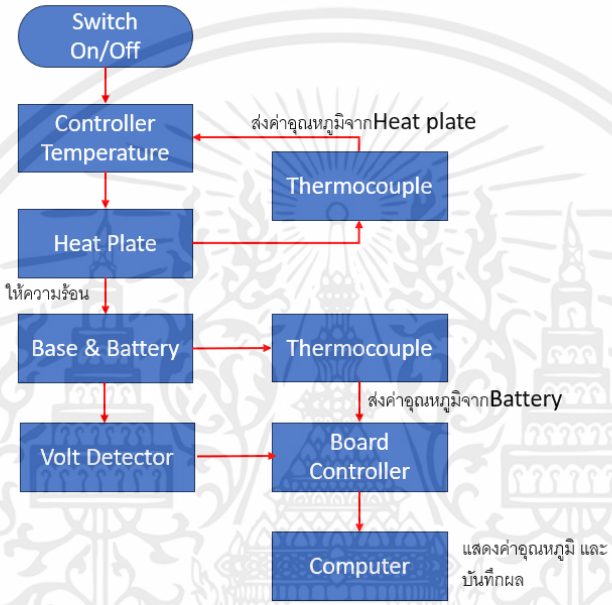


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของชุดการทดลองแบตเตอรี่จะสามารถเริ่มทำงานได้เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟไปที่แผ่นสร้างความร้อน เพื่อให้ความร้อน ข้อมูลจากตัวแบตเตอรี่ที่ถูกอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิจะสามารถเก็บข้อมูลไปที่ชุดเก็บข้อมูลได้

3.2 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

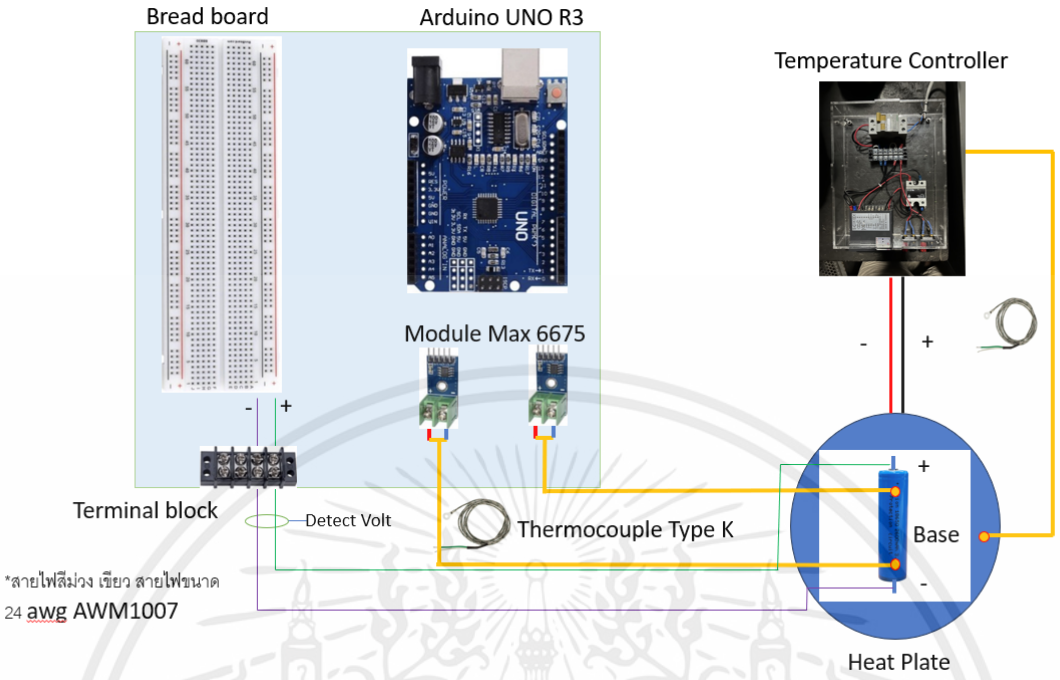


รูปที่ 3.2 การออกแบบในส่วนฮาร์ดแวร์

จากรูปที่ 3.2 หลักการออกแบบนั้นจะอธิบายระบบการทำงานทั้งหมด ของชุดทดสอบพฤติกรรมการระเบิดไหม้ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน เริ่มได้โดยการเปิดสวิตช์ที่ Controller Temperature จากนั้น Heat Plate จะทำการสร้างความร้อนไปที่ Base ในส่วนของ Base Thermocouple ติดอยู่ที่ฐานเพื่อรับค่าอุณภูมิของ Base และจะนำค่าสัญญาณที่ได้ไปสดงผลที่ Controller Temperature

Battery ได้รับความร้อนมาจาก Base จากนั้นเก็บค่าอุณหภูมิผ่าน Thermocouple ไปที่ Board Controller ค่า Voltage รับมาจากขั้วแบตเตอรี่ส่งไปที่ Board Controllerจากนั้นนำไปแสดงผลที่จอคอมพิวเตอร์และบันทึกค่าผ่าน Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การต่อสายไฟและการต่ออุปกรณ์ในการทำการทดสอบ

ส่วนถัดมาการทำงานของ บอร์ด Arduino เริ่มจากการเก็บข้อมูลของบอร์ด Arduino ทำได้โดย Thermocouple จะตรวจจับอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการทดลอง จากนั้นจะส่งสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้ามาที่บอร์ด Arduino จากนั้นจะทำการประมวลเป็นข้อมูล และแสดงผลผ่าน Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 รูปแบบโครงสร้างของ “ชุดทดลองพฤติกรรมของแบตเตอร์รี่” ที่ออกแบบในโปรแกรม SolidWorks

โดยรูปแบบโครงสร้างของชุดการทดลองการระเบิดไหม้ของแบตเตอรี่จะนำมาออกแบบชิ้นส่วนตัวล็อคแบตเตอรี่ในโปรแกรม Solid Work โดยการออกแบบอ้างอิงจากการระเบิดของแบตเตอรี่ ซึ่งการระเบิดจะระเบิดที่ขั้วของแบตเตอรี่ จึงทำการออกแบบให้มี การระบายอากาศอย่างดีเพื่อความปลอดภัย ขณะที่เกิดการระเบิด

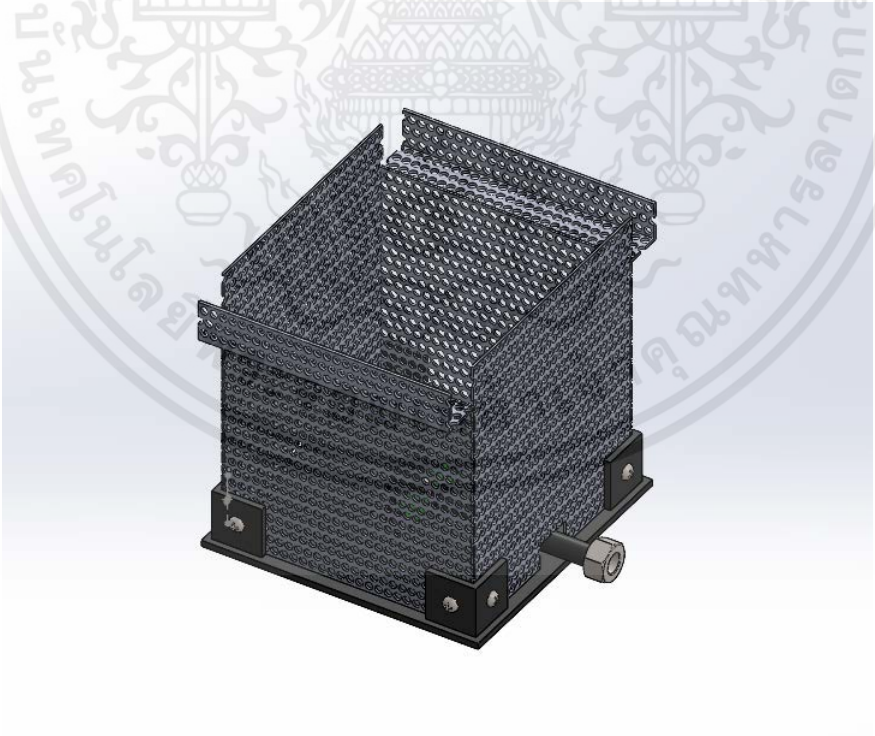
รูปที่ 3.4 ฐานของตัวล็อคแบตเตอรี่

จากรูปที่ 3.4 คือฐานของตัวที่ใช้รองรับแบตเตอรี่ ขนาด 210 มิลลิเมตร ยาว 210 มิลลิเมตร สูง 5 มิลลิเมตร เหล็กฉากที่วางในแนวนอน กว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร เจาะรูที่กึ่งกลางของแผ่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ที่ออกแบบมาด้วยโปรแกรม Solid Work เป็นแบบ motion 3D โดยใช้เป็นต้นแบบสำหรับนำไปสร้างชุดทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 ชิ้นส่วนที่ใช้ล็อคแบตเตอรี่

จากรูปที่ 3.5 คือชิ้นส่วนที่ใช้ล็อคแบตเตอรี่ไม่ให้หลุดออกจากฐานขณะทำการทดสอบพฤติกรรมการระเบิดของแบตเตอรี่ ส่วนที่โค้งมีขนาดรัศมีอยู่ที่ 9 มิลลิเมตร ยาว 3 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร ในส่วนของแท่งเกลียว ยาว 120 มิลลิเมตร รัศมี 7 มิลลิเมตร Octagon Bolt ยาว 25 มิลลิเมตร ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Splid Work เป็นแบบ motion 3D



รูปที่ 3.6 ภาพรวมชิ้นส่วนตัวล็อคแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 เป็นการประกอบชิ้นส่วนที่เป็นฐานรองรับแบตเตอรี่รูปที่ 3.1. และชิ้นส่วนตัวล็อคแบตเตอรี่ด้านบนรูปที่ 3.2. การประกอบกันจะทำได้โดยการขัน น็อตเข้าไปในส่วนของรูที่เจาะไว้ของชิ้นส่วนด้านบน เพื่อลงไปที่รูที่ทำไว้ด้านล่าง คือรูที่อยู่ระหว่างกลางของทั้งสองฝั่ง

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างชุดทดลอง

3.4.1 บอร์ด Arduino R3

บอร์ด Arduino ทำหน้าที่รับสัญญาณ แรงดันไฟฟ้าจาก Thermocouple แปลงเป็นอุณหภูมิ และจะนำข้อมูลไปเก็บและประมวลผล

รูปที่ 3.7 Board Arduino R3

(ที่มา: https://www.ai-corporation.net/2021/11/19/arduino-uno-r3/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 Thermocouple

Thermocouple type k สามารถเก็บข้อมูลอุณหภูมิตั้งแต่-40ถึง750องศาเซลเซียส มีหน้าที่ในการวัดความร้อนที่แบตเตอรี่ปล่อยออกมาขณะทำการชาร์จและถูกทำความร้อน แล้วจะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ไปที่บอร์ด Arduino เพื่อเก็บข้อมูล

รูปที่ 3.8 Thermocouple Type K

(ที่มา: http://surl.li/qskdq)

3.4.3 Module Max6675

Module max6675 ทำหน้าที่รับค่าจาก Thermocouple type-K เพื่อที่จะแปลงสัญญาณจาก Thermocouple เข้าสู่บอร์ด Arduino R3

รูปที่ 3.9 module max 6675

(ที่มา: http://surl.li/qtigr)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4. Power Supply

รับกระแสไฟฟ้า 220 Volt AC มาเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่

รูปที่ 3.10 Power Supply ปรับกระแสได้

(ที่มา: http://surl.li/qthqr)

3.4.5. Heat plate.

Heat plate รับกระแสไฟมาจากController Temperature จะทำความร้อนเพื่อที่จะส่งความร้อนไปที่ Battery.

รูปที่ 3.11 แผ่นทำความร้อน

(ที่มา: https://www.hillesheim-gmbh.com/en/products/aluminium-electric_heating_plate.php)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6. Controller Temperature

Controller Temperature ทำหน้ารับค่าจาก Thermocouple เพื่อที่จะตรวจสอบค่าอุณหภูมิตรงตามที่ได้กำหนดไว้เบื้องต้นหรือไม่

รูปที่ 3.12 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

(ที่มา: https://www.autonics.com/web/2018/06/23/8/49/46/f7f1de16-2ee9-4d86-add4-5fe70e3afed4.png)

3.4.7 Multimeter UT33D Series

Multimeter ใช้ในการวัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่ก่อนที่จะนำเข้าไปในฐาน เพื่อใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 3.13 Multimeter

(ที่มา : http://surl.li/qtisz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 ไฟฉาย Ultrafire Power Style

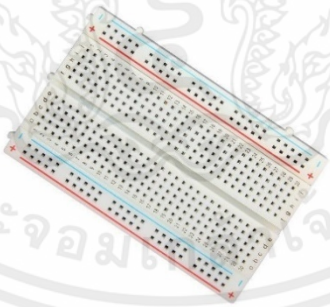
ไฟฉายใช้วางในตำแหน่งภายใน Chamber เพื่อให้แสงสว่างในการบันทึกวิดีโอ

รูปที่ 3.14 ไฟฉาย

(ที่มา: http://surl.li/qtiye)

3.4.9 Bread Board

ใช้เป็นจุดเชื่อมของสายไฟก่อนที่จะต่อสายไฟจากขั้วแบตเตอรี่มาที่บอร์ด Arduino R3



รูปที่ 3.15 Bread Board

(ที่มา: http://surl.li/qtjhz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.10 สายไฟ AWG 24

ใช้ต่อจาก Terminal จาก Bread Board ไปที่ขั้วบวกและลบของแบตเตอรี่ เพื่อใช้ในการเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

รูปที่ 3.16 สายไฟ AWG 24

(ที่มา : http://surl.li/qtjku)

3.4.11 เทปพันสายไฟ 3M

ใช้ในการพันสายของ Thermocouple ที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ เพื่อป้องกันไม่ให้สายของ Thermocouple ไปชนกับตะแกรงหรือ ฐานของตัวล็อคแบตเตอรี่

รูปที่ 3.17 เทปสายไฟ 3M

(ที่มา : http://surl.li/qtjnw)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.12 เทปอะลูมิเนียมฟลอยด์ 3M

ใช้ในการติดหัวของ Thermocouple ที่ด้านข้างใกล้ๆขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่ เพื่อเก็บค่าของอุณหภูมิ

รูปที่ 3.18 เทปอะลูมิเนียมฟลอยด์ 3M

(ที่มา : http://surl.li/qtjqp)

3.4.13 Computer

ใช้ในการเก็บข้อมูลของ Temperature และ voltage จาก Arduino Board แสดงผลของข้อมูลผ่าน Microsoft Excel

รูปที่ 3.19 Computer

(ที่มา : http://surl.li/qtjur)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ขั้นตอนในการทดลอง

3.5.1 การกำหนดค่าในการทดลอง

นำแบตเตอรี่ลิเทียมทั้ง 3 ชนิดขนาด 18650 ที่สถานะชาร์จ 100 % มาให้ความร้อนภายใต้อุณหภูมิการทำงานเริ่มต้นที่ 30 °C และเพิ่มอุณหภูมิจนเกิด Thermal Runaway

ตัวแปรต้น: ประเภทแบตเตอรี่ลิเทียม

ตัวแปรควบคุม: State of Charge (SOC) 100 %, แบตเตอรี่ขนาด 18650

ตัวแปรตาม: อุณหภูมิของแบตเตอรี่, แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

3.5.2 การเก็บข้อมูล และลักษณะการเก็บข้อมูล

ประเภทของข้อมูลที่จะทำการบันทึกประกอบด้วย อุณหภูมิที่แบตเตอรี่เทียบกับเวลาของแบตเตอรี่ขณะทำการทดลอง โดยการเก็บค่า

3.5.2.1 เก็บค่าอุณหภูมิ (°C) จะใช้ Thermocouple ติดบริเวณด้านข้างของตัวแบตเตอรี่ ด้านขั้วบวกและด้านขั้วลบ จากนั้น Thermocouple จะส่งสัญญานเป็นแรงดันไฟฟ้าไปที่ บอร์ด Arduino และจะจัดเก็บข้อมูลไว้

3.5.2.2 เก็บค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) โดยใช้สายไฟขนาด 24 awg AWM1007 ติดบริเวณขั้วบวกและขั้วลบ เพื่อเก็บข้อมูลบอร์ด Arduino และจะจัดเก็บข้อมูลไว้

NO	TYPE	Voltage drop				Venting				Before Explosion				Explosion & Fire				After Explosion				Mechanism
		Time	Volt	T1	T2	Time	Volt	T1	T2	Time	Volt	T1	T2	Time	Volt	T1	T2	Time	Volt	T1	T2	
Experimental 1																						
1	NMC 18650																					HEAT
2	NMC 18650																					
3	NMC 18650																					
Unit		min	V	°C	°C	min	V	°C	°C	min	V	°C	°C	min	V	°C	°C	min	V	°C	°C	
Experimental 2																						
1	NCR 18650																					HEAT
2	NCR 18650																					
3	NCR 18650																					
Unit		min	V	°C	°C	min	V	°C	°C	min	V	°C	°C	min	V	°C	°C	min	V	°C	°C	
Experimental 3																						
1	LCO 18650																					HEAT
2	LCO 18650																					
3	LCO 18650																					
Unit		min	V	°C	°C	min	V	°C	°C	min	V	°C	°C	min	V	°C	°C	min	V	°C	°C	

รูปที่ 3.20 ตารางการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experimental schedule																						
NO	TYPE	Voltage drop				Venting				Before Explosion				Explosion				After Explosion				Mechanism
		Time	Volt	T1	T2	Time	Volt	T1	T2	Time	Volt	T1	T2	Time	Volt	T1	T2	Time	Volt	T1	T2	
Experimental 1																						
1	NMC 18650																					
2	NCR 18650																					HEAT
3	LCO 18650																					
Unit		min	V	ºc	ºc	min	V	ºc	ºc	min	V	ºc	ºc	min	V	ºc	ºc	min	V	ºc	ºc	

รูปที่ 3.21 ตารางการเปรียบเทียบข้อมูลแบตเตอรี่แต่ละประเภท

3.5.3. การวิเคราะห์และประมวลผลการทดลอง

หลังจากที่ได้ข้อมูลจากการบันทึกซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิของแบตเตอรี่, แรงดันไฟฟ้าจากตัวแบตเตอรี่ขณะทำการทดลองโดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. เก็บข้อมูลอุณหภูมิกับเวลาเพื่อนำมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับเวลา
2. เปรียบเทียบอุณหภูมิของแบตเตอรี่แต่ละประเภท ขณะเกิดการระบายแรงดัน (Venting) และเกิดการระเบิด (Explode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

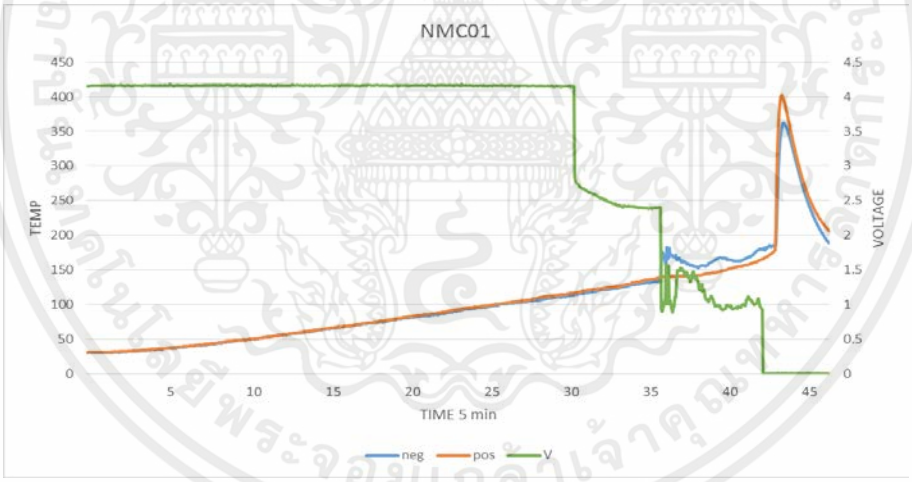
ผลการทดลอง

4.1 การทดลองศึกษาพฤติกรรมการเกิดระเบิดและเพลิงไหม้ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

การทดลองเพื่อหาช่วงของการเกิดการระบายแรงดันออกและการเกิดระเบิด หรือ กระบวนการเกิด Thermal Runaway ที่มีเงื่อนไขคือเริ่มต้นให้ความร้อนที่ 30°C และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆไปจนเกิด Thermal Runaway เนื่องจากเป็นอุณหภูมิเริ่มต้นของการทำงาน และจะเริ่มเก็บข้อมูลเมื่ออุณหภูมิ 40°C เป็นต้นไป โดยเราจะทดลองกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภท NMC18650 จำนวน 3 ก้อน , NCR18650 จำนวน 3 ก้อน และ LCO18650 จำนวน 3 ก้อน

4.1.1.ผลการทดลองของ NMC 18650

แบตเตอรี่ NMC 18650 ก้อนที่ 1 Voltage 4.23 V

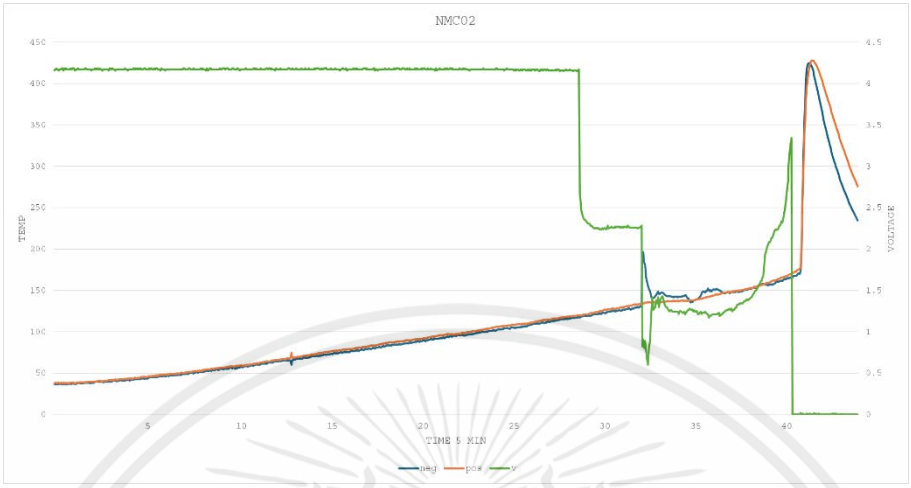


รูปที่ 4.1 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา NMC18650 ก้อนที่ 1

จากกราฟพบว่าในช่วงอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ (40-60 °C) ไม่พบความผิดปกติ ถัดมาในช่วง 114-117°C จะเกิดการ Voltage drop ถัดมาในช่วง 134-139°C จะเกิดการระบายแรงดัน (Venting) และจะเกิดการระเบิดในช่วง 178-185°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

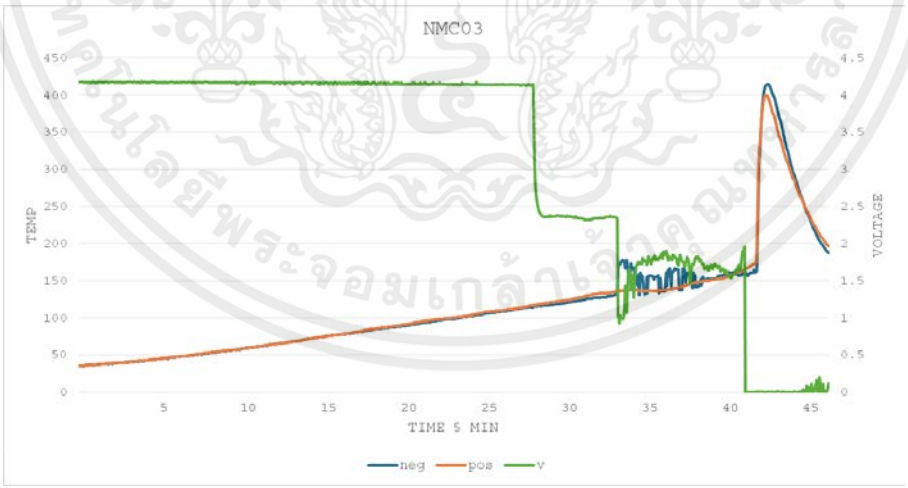
แบตเตอรี่ NMC 18650 ก้อนที่ 2 Voltage 4.22 V



รูปที่ 4.2 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา NMC18650 ก้อนที่ 2

จากกราฟพบว่าในช่วงอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ (40-60 °C) ไม่พบความผิดปกติ ถัดมาในช่วง 116-120°C จะเกิดการ Voltage drop ถัดมาในช่วง 131-135°C จะเกิดการระบายแรงดัน (Venting) และจะเกิดการระเบิดในช่วง 173-178°C

แบตเตอรี่ NMC 18650 ก้อนที่ 3 Voltage 4.23 V



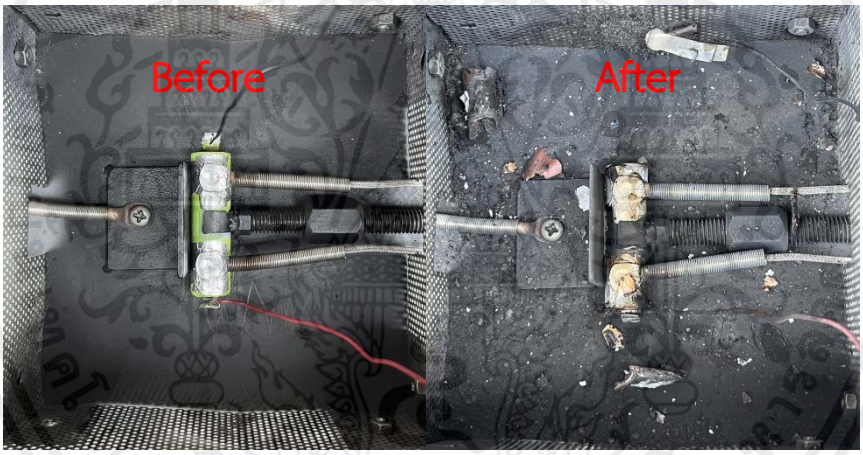
รูปที่ 4.3 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา NMC18650 ก้อนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟพบว่าในช่วงอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ (40-60 °C) ไม่พบความผิดปกติ ถัดมาในช่วง 115-118°C จะเกิดการ Voltage drop ถัดมาในช่วง 131-135°C จะเกิดการระบายแรงดัน (Venting) และจะเกิดการระเบิดในช่วง 163-174°C

ตารางที่ 4 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลอง NMC18650 ทั้ง 3 ก้อน

Experimental schedule																					
NO	TYPE	Voltage drop				Venting				Before Explosion				Explode & Fire				After Explosion				Mechanism
		Time	Volt	neg	pos	Time	Volt	neg	pos	Time	Volt	neg	pos	Time	Volt	neg	pos	Time	Volt	neg	pos	
เปรียบเทียบ NMC-01 , NMC-02 , NMC-03 (เริ่มจับเวลาเมื่อ TEMP 40°c)																						
1	NMC18650	24.12	4.15-2.86	114	117	30.16	2.4-0.93	134.25	139	36	0.93-0	185.5	178.25	37.57	0	357.5	402.5	40.12	0.01	214.5	229	
2	NMC18650	26.06	4.17-2.68	117.25	120	30.13	2.28-0.82	131.25	134	37.58	3.34-0	174	177.5	39.26	0	423.25	425.5	41.43	0	280	327.5	HEAT
3	NMC18650	25.59	4.15-2.78	115.25	117.25	31.03	2.34-1.03	131.25	135.25	38.58	1.96-0	163	174.5	40.13	0	414	398.75	43.14	0.04	257.5	256	
Unit		min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	



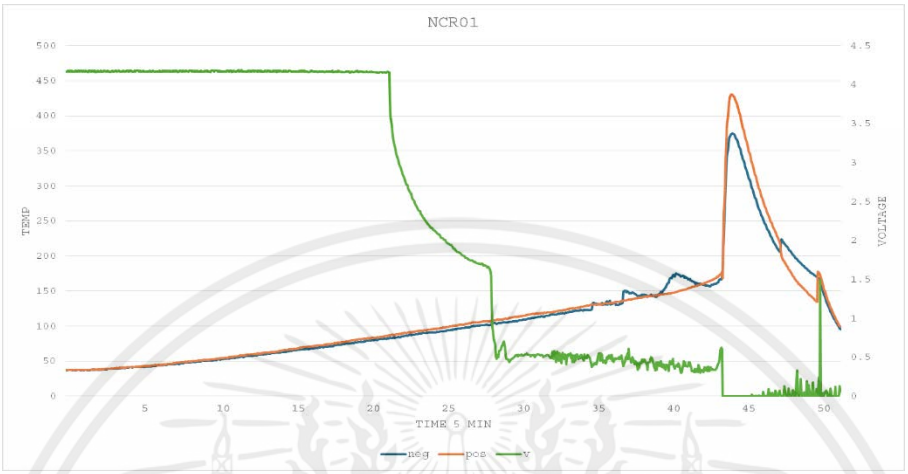
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดลองแบตเตอรี่ NMC18650

รูปที่ 4.5 รูปขณะเกิดการระบายความดัน, การระเบิดและเกิดเพลิงไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.ผลการทดลองของ NCR 18650

แบตเตอรี่ NCR 18650 ก้อนที่ 1 Voltage 4.22 V



รูปที่ 4.6 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา NCR18650 ก้อนที่ 1

จากกราฟพบว่าในช่วงอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ (40-60 °C) ไม่พบความผิดปกติ ถัดมาในช่วง 83-87°C จะเกิดการ Voltage drop ถัดมาในช่วง 105-108°C จะเกิดการระบายแรงดัน (Venting) และจะเกิดการระเบิดในช่วง 168-176°C

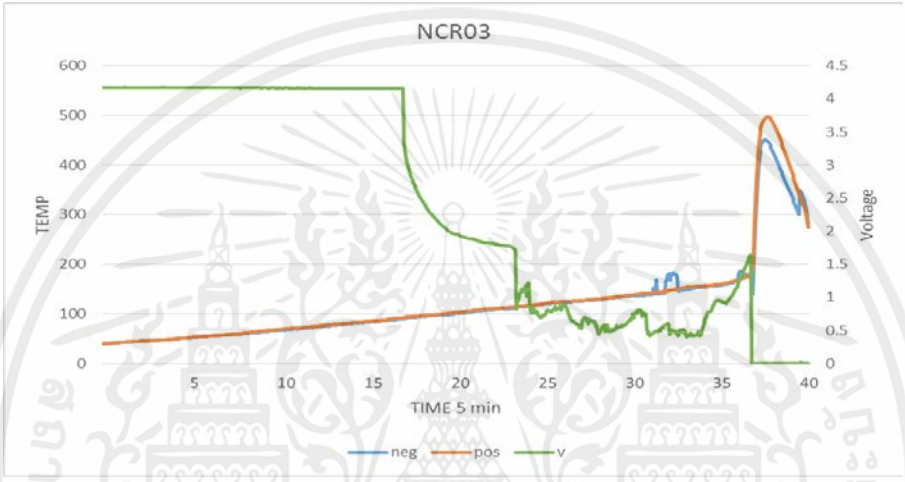
แบตเตอรี่ NCR 18650 ก้อนที่ 2 Voltage 4.23 V

รูปที่ 4.7 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา NCR18650 ก้อนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟพบว่าในช่วงอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ (40-60 °C) ไม่พบความผิดปกติ ถัดมาในช่วง 91-93°C จะเกิดการ Voltage drop ถัดมาในช่วง 113-115°C จะเกิดการระบายแรงดัน (Venting) และจะเกิดการระเบิดในช่วง 169-177°C

แบตเตอรี่ NCR 18650 ก้อนที่ 3 Voltage 4.22 V



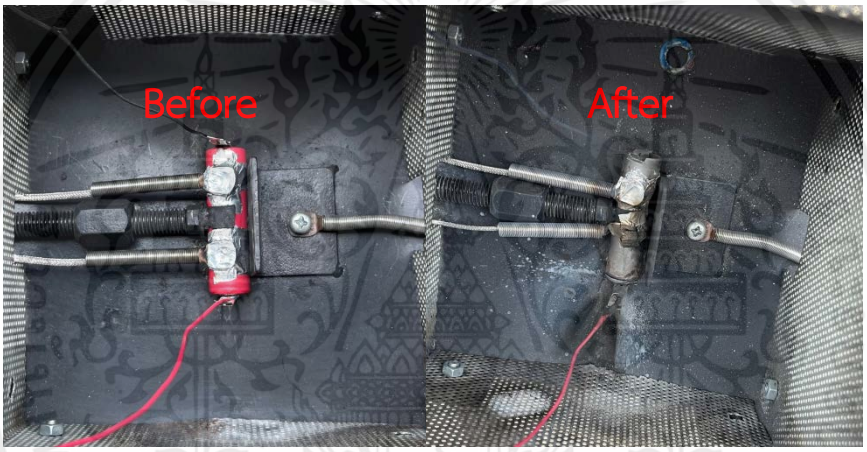
รูปที่ 4.8 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา NCR18650 ก้อนที่ 3

จากกราฟพบว่าในช่วงอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ (40-60 °C) ไม่พบความผิดปกติ ถัดมาในช่วง 90-93°C จะเกิดการ Voltage drop ถัดมาในช่วง 112-115°C จะเกิดการระบายแรงดัน (Venting) และจะเกิดการระเบิดในช่วง 175-179°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลอง NCR18650 ทั้ง 3 ก้อน

Experimental schedule																						
NO	TYPE	Voltage drop				Venting				Before Explosion				Explode & Fire				After Explosion				Mechanism
		Time	Volt	neg	pos	Time	Volt	neg	pos	Time	Volt	neg	pos	Time	Volt	neg	pos	Time	Volt	neg	pos	
เปรียบเทียบ NCR-01 , NCR-02 , NCR-03 (เริ่มจับเวลาเมื่อ TEMP 40°c)																						
1	NCR18650	18	4.16-3.78	82.5	86.5	25.3	1.55-0.88	102	107	40.1	0.6-0	168.8	177	40.4	0	375	430	41.5	0	271	302	
2	NCR18650	16	4.16-3.85	93.8	93.5	21.4	1.8-1.09	115	113	34.3	0.81-0	169.3	179	35.1	0	304	415	37.3	0	219	291	HEAT
3	NCR18650	17.1	4.15-3.5	90.8	91.5	23.3	1.67-0.82	113	115	37	1.64-0	176.3	179	37.5	0	435	473	39.3	0	236	303	
Unit		min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดลองแบตเตอรี่ NCR18650

รูปที่ 4.10 รูปขณะเกิดการระบายความดัน, การระเบิดและเกิดเพลิงไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

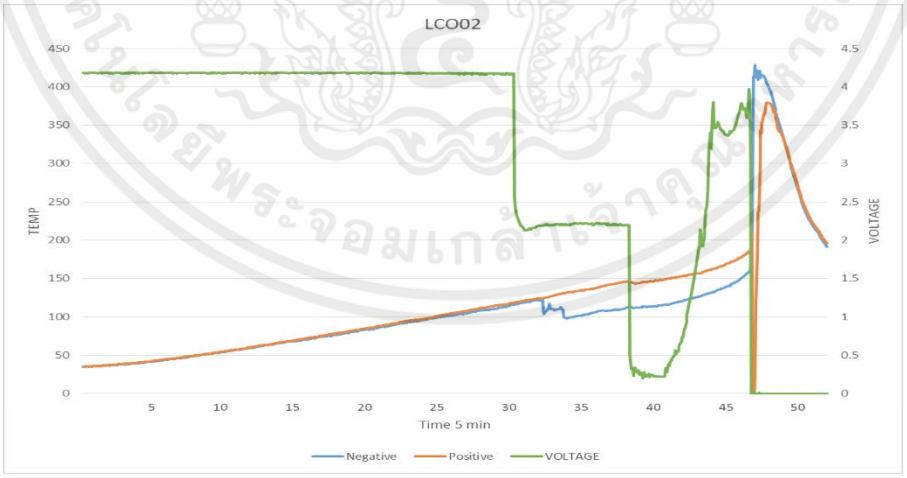
4.1.3.ผลการทดลองของ LCO 18650

แบตเตอรี่ LCO 18650 ก้อนที่ 1 Voltage 4.22 V

รูปที่ 4.11 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา LCO18650 ก้อนที่ 1

จากกราฟพบว่าในช่วงอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ (40-60 °C) ไม่พบความผิดปกติ ถัดมาในช่วง 110-118°C จะเกิดการ Voltage drop ถัดมาในช่วง 134-145°C จะเกิดการระบายแรงดัน (Venting) และจะเกิดการระเบิดในช่วง 179-184°C

แบตเตอรี่ LCO 18650 ก้อนที่ 2 Voltage 4.23 V

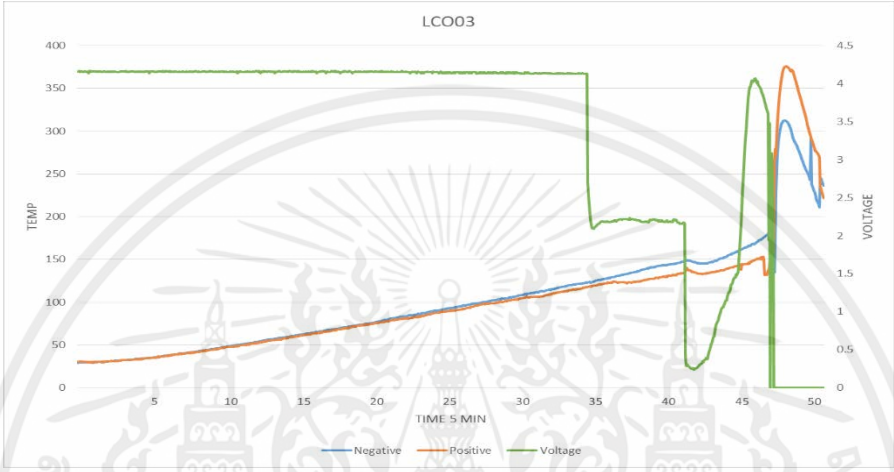


รูปที่ 4.12 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา LCO18650 ก้อนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟพบว่าในช่วงอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ (40-60 °C) ไม่พบความผิดปกติ ถัดมาในช่วง 116-119°C จะเกิดการ Voltage drop ถัดมาในช่วง 134-145°C จะเกิดการระบายแรงดัน (Venting) และจะเกิดการระเบิดในช่วง 179-187°C

แบตเตอรี่ LCO 18650 ก้อนที่ 3 Voltage 4.22 V



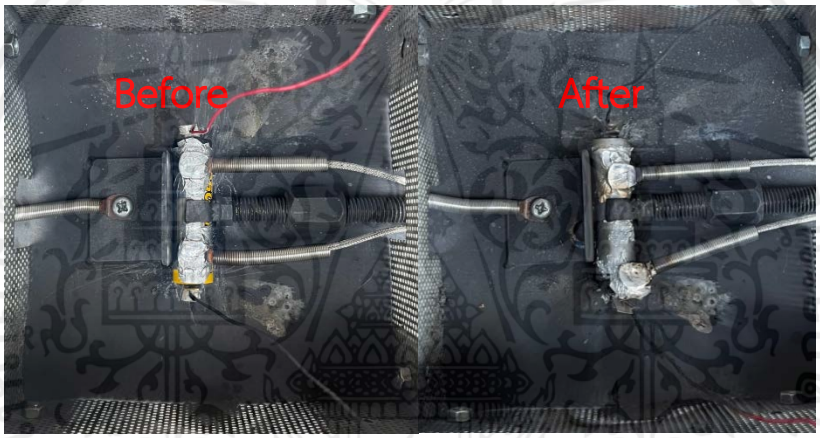
รูปที่ 4.13 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลา LCO18650 ก้อนที่ 3

จากกราฟพบว่าในช่วงอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ (40-60 °C) ไม่พบความผิดปกติ ถัดมาในช่วง 118-122°C จะเกิดการ Voltage drop ถัดมาในช่วง 134-147°C จะเกิดการระบายแรงดัน (Venting) และจะเกิดการระเบิดในช่วง 179-187°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลอง LCO18650 ทั้ง 3 ก้อน

Experimental schedule																							
NO	TYPE	Voltage drop				Venting				Before Explosion				Explode & Fire				After Explosion				Mechanism
		Time	Volt	neg	pos	Time	Volt	neg	pos	Time	Volt	neg	pos	Time	Volt	neg	pos	Time	Volt	neg	pos	
เปรียบเทียบ LCO-01 , LCO-02 , LCO-03 (เริ่มจับเวลาเมื่อ TEMP 40°c)																						
1	LCO18650	28.2	4.14-2.48	123	110	34.6	2.14-0.98	145	123	41.5	1.86-0	185.8	164	43.2	0	422	432	46.3	0	348	382	
2	LCO18650	25.5	4.17-2.57	116	119	33.5	2.2-0.52	114	145	42.2	3.22-0	162.5	187	44.3	0	416	339	47.5	0	303	306	HEAT
3	LCO18650	27.5	4.13-2.7	123	118	34.3	2.16-0.42	148	134	40.4	2.25-0	186.3	153	41.5	0	312	374	45.6	0	243	296	
Unit		min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	

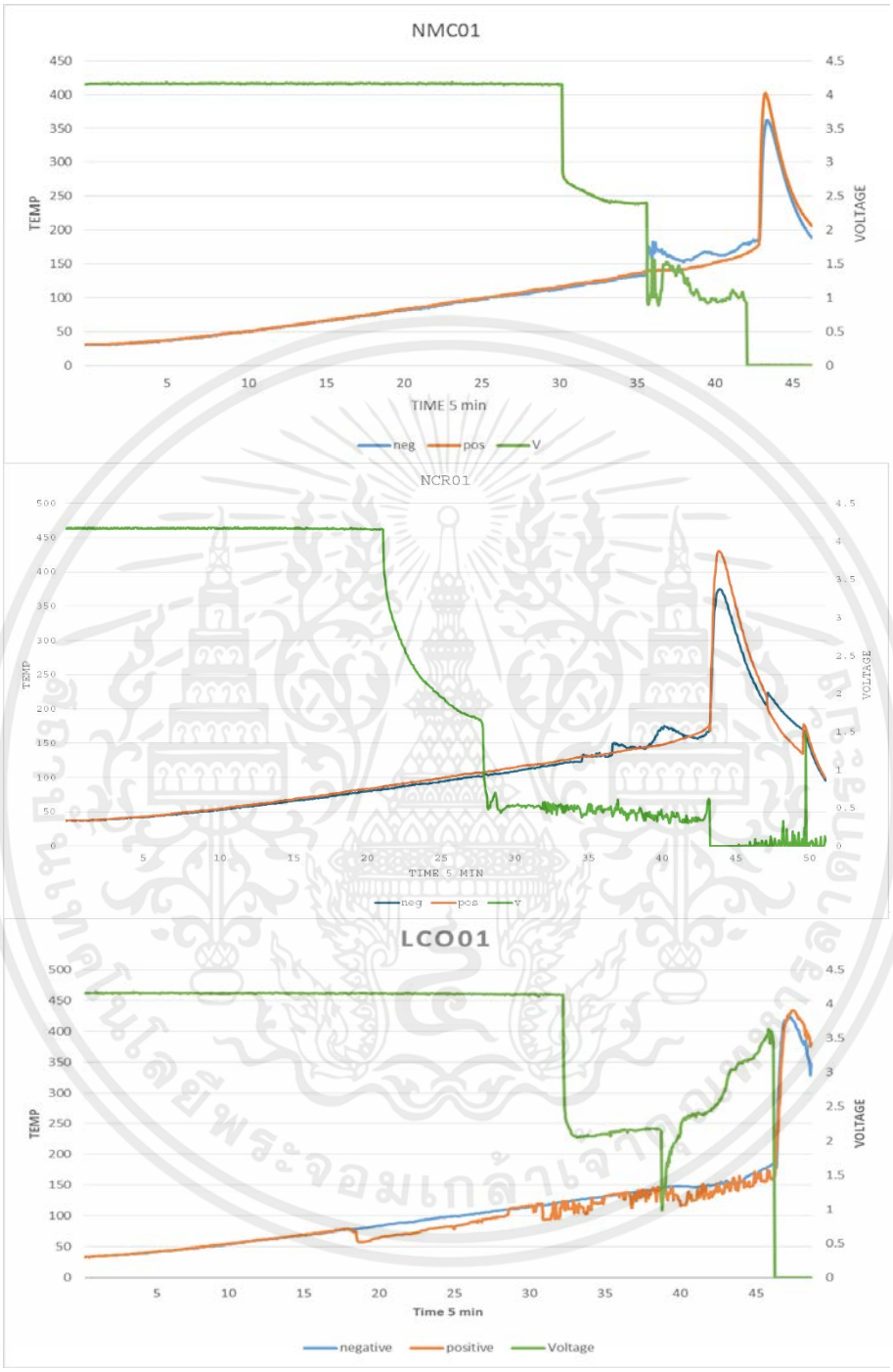


รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดลองแบตเตอรี่ LCO18650

รูปที่ 4.15 รูปขณะเกิดการระบายความดัน, การระเบิดและเกิดเพลิงไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.เปรียบเทียบแบตเตอรี่แต่ละประเภท



รูปที่ 4.16 กราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลาของแบตเตอรี่ทั้งสามชนิด

จากกราฟเปรียบเทียบแบตเตอรี่ทั้งสามมีข้อแตกต่างทั้งพฤติกรรมและค่าที่เก็บข้อมูลโดยจะสรุปตามความสนใจของวัตถุประสงค์ตาม ตางรางที่ 7 และ รูปภาพที่ 4,13 ดังนี้

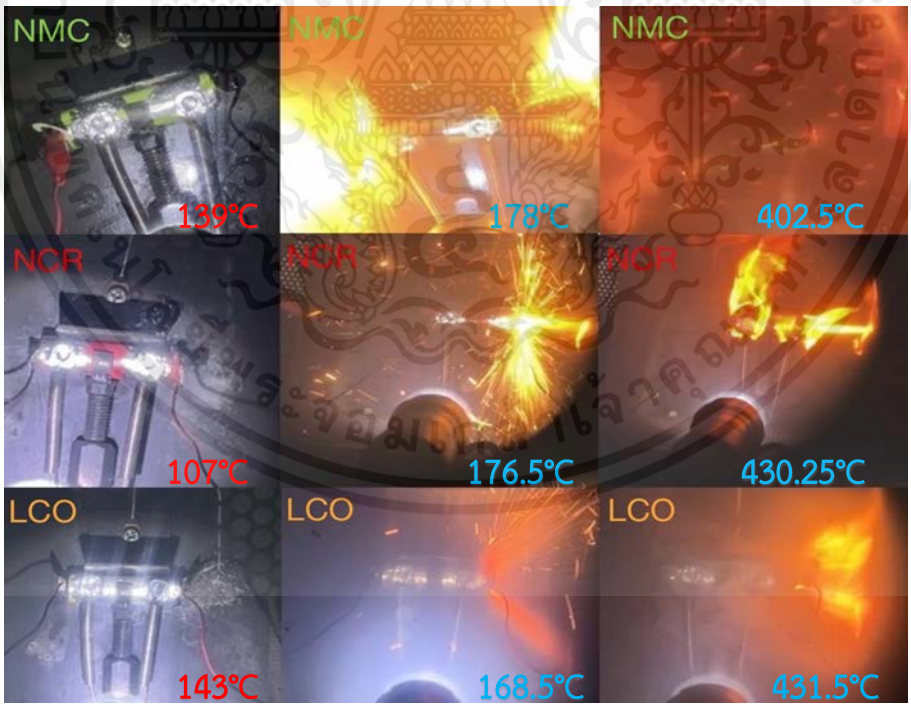
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบแบตเตอรี่ทั้งสามชนิด

Experimental schedule																					
NO	TYPE	Voltage drop				Venting				Before Explosion				Explosion & Fire				After Explosion				Mechanism
		Time	Volt	T1	T2	Time	Volt	T1	T2	Time	Volt	T1	T2	Time	Volt	T1	T2	Time	Volt	T1	T2	
เปรียบเทียบ NMC , NCR , LCO (เริ่มจับเวลาเมื่อ TEMP 40°c)																						
1	NMC 18650	24.12	4.15-2.86	114	117	30.16	2.4-0.93	160.3	139.5	36	0.93-0	180.3	165.5	37.57	0	357.5	402.5	40.12	0.01	214.5	229	HEAT
2	NCR 18650	18	4.16-3.78	82.5	86.5	25.28	1.55-0.88	101.5	107.3	40.09	0.6-0	168.8	176.5	40.36	0	374.5	430.3	41.45	0	271.3	301.8	
3	LCO 18650	28.24	4.14-2.48	122.5	109.8	34.61	2.14-0.98	144.8	123.3	41.51	1.86-0	185.8	163.8	43.15	0	421.8	431.5	46.32	0	348	381.5	
Unit		min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	min	V	°c	°c	

จากตารางจะพบได้ว่าเมื่อเริ่มเก็บข้อมูลที่ 40°C แบตเตอรี่ NCR จะเกิดการระบายของแรงดันก่อน แบตเตอรี่ LCO และ แบตเตอรี่ NMC ตามลำดับ แต่กลับพบว่าแบตเตอรี่ทั้งสาม มีการระเบิดที่ใกล้เคียงกันดังนี้

1. แบตเตอรี่ NMC ระเบิดที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับ แบตเตอรี่ LCO
2. แบตเตอรี่ NCR ระเบิดที่เวลาใกล้เคียงกับ แบตเตอรี่ LCO



รูปที่ 4.17 รูปเปรียบเทียบขณะเกิดการระบายความดัน, การระเบิดและเกิดเพลิงไหมของแบตเตอรี่ทั้งสามชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปสามารถอธิบายพฤติกรรมของแบตเตอรี่ทั้งสามดังนี้ การระบายความดันแบตเตอรี่ทั้งสามมี การระบายออกมาทางขั้วแคโทด ในส่วนของการระเบิด NCR, LCO จะระเบิดที่ขั้วแคโทดจะแตกต่างกันที่ความรุนและเปลวไฟที่ NCR มีมากกว่า LCO จะมีควันก่อนการระเบิดซึ่ง NCR ไม่มีควันก่อนการระเบิดเลย สุดท้ายคือแบตเตอรี่ NMC ที่มีการระเบิดและการเกิดเปลวไฟพร้อมกันที่ขั้วแอโนดก่อนและที่ขั้วแคโทดตามลำดับ

4.2 ส่วนอภิปรายผลจากการทดลอง

ในช่วงของการระบายแรงดัน (Venting) เกิดจากการที่ SEI เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 70°C ทำให้สาร Electrolyte ทำปฏิกิริยากับ Electrode ที่ขั้วแอโนดเกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่สามารถติดไฟ จนมีแรงดันเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการระบายแรงดันที่ขั้วแคโทดและทำให้มีการลดลงของแรงดันไฟฟ้า ที่อุณหภูมิประมาณ 80-120°C ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของแบตเตอรี่และกระบวนการผลิต ต่อมาหากตัวคั้นหรือ Seperator หลอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ 130°C จะทำให้สาร Electrolyte ทำปฏิกิริยากับ Electrode ที่ขั้วแคโทดเกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอน เช่น H_2, CH_4, C_2H_4, C_2H_6, CO, Co_2 และ O_2 และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 160-180°C ก็จะเกิดการระเบิดและติดไฟ หรือ Thermal runaway

4.3 ส่วนความคิดเห็นจากการทดลอง

จากการทดลองพบว่า การทดลองสิ่งใหม่นี้หากเจอข้อมูลที่ไม่สามารถหาคำตอบได้เป็นเรื่องปกติในส่วนของการทดลองพบว่า การลดลงของแรงดันไฟฟ้าไม่สามารถหาข้อเท็จจริงที่มีเหตุผลมาอ้างอิงและรองรับได้เนื่องจาก อาจเกี่ยวข้องกับ

1. ปฏิกิริยาเคมีที่มีความเกี่ยวข้องนอกเหนือจากการทดลองของนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกล
2. Material ภายในของแบตเตอรี่ซึ่งข้อสัญนิฐานนี้อาจเกิดจากการที่แบตเตอรี่ NCR ในช่วงก่อนการระบายแรงดัน พบว่าแรงดันไฟฟ้าค่อยๆลดลง ซึ่งแตกต่างจาก NMC และ LCO
3. ส่วน LCO ในช่วงก่อนการระเบิด มีการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากวิทยานิพนธ์ การศึกษาพฤติกรรมก่อนการระเบิดและเพลิงไหม้ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยจากวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะเกิดการระบายแรงดัน (Venting) และเกิดการระเบิด (Explode) พบพฤติกรรมที่แตกต่างกันออกไป ตามประเภทหรือวัสดุที่ใช้ทำแบตเตอรี่ สรุปได้เป็นดังนี้

แบตเตอรี่ประเภท NMC (Nikel Manganese Cobalt) พบว่า มีการลดลงของแรงดันไฟฟ้า (Voltage drop) ที่อุณหภูมิ 110-120°C และที่แรงดันไฟฟ้า 4.16 โวลต์ ลดลงเหลือ 2.75-2.86 โวลต์จากนั้น มีการระบายแรงดัน (Venting) ที่อุณหภูมิ 130-140°C และที่แรงดันไฟฟ้า 2.30-2.45 โวลต์ ลดลงเหลือ 0.85-1.05 โวลต์ เกิดการระเบิด (Explode) ที่อุณหภูมิ 170-180°C และแรงดันไฟฟ้า 1.90-2.60 โวลต์ ลดลงเหลือ 0 โวลต์

แบตเตอรี่ประเภท NCR (Nikel Cobalt Rechargeable) พบว่า มีการลดลงของแรงดันไฟฟ้า (Voltage drop) ที่อุณหภูมิ 80-95°C และที่แรงดันไฟฟ้า 4.16 โวลต์ ลดลงเหลือ 3.50-3.85 โวลต์จากนั้น มีการระบายแรงดัน (Venting) ที่อุณหภูมิ 100-115°C และที่แรงดันไฟฟ้า 1.55-1.85 โวลต์ ลดลงเหลือ 0.85-1.10 โวลต์ เกิดการระเบิด (Explode) ที่อุณหภูมิ 165-180°C และแรงดันไฟฟ้า 0.60-1.60 โวลต์ ลดลงเหลือ 0 โวลต์

แบตเตอรี่ประเภท LCO (Lithium Cobalt Oxide) พบว่า มีการลดลงของแรงดันไฟฟ้า (Voltage drop) ที่อุณหภูมิ 110-125°C และที่แรงดันไฟฟ้า 4.16 โวลต์ ลดลงเหลือ 2.48-2.70 โวลต์จากนั้น มีการระบายแรงดัน (Venting) ที่อุณหภูมิ 135-145°C และที่แรงดันไฟฟ้า 2.15-2.20 โวลต์ ลดลงเหลือ 0.50-0.90 โวลต์ เกิดการระเบิด (Explode) ที่อุณหภูมิ 160-180°C และแรงดันไฟฟ้า 2.25-3.25 โวลต์ ลดลงเหลือ 0 โวลต์

เปรียบเทียบอุณหภูมิของ การระบายแรงดัน (Venting) : NCR < NMC < LCO ตามลำดับ และการระเบิด (Explode) : LCO < NCR < NMC ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับผู้ที่ต้องการนำไปศึกษาเพิ่มเติม จากพฤติกรรมในช่วงของแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงจาก 4.2 โวลต์ เป็นประมาณ 2.5 โวลต์ ซึ่งเป็นการทดลองของแบตเตอรี่ 1 เซลล์ ถ้าหากมีการต่อขนาดหรือต่ออนุกรมกันของเซลล์แบตเตอรี่มากกว่า 1 เซลล์ อาจทำให้แรงดันไฟฟ้าไม่ลดลงหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Electric Vehicle Association of Thailand (EVAT) “electric vehicle technology” [online]. Available
: http://www.evat.or.th/15708266/evtechnology?fbclid=IwAR2px1oU649Pkcoyh_CukvzKOYnfBiSiXNm28Xc-GtMIDZNSN92RsTO1Qw

[2] MER Pure Energy from Statkraft “How Does the Cold Weather Affect EV Car Battery Performance?” [online]. Available: https://uk.mer.eco/news/how-does-cold-weather-affect-ev-car-battery-performance/

[3] SBCS Company Limited “Learn about the key components of an electric vehicle (EV).” [online]. Available: https://www.sbcs.co.th/th/articles/?p=113

[4] Henry MAN CONTRIBUTOR a motoring journalist passionate about the intersection of technology and transportation, with a focus on electric vehicles. “EV Battery Types Explained: Pros & Cons for Electric Car Power” [online].
Available: https://www.whichcar.com.au/advice/ev-battery-types-explained-electric-car-pros-cons

[5] HMG Journal Operation Team “Electric Vehicles working mechanism is different from that of internal combustion engines. Here we explore the main components of EV to explain its essential characteristics.” [online].
Available: https://www.hyundaimotorgroup.com/story/CONT0000000000000906

[6] Power Up is a spin-off CEA-Liten, one of the major research Institutes in Europe for new energy technologies. “ NMC vs LFP: safety and performance in operation” [online].
Available: https://powerup-technology.com/nmc-vs-lfp-safety-and-performance-in-operation/

[7] Admin Ling. ว่าด้วยเรื่อง ชนิดของแคโทด (Cathode) ใน Battery Lithium (09/03/2022) [online].
Available : https://www.taradfilter.com/cathode-battery-lithium/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[8] SAMSUNG SDI CO., LTD. ALL RIGHT RESERVED. “Four Components of Li-ion Battery – Cathode, Anode, Electrolyte, Separator” [online]. Available: https://www.samsungsdi.com/column/technology/detail/55272.html

[9] Zihao Lin (2023). Research Status of Cathode Materials for Lithium-Ion Batteries, School of Materials Science and Engineering, China University of Geosciences Beijing, Beijing, China.

[10] Lingxi Kong, Chuan Li, Jiuchun Jiang and Michael G. Pecht (2018). Li-Ion Battery Fire Hazards and Safety Strategies, At University of Maryland, Chongqing Technology and Business University, Beijing Jiaotong University.

[11] Song Xie, Yize Gong, Xianke Ping, Jian Sun, Xiantao Chen, Yuanhua He (2022). Effect of overcharge on the electrochemical and thermal safety behaviors of LiNi0.5Mn0.3Co0.2O2/graphite lithium-ion batteries, At Civil Aviation Flight University of China.

[12] Production School of Locomotive and Vehicle Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China. Experimental Study on Thermal Runaway Behavior of Lithium-Ion Battery and Analysis of Combustible Limit of Gas

[13] College of Intelligent Systems Science and Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, P. R. China. Revealing the Thermal Runaway Behavior of Lithium Iron Phosphate Power Batteries at Different States of Charge and Operating Environment

[14] European Commission, Joint Research Center (JRC), Petten, Netherlands and Italy. Evaluation of detection criteria for thermal runaway experiments on commercial cells for electric vehicles

[15] Jiangsu Key Laboratory of Hazardous Chemicals Safety and Control, College of Safety Science and Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China. An investigation on thermal runaway behaviours of lithium-ion battery with Li (Ni0.6Co0.2Mn0.2) O2 cathode induced by overcharge under different heat dissipation conditions

[16] Faculty of Engineering and Applied Science, Ontario Tech University, 2000 Simcoe Street North, Oshawa, Ontario L1H 7K4, Canada. A review of thermal runaway prevention and mitigation strategies for lithium-ion batteries

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้