การศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ขณะใช้งานภายในเงื่อนไขความต้านทานภายในที่แตกต่างกัน

นายไตรรักษ์ ศรีวิชัย

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ขณะใช้งานภายในเงื่อนไขความต้านทานภายในที่แตกต่างกัน

นายไตรรักษ์ ศรีวิชัย

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ขณะใช้งานภายในเงื่อนไขความต้านทานภายในที่แตกต่างกัน

โดย นายไตรรักษ์ ศรีวิชัย

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย / หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์)

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต้องชนะ ทองทิพย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์)

ชื่อ : นายไตรรักษ์ ศรีวิชัย
ชื่อการค้นคว้าอิสระ : การศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ขณะใช้งานภายในเงื่อนไขความต้านทานภายในที่แตกต่างกัน
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกลศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต้องชนะ ทองทิพย์
ปีการศึกษา : 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุที่อุณหภูมิบรรยากาศและศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพ็คที่อุณหภูมิบรรยากาศ ผลการวิจัยพบว่า การปรับปรุงแบตเตอรี่ในอนาคตจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าและช่วยให้สามารถขยายการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้าได้มากขึ้น ด้านการพัฒนาแบตเตอรี่ การปรับปรุงความต้านทานภายในแบตเตอรี่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า โดยช่วยยืดอายุการใช้งาน, ลดการสูญเสียพลังงานและเพิ่มระยะทางในการขับขี่ให้มากขึ้น การควบคุมความร้อน การออกแบบระบบระบายความร้อนในแบตเตอรี่ เป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า การควบคุมอุณหภูมิอย่างเหมาะสมสามารถช่วยลดการสูญเสียพลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานและด้านการจัดการพลังงาน การศึกษาในเรื่องอุณหภูมิและตำแหน่งของแบตเตอรี่ในแพ็ค สามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบการจัดการพลังงานของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งการเก็บประจุ,พลังงานสะสมและลดพลังงานความร้อน ซึ่งจะช่วยให้แบตเตอรี่ทำงานได้ดีในทุกสภาวะการใช้งานและเป็นข้อมูลในการซ่อมบำรุงแบตเตอรี่ยานยนต์ฟ้าในอนาคต ผลการศึกษานี้สามารถเป็นข้อมูลอ้างอิงสำคัญสำหรับการวิจัยและพัฒนาระบบจัดการความร้อนในแบตเตอรี่ต่อไป รวมทั้งสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการออกแบบแพ็คแบตเตอรี่ในด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย

(มีจำนวนทั้งสิ้น 92 หน้า)

คำสำคัญ : ความต้านทานภายในแบตเตอรี่; พฤติกรรมของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุ; พฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพ็ค

_____ อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก

Name : Mr. Trairak Seiwichai

Independent Study Title : Study of the Heat Generation Behavior of Batteries During Use Under Different Internal Resistance Conditions

Major Field : Mechanical Engineering Education
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Independent Study Advisor : Assistant Professor Dr. Tongchana Thongtip

Academic Year : 2024

ABSTRACT

This research aims to study the behavior of the battery in charge and discharge at atmospheric temperature and the behavior of batteries with different internal resistance at various locations in the pack at atmospheric temperature. The results showed that Future battery improvements will increase the efficiency of battery applications in electric vehicles and allow for further expansion of electric vehicle applications. Battery Development Improving the resistance within the battery can help improve the performance of the battery in electric vehicles by extending its lifespan, reducing energy loss, and increasing driving range. Heat Control The design of the cooling system in the battery is important to improve the performance of the battery in electric vehicles. Proper temperature control can help reduce energy loss. Optimize usage and energy management. Study the temperature and location of the battery in the pack. It can be applied to design a more efficient battery power management system in electric vehicles. The results of this study can be an important reference for further research and development of thermal management systems in batteries, as well as a guide for the development of battery pack designs in terms of safety and efficiency electric vehicles in Thailand.

(Total 92 Pages)

Keywords: Resistance inside the battery; behavior of the battery in charge and discharge; behavior of batteries with different internal resistance in each packing position.

_____ Advisor

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ก็ด้วยความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้มีพระคุณหลายท่านที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ท่านผู้มีพระคุณที่ขอระลึกถึง คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต้องชนะ ทองทิพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อ.ศุภารัตน์ แจ่มสว่าง และ อ.วิชัย กงพลนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและชี้แนะแนวทางที่ถูกต้อง ตั้งแต่เริ่มต้นหัวข้อการวิจัย การวิเคราะห์ผล และอภิปราชผล จนกระทั่งสำเร็จเป็นงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกลทุกท่าน รวมทั้งผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบรวมทั้งให้คำแนะนำเพื่อแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีคุณภาพ และเจ้าหน้าที่ของคณะการครุศาสตร์อุตสาหกรรมประสานงานและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ แก่ผู้วิจัยเสมอมา นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูล นอกจากนี้ขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานสารนิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

งานสารนิพนธ์ฉบับนี้ อาจไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากปราศจากกำลังใจและความช่วยเหลือจากบิดา มารดาและสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่ให้ความช่วยเหลือ ส่งเสริม สนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษาด้วยดีตลอดมา คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นสิ่งบูชาพระคุณของบิดา มารดา รวมถึงคุณครู อาจารย์และผู้มีพระคุณของผู้วิจัยทุกท่าน และหวังว่างาน หากมีข้อบกพร่องประการใดในงานสารนิพนธ์นี้ ผู้วิจัยยินดีน้อมรับคำชี้แนะจากท่านผู้รู้เพื่อปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ต่อไป

ไตรรักษ์ ศรีวิชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมามาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตในการวิจัย	3
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิบรรยากาศที่ส่งผลต่อแบตเตอรี่	5
2.2 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด	7
2.3 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	12
2.4 ปัจจัยการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	16
2.5 ค่า SOC, DOD ของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	18
2.6 กระแส, ความต้านทาน และแรงดันแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	19
2.7 ทฤษฎีการชาร์จและดิสชาร์จลิเธียมไอออน	20
2.8 ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	21
2.9 ผลกระทบของแบตเตอรี่เนื่องจากอุณหภูมิ	22
2.10 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger)	24
2.11 เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester)	24
2.12 เครื่องวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Internal Resistance of Battery)	25
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ศึกษาข้อมูลทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	30
3.2 การออกแบบหลักศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ขณะใช้งานภายใต้เงื่อนไขความต้านทานภายในแตกต่างกัน	33
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	36
3.4 ดำเนินการทดลองและเก็บผล	42
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุที่อุณหภูมิบรรยากาศ	44
4.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศ	50
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	76
5.2 อภิปรายผล	78
5.3 ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้ในการดำเนินงาน	78
5.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป	79
บรรณานุกรม	80
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก	
ตารางผลการทดสอบของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุที่อุณหภูมิบรรยากาศ	87
ภาคผนวก ข	
ตารางผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 1	89

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค

ตารางผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 2 91

ประวัติผู้วิจัย 92

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	หน้าที่ขององค์ประกอบในแบตเตอรี่ลิเธียม	14
ก-1	ผลการทดสอบของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุที่อุณหภูมิบรรยากาศ (0.5C)	87
ก-2	ผลการทดสอบของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุที่อุณหภูมิบรรยากาศ (1C)	87
ข-1	ผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 1 (0.5C)	89
ข-2	ผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 1 (1C)	89
ค-1	ผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 2 (0.5C)	91
ค-2	ผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 2 (1C)	91

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่	7
2-2	โครงสร้างแบตเตอรี่แบบเปียก	10
2-3	โครงสร้างแบตเตอรี่แบบปิดผนึก	11
2-4	แบตเตอรี่สำหรับอุตสาหกรรม	11
2-5	โครงสร้างแบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก	12
2-6	โครงสร้างแบตเตอรี่ลิเธียม a) แบบแท่งกลม b) แบบแท่งเหลี่ยม c) แบบเพาช์เซลล์	13
2-7	องค์ประกอบของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมและหลักการทำงาน	15
2-8	กฎของจูน	17
2-9	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง SOC และ DOD	19
2-10	เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ	24
2-11	Battery Tester	25
2-12	Internal Resistance tester Battery	25
3-1	แผนการดำเนินงาน	30
3-2	รูปแบบการติดตั้งสาย Thermocouple type K ที่ติดกับแบตเตอรี่	33
3-3	รูปแบบการทดลองแบตเตอรี่แบบ 1 ก้อน	33
3-4	รูปแบบวงจรการทดลองแบบ 1 ก้อน	34
3-5	รูปแบบการติดตั้งสาย Thermocouple type K ที่ติดกับแพ็คแบตเตอรี่	34
3-6	รูปแบบการทดลองแบตเตอรี่แบบแพ็ค	35
3-7	รูปแบบวงจรการทดลองแบบแพ็ค	35
3-8	แบตเตอรี่ Lithium-ion INR 18650 4.2 V 3.2 A	36
3-9	ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Environmental Chamber)	37
3-10	เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester)	37
3-11	เครื่องบันทึกข้อมูลแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Data Logger)	38
3-12	Thermocouple type k	38
3-13	ฮีตเตอร์แบบแท่ง	39
3-14	เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-15	เครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า	40
3-16	เครื่องวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่	40
3-17	ตารางบันทึกผลความจุและพลังงานของแบตเตอรี่	42
3-18	ตารางบันทึกผลอุณหภูมิ	42
4-1	การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C	44
4-2	การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C	44
4-3	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุ	45
4-4	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุ	45
4-5	การเปรียบเทียบพลังงานสะสม (Energy) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C	46
4-6	การเปรียบเทียบพลังงานสะสม (Energy) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C	46
4-7	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C	46
4-8	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C	47
4-9	การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C	48
4-10	การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C	48
4-11	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C	48
4-12	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C	49
4-13	การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4	50
4-14	การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4	50
4-15	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4	51
4-16	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4	51
4-17	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1	51
4-18	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 4	52
4-19	การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-20	การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4	53
4-21	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4	53
4-22	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4	53
4-23	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1	54
4-24	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 4	54
4-25	การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4	55
4-26	การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4	55
4-27	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1-4	55
4-28	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1-4	56
4-29	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 3	56
4-30	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 2	56
4-31	การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4	57
4-32	การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4	57
4-33	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4	58
4-34	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4	58
4-35	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4	58
4-36	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-37	การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4	59
4-38	การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4	60
4-39	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4	60
4-40	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4	60
4-41	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 2	61
4-42	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3	61
4-43	ตารางเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4	62
4-44	ตารางเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4	62
4-45	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2	62
4-46	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4	63
4-47	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3	63
4-48	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4	63
4-49	การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะคายประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	64
4-50	การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะคายประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	64
4-51	การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	65
4-52	การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-53	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	65
4-54	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	66
4-55	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	66
4-56	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	66
4-57	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1	67
4-58	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1	67
4-59	การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะคายประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	68
4-60	การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะคายประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	68
4-61	การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่	68
4-62	การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	69
4-63	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	69
4-64	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	69
4-65	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	70
4-66	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	70
4-67	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1	70
4-68	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-69	การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะคายประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	71
4-70	การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะคายประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	72
4-71	การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	72
4-72	การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	72
4-73	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	73
4-74	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	73
4-75	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	73
4-76	อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4	74
4-77	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3	74
4-78	ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4	74

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วรวมไปถึงประเทศไทยส่วนหนึ่งเพราะมีการสนับสนุนจากภาครัฐบาลโดยมีรัฐมนตรีกระทรวงอุตสาหกรรมได้ประกาศการสนับสนุนการผลิตและการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าโดยมีมาตรการที่จะส่งเสริมการลงทุนผลิตในประเทศ ซึ่งการส่งเสริมทางด้านเทคโนโลยีการผลิตยานยนต์ไฟฟ้ารวมถึงการพัฒนาศักยภาพในการวิจัย อีกทั้งอุปกรณ์หลักของยานยนต์ไฟฟ้าที่ควรให้ความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ ก็คือ แบตเตอรี่ ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานหลักของยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งในขณะที่มีการใช้งานแบตเตอรี่ทั้งอัดและคายประจุ (Charge and Discharge) นั้น จะมีความร้อนเกิดขึ้นภายในของแบตเตอรี่ ซึ่งปัจจัยการเกิดความร้อนภายในแบตเตอรี่นั้นจะประกอบไปด้วย การสร้างความร้อนในรูป Joule heating ที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าผ่านความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ และ การสร้างความร้อนในรูป Entropy change ที่เกิดจากกระบวนการปฏิกิริยาเคมี อีกทั้งขณะที่มีการใช้งานแบตเตอรี่เป็นระยะเวลานานแบตเตอรี่ก็จะมีค่าความต้านทานภายในเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย และด้วยความที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอุณหภูมิบรรยากาศค่อนข้างสูงนั้น จะยิ่งส่งผลให้การใช้งานแบตเตอรี่ที่มีค่าความต้านทานภายในสูงมีอุณหภูมิในการใช้งานสูงมากขึ้น, ค่าความจุของแบตเตอรี่ในการใช้งานลดลง, การอัดประจุของแบตเตอรี่ได้ยากกว่าแบตเตอรี่ที่มีค่าความต้านทานภายในต่ำ และส่งผลให้แบตเตอรี่หมดไม่เท่ากัน ซึ่งอาจนำไปสู่การลุกไหม้ของแบตเตอรี่เนื่องจากอุณหภูมิสูงได้ จึงปฏิเสธไม่ได้เลยว่าค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่นั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

จากการศึกษางานวิจัยของ David Anseán และคณะ (2014) การประเมินแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนของยานพาหนะไฟฟ้าตามการวิเคราะห์ความต้านทานภายใน โดยศึกษาความสำคัญของความต้านทานภายใน (IR) ของแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า (EV) โดยทำการทดสอบกับแบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (LFP) สี่แบบ พบว่า (IR) ของแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์กับสถานะการชาร์จ (SOC), อัตราการชาร์จ/ปล่อยประจุ (C-rates) และวิธีการวัด IR ที่ใช้ โดย IR จะสูงสุดเมื่อ SOC อยู่ที่ระดับต่ำสุดหรือสูงสุด และจะต่ำที่สุดเมื่อ SOC อยู่ที่ประมาณ 50% นอกจากนี้ยังพบว่าแบตเตอรี่ที่มีความจุมากกว่าจะมี IR ที่ต่ำกว่า ซึ่งหมายความว่าแบตเตอรี่ที่มีความจุมากขึ้นจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นสำหรับการใช้งานใน EV ผลลัพธ์เหล่านี้คำนึงถึงความสำคัญของการเลือกใช้แบตเตอรี่และการออกแบบระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในรถยนต์ไฟฟ้า

Xuezhe Wei, Bing Zhu และ Wei Xu (2009) การระบุค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนสำหรับยานพาหนะและการประยุกต์ใช้ในการประเมินอายุการใช้งาน การวิจัยและ

พัฒนาวิธีการระบุค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในยานพาหนะและการนำไปใช้ประเมินอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ วิธีการนี้จะช่วยให้สามารถประเมินความเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้แม่นยำยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะการใช้งานจริงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การทดลองใช้แบตเตอรี่พลังงาน 8 Ah เป็นตัวอย่างทดสอบและทำการทดลองการเร่งอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยการทดลองนี้ใช้การประจุและการคายประจุเต็มที่ภายใต้สภาวะคงที่ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบมากที่สุดต่อความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าและระดับการคายประจุ (DOD) มีผลกระทบน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า ความต้านทานโอห์มของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเร็วขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าในการชาร์จและคายประจุเพิ่มขึ้น รวมถึงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ (DOD) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ในการประเมินอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ความต้านทานโอห์มถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้สำคัญ เนื่องจากการวัดความจุที่ใช้งานได้แบบเรียลไทม์ทำได้ยาก จึงควรเน้นที่การวัดความต้านทานแบบโอห์ม (ohmic internal resistance) ในการประเมินสมรรถนะของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า พร้อมทั้งเน้นความสำคัญในการระบุค่าความต้านทานที่จุดสัมผัสแบบโอห์ม (RO) เพื่อสร้างแบบจำลองวงจรสมมูลที่แม่นยำสำหรับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Internal Resistance of Battery) แต่การเก็บข้อมูลยังไม่ตรงกับประเทศไทยที่มีอากาศร้อนและการเปลี่ยนแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่จะเปลี่ยนเฉพาะก้อนแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพและใส่ก้อนแบตเตอรี่ใหม่เข้าไปแทนโดยที่ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ไม่เท่ากัน อาจส่งกระทบทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในแพคแบตเตอรี่และประสิทธิภาพในการทำงานของแบตเตอรี่ลดลง ทำให้ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าควรที่จะมีการศึกษาพฤติกรรมของการแพคแบตเตอรี่ โดยเฉพาะการแพคแบตเตอรี่ที่มีค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Internal Resistance of Battery) ที่แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคแบตเตอรี่ที่ส่งผลต่อการเกิดอุณหภูมิภายในแพคแบตเตอรี่และประสิทธิภาพการทำงานของแพคแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิบรรยากาศของประเทศไทย โดยผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะสามารถทำให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากก็น้อยจากการทำวิจัยในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุที่อุณหภูมิบรรยากาศ

1.2.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพ็คที่อุณหภูมิบรรยากาศ

1.3 ขอบเขตในการวิจัย

1.3.1 ใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน INR 18650 4.2 V 3.2 A (17 mΩ, 24 mΩ, 27 mΩ)

1.3.2 การประจุและคายประจุแบตเตอรี่ (C-Rating) 0.5 C, 1 C

1.3.3 กล่องควบคุมอุณหภูมิ

1.4. นิยามศัพท์เฉพาะ

แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน หมายถึง แบตเตอรี่ชนิดหนึ่งที่ใช้ลิเธียมไอออนเป็นตัวพาหะในการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าภายในเซลล์แบตเตอรี่ โดยมีคุณสมบัติเด่นในด้านความหนาแน่นพลังงานสูง น้ำหนักเบา และสามารถชาร์จซ้ำได้หลายรอบ

ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ หมายถึง ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งมีผลกระทบต่อการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่และประสิทธิภาพการทำงานโดยรวม

พฤติกรรมของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของสถานะพลังงานและแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์แบตเตอรี่เมื่อมีการรับหรือจ่ายพลังงานไฟฟ้า ระหว่างประจุลิเธียมไอออนเคลื่อนที่จากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนด และคายประจุลิเธียมไอออนเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อ ประสิทธิภาพอายุการใช้งาน และความปลอดภัยของระบบพลังงานไฟฟ้า โดยเฉพาะในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และยานยนต์ไฟฟ้า

ตำแหน่งในการแพ็คแบตเตอรี่ หมายถึง รูปแบบการจัดเรียงเซลล์แบตเตอรี่ภายในแบตเตอรี่แพ็ค เพื่อให้ได้คุณสมบัติทางไฟฟ้าและกายภาพที่เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น แรงดันไฟฟ้า(Voltage), ความจุพลังงาน (Capacity), และการกระจายความร้อน (Thermal Management) มีผลต่อประสิทธิภาพอายุการใช้งาน และความปลอดภัยของแบตเตอรี่ในระบบพลังงานไฟฟ้า เช่น รถEV ระบบพลังงานสำรอง และอุปกรณ์พกพา

อุณหภูมิบรรยากาศ หมายถึง อุณหภูมิของอากาศรอบตัวในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ซึ่งมีความสำคัญในหลายด้าน เช่น การศึกษาอากาศ, การออกแบบเครื่องจักร, ระบบทำความเย็น, และการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยอุณหภูมิของอากาศในสภาพแวดล้อมจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่าง ๆ รวมถึงการระบายความร้อนในแบตเตอรี่และมอเตอร์ไฟฟ้าในยานยนต์ไฟฟ้า โดยใช้เครื่องมืออย่างเทอร์โมมิเตอร์และเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ซึ่งหน่วยที่ใช้วัดจะเป็น องศาเซลเซียส (°C) หรือ องศาฟาเรนไฮต์ (°F)

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถทราบถึงพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่มีความต้านภายในแตกต่างกันที่อุณหภูมิบรรยากาศ

1.5.2 สามารถทราบถึงพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่มีความต้านภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาพฤติกรรมความต้านทานภายในแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งของการแพคแบตเตอรี่ ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับดังนี้

2.1 ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิบรรยากาศที่ส่งผลต่อแบตเตอรี่
2.2 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด
2.3 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน
2.4 ปัจจัยการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน
2.5 ค่า SOC, DOD ของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน
2.6 กระแส, ความต้านทาน และแรงดันแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน
2.7 ทฤษฎีการชาร์จและดิสชาร์จลิเธียมไอออน
2.8 ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน
2.9 ผลกระทบของแบตเตอรี่เนื่องจากอุณหภูมิ
2.10 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger)
2.11 เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester)
2.12 เครื่องวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Internal Resistance of Battery)
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิบรรยากาศที่ส่งผลต่อแบตเตอรี่

สมศักดิ์ สุขสบาย (2566) กล่าวถึงทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิบรรยากาศที่ส่งผลต่อแบตเตอรี่ว่า ในยุคปัจจุบัน แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนกลายเป็นส่วนสำคัญของเทคโนโลยีสมัยใหม่ ไม่ว่าจะเป็นในโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์แบบพกพา รถยนต์ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ความสำคัญของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนี้ไม่ได้มีเพียงแค่ในเรื่องของความสามารถในการจัดเก็บพลังงานที่สูง แต่ยังรวมถึงความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย โดยเฉพาะอุณหภูมิบรรยากาศที่มีการเปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิบรรยากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน การศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของอุณหภูมิต่อแบตเตอรี่เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องเพื่อจัดการกับปัญหานี้ เช่น ทฤษฎีเคมีไฟฟ้าและทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ที่ช่วยในการวิเคราะห์และพัฒนาวัสดุแบตเตอรี่ใหม่ ๆ ที่สามารถทำงานได้ดีในสภาพอุณหภูมิที่หลากหลาย

2.1.1 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อแบตเตอรี่ลิเธียม อุณหภูมิมีบทบาทสำคัญในการทำงานและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสามารถส่งผลต่อกระบวนการเคมีภายในแบตเตอรี่ได้อย่างมีนัยสำคัญ อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปสามารถทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง และอาจทำให้เกิดความเสียหายที่ไม่สามารถย้อนกลับได้

1.) ผลกระทบของอุณหภูมิสูง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนจะเกิดขึ้นเร็วขึ้น อุณหภูมิที่สูงทำให้ปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่เกิดขึ้นเร็วขึ้น ซึ่งสามารถเร่งการเสื่อมสภาพของสารเคมีที่ใช้ในการทำขั้วบวก ขั้วลบ และอิเล็กโทรไลต์ ส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงอย่างมาก ซึ่งตัวอย่างผลกระทบของอุณหภูมิสูงส่งผลต่อแบบเตอรี่ลิเธียมมีดังต่อไปนี้

1.1) การเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

1.1.1) อุณหภูมิสูงทำให้ปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่เกิดขึ้นเร็วขึ้น ทำให้สารเคมีเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว

1.1.2) เกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุที่ใช้ในการทำขั้วบวกและขั้วลบ รวมถึงสารอิเล็กโทรไลต์

1.1.3) อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง

1.2) ประสิทธิภาพการทำงานลดลง

1.2.1) การเสื่อมสภาพของสารเคมีภายในแบตเตอรี่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเก็บประจุและการจ่ายไฟลดลง

1.2.2) ความสามารถในการจ่ายพลังงานลดลง

1.3) ความเสี่ยงในการเกิดความร้อนเกิน (Thermal Runaway) อุณหภูมิสูงอาจทำให้แบตเตอรี่ร้อนเกินไปและเกิดความร้อนเกิน ซึ่งสามารถทำให้แบตเตอรี่ระเบิดหรือเกิดไฟลุกได้

2.) ผลกระทบของอุณหภูมิต่ำ ในทางกลับกัน อุณหภูมิต่ำก็ส่งผลกระทบต่อแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในลักษณะที่แตกต่างกัน อุณหภูมิต่ำทำให้สารเคมีภายในแบตเตอรี่เคลื่อนที่ช้าลง ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการจ่ายพลังงานลดลง ความต้านทานภายในแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้น ทำให้การจ่ายไฟไม่เต็มประสิทธิภาพและทำให้ความสามารถในการเก็บประจุลดลง ซึ่งตัวอย่างผลกระทบของอุณหภูมิต่ำส่งผลต่อแบตเตอรี่ลิเธียมมีดังต่อไปนี้

2.1) ความสามารถในการจ่ายพลังงานลดลง

2.1.1) อุณหภูมิต่ำทำให้สารเคมีภายในแบตเตอรี่เคลื่อนที่ช้าลง ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการจ่ายพลังงานลดลง

2.1.2) ความต้านทานภายในแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น ทำให้การจ่ายไฟไม่เต็มประสิทธิภาพ

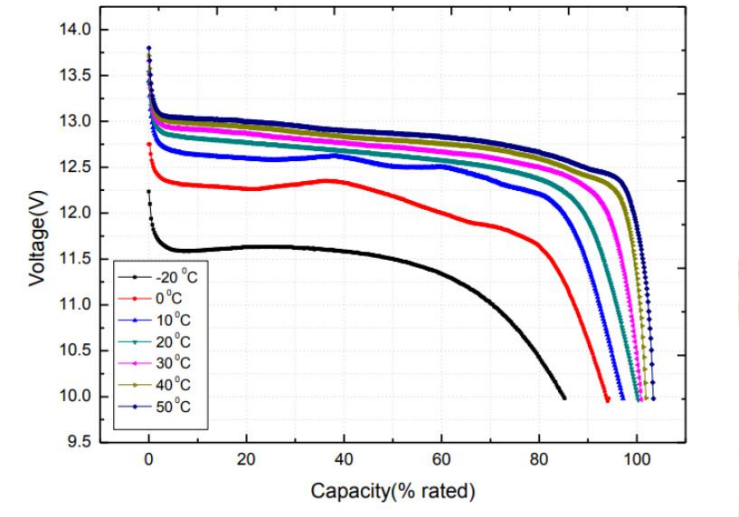
2.2) กระบวนการชาร์จช้าลง

2.2.1) อุณหภูมิต่ำทำให้กระบวนการชาร์จแบตเตอรี่ช้าลง และอาจทำให้การชาร์จไม่เต็มประสิทธิภาพ

2.2.2) อาจเกิดการตกผลึกของลิเธียมในกระบวนการชาร์จ ทำให้เกิดความเสียหายต่อขั้วแบตเตอรี่

2.3) ความเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุ

2.3.1) วัสดุบางชนิดอาจเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้นในอุณหภูมิต่ำ เช่น อิเล็กโทรไลต์ที่สามารถแข็งตัวได้ในอุณหภูมิต่ำ ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ [1]

3.) การจัดการผลกระทบ เพื่อจัดการผลกระทบของอุณหภูมิต่อแบตเตอรี่ลิเธียม มีการพัฒนาเทคโนโลยีและกลยุทธ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.1) ระบบระบายความร้อน (Cooling Systems) : ใช้ในการรักษาอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

3.2) การปรับปรุงวัสดุแบตเตอรี่ (Battery Material Improvements) : การพัฒนาวัสดุใหม่ที่ทนทานต่ออุณหภูมิสูงและต่ำ

3.3) การออกแบบโครงสร้างแบตเตอรี่ (Battery Design) : การออกแบบโครงสร้างภายในแบตเตอรี่เพื่อให้การกระจายความร้อนเป็นไปอย่างเหมาะสม การทำความเข้าใจผลกระทบของอุณหภูมิต่อแบตเตอรี่ลิเธียมเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงเทคโนโลยีแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพและอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น

2.2 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด

กัสตง ปล็องเต (Gaston. Planté) (1859) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ได้สร้าง แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead–Acid Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบบชาร์จไฟได้ชนิดที่เก่าแก่ที่สุด ซึ่งมีอัตราส่วนพลังงานต่อน้ำหนักที่ต่ำมาก และอัตราส่วนพลังงานต่อปริมาณที่ต่ำ แต่มีอัตราส่วนกำลังงานต่อน้ำหนักค่อนข้างสูง นั่นหมายถึงมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟกระชากที่สูงด้วยคุณสมบัติข้างต้นรวมกับราคาที่ค่อนข้างถูก ทำให้เป็นที่น่าสนใจสำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์ที่ต้องใช้กระแสสูงสำหรับการจุดเครื่องยนต์

เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ จึงใช้กันอย่างแพร่หลาย ถึงแม้ว่าในปัจจุบันการจ่ายไฟกระชากสูงไม่มีความจำเป็น และการออกแบบอื่น ๆ ก็ต้องการความหนาแน่นของพลังงานที่สูงขึ้น. การออกแบบตะกั่วกรดในรูปแบบขนาดใหญ่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการจัดเก็บในอุปกรณ์สำรองพลังงานในอาคารโทรศัพท์มือถือ, การดำเนินงานความพร้อมสูงเช่นโรงพยาบาลและระบบไฟฟ้าแบบ Stand-Alone.

2.2.1 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

1.) แผ่นตะกั่ว (Lead Plates) เป็นส่วนประกอบสำคัญในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า (Electrodes) มีสองชนิด ได้แก่ ขั้วบวก (Positive plate) และขั้วลบ (Negative Plate) ประกอบด้วยแผ่นตะกั่วที่มีสารตะกั่วออกไซด์ (Lead Oxide) เคลือบอยู่

1.1) ลักษณะและคุณสมบัติของแผ่นตะกั่ว

1.1.1) ขั้วบวก (Positive Plate) ทำจากตะกั่วไดออกไซด์ (Lead Dioxide หรือ PbO2) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าและมีปฏิกิริยาทางเคมีกับกรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid) เพื่อปล่อยและเก็บพลังงานไฟฟ้า

1.1.2) ขั้วลบ (Negative Plate) ทำจากตะกั่วบริสุทธิ์ (Pure Lead หรือ Pb) ที่ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกเช่นกัน

1.2) การทำงานของแผ่นตะกั่วในแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จหรือใช้งาน จะมีการแลกเปลี่ยนไอออนและอิเล็กตรอนระหว่างแผ่นตะกั่วและอิเล็กโทรไลต์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่สามารถเก็บและปล่อยพลังงานไฟฟ้าได้ ปฏิกิริยาเคมีหลักที่เกิดขึ้นมีดังนี้

1) ขณะชาร์จ (Charging)

$$PbO_2+2H_2SO_4+Pb\rightarrow 2PbSO_4+2H_2O \quad (2\text{-}1)$$

2) ขณะจ่ายไฟ (Discharging)

$$2PbSO_4+2H_2O\rightarrow PbO_2+2H_2SO_4+Pb \quad (2\text{-}2)$$

1.3) คุณสมบัติเด่นของแผ่นตะกั่ว

1.3.1) ทนทานและแข็งแรง ตะกั่วมีคุณสมบัติที่ทนทานและแข็งแรงทำให้แผ่นตะกั่วในแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ยาวนาน

1.3.2) ประสิทธิภาพสูง แผ่นตะกั่วสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีทำให้มีประสิทธิภาพในการเก็บและจ่ายพลังงานไฟฟ้า

2.) อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดคือสารละลายที่ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางในการนำไฟฟ้าระหว่างแผ่นตะกั่วขั้วบวกและขั้วลบ โดยทั่วไปอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะเป็นกรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid, H_2SO_4) ที่ละลายในน้ำ

2.1) หน้าที่และบทบาทของอิเล็กโทรไลต์

2.1.1) นำไฟฟ้า อิเล็กโทรไลต์ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางในการนำไฟฟ้าระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ ทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนและกระแสไฟฟ้าในวงจร

2.2.2) สนับสนุนปฏิกิริยาเคมี อิเล็กโทรไลต์ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่จำเป็นในการชาร์จและจ่ายไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งของไอออนที่จำเป็นในการแลกเปลี่ยนในปฏิกิริยาเคมี

2.2) ปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ในขณะที่แบตเตอรี่กำลังชาร์จหรือจ่ายไฟฟ้า จะมีปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรไลต์และแผ่นตะกั่วดังนี้

2.2.1) ขณะชาร์จ (Charging)

$$PbSO4+PbO2+2H2SO4\rightarrow 2PbSO4+2H2O \qquad (2\text{-}3)$$

2.2.2) ขณะจ่ายไฟ (Discharging)

$$2PbSO4+2H2O\rightarrow PbSO4+PbO2+2H2SO4 \qquad (2\text{-}4)$$

2.3) คุณสมบัติสำคัญของอิเล็กโทรไลต์

2.3.1) ความเข้มข้น ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในอิเล็กโทรไลต์จะส่งผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าและปฏิกิริยาเคมีของแบตเตอรี่

2.3.2) ความเสถียร อิเล็กโทรไลต์ควรมีความเสถียรในการเก็บรักษาพลังงานและไม่เกิดการระเหยหรือเสื่อมสภาพง่าย อิเล็กโทรไลต์เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดสามารถเก็บและจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือ

3.) แผ่นกั้น (Separator) ในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญทำหน้าที่แยกแผ่นตะกั่วขั้วบวกและขั้วลบออกจากกัน เพื่อป้องกันการลัดวงจร (Short Circuit) ในขณะที่ยังคงยอมให้ไอออน (Ions) ผ่านไปได้เพื่อสนับสนุนการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่

3.1) ลักษณะและคุณสมบัติของแผ่นกั้น

3.1.1) วัสดุ แผ่นกั้นมักทำจากวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า (Non-Conductive Materials) เช่น แผ่นใยแก้ว (Glass Mat), โพลิเมอร์ (Polymers) หรือเซลลูโลส (Cellulose)

3.1.2) ความพรุน แผ่นกั้นต้องมีโครงสร้างที่มีความพรุน (Porous Structure) เพื่อให้ไอออนสามารถผ่านไปมาได้โดยง่าย ในขณะเดียวกันก็ต้องป้องกันการสัมผัสกันของแผ่นตะกั่วบวกและลบ

3.1.3) ความต้านทานการกัดกร่อน แผ่นกั้นต้องมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริกและมีความทนทานต่อการใช้งานในระยะยาว

3.2) หน้าที่ของแผ่นกั้น

3.2.1) ป้องกันการลัดวงจร แผ่นกั้นทำหน้าที่แยกแผ่นตะกั่วขั้วบวกและขั้วลบออกจากกันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรที่อาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพหรือเสียหาย

3.2.2) สนับสนุนการนำไอออน แผ่นกั้นต้องยอมให้ไอออนจากอิเล็กโทรไลต์สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปมาได้ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่จำเป็นในการชาร์จและจ่ายไฟฟ้าของแบตเตอรี่

3.2.3) เสริมสร้างโครงสร้าง แผ่นกั้นยังช่วยเสริมสร้างโครงสร้างภายในแบตเตอรี่ให้มั่นคงและทนทานมากขึ้น

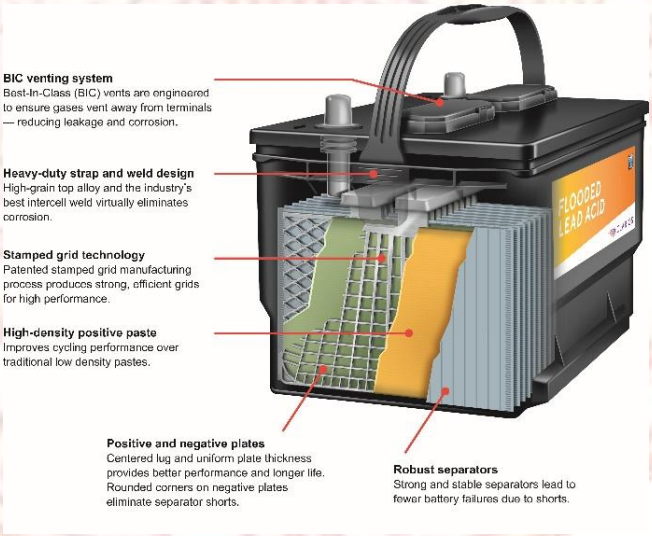
3.3) การทำงานของแผ่นกั้นในแบตเตอรี่ ในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด เมื่อมีการชาร์จหรือจ่ายไฟฟ้า ไอออนจากอิเล็กโทรไลต์จะเคลื่อนที่ผ่านแผ่นกั้นเพื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับแผ่นตะกั่วบวกและลบ โดยไม่เกิดการสัมผัสกันโดยตรงของแผ่นตะกั่วเหล่านั้น แผ่นกั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำให้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ด้วยการป้องกันการลัดวงจรและสนับสนุนการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่จำเป็น

2.2.2) ประเภทของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery) แบ่งออกเป็นหลายประเภทตามลักษณะการใช้งานและการออกแบบ ซึ่งหลัก ๆ มีดังนี้

1.) แบตเตอรี่แบบเปียก (Flooded Lead-Acid Battery) แบตเตอรี่แบบเปียกมีอิเล็กโทรไลต์ในรูปแบบของเหลว (น้ำกรด) ที่อยู่ในภาชนะที่สามารถเปิดเติมน้ำกลั่นได้ มีสองประเภทหลักดังภาพที่ 2-2

1.1) แบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ (Automotive Battery) ใช้สำหรับรถยนต์, รถบรรทุก, และยานพาหนะอื่น ๆ แบตเตอรี่ชนิดนี้ออกแบบมาให้มีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟสูงในช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อสตาร์ทเครื่องยนต์

1.2) แบตเตอรี่สำหรับการใช้งานแบบลึก (Deep Cycle Battery) ออกแบบมาเพื่อการใช้งานที่ต้องการการจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องในระยะเวลานาน เช่น ในรถกอล์ฟ, รถยก, และระบบพลังงานแสงอาทิตย

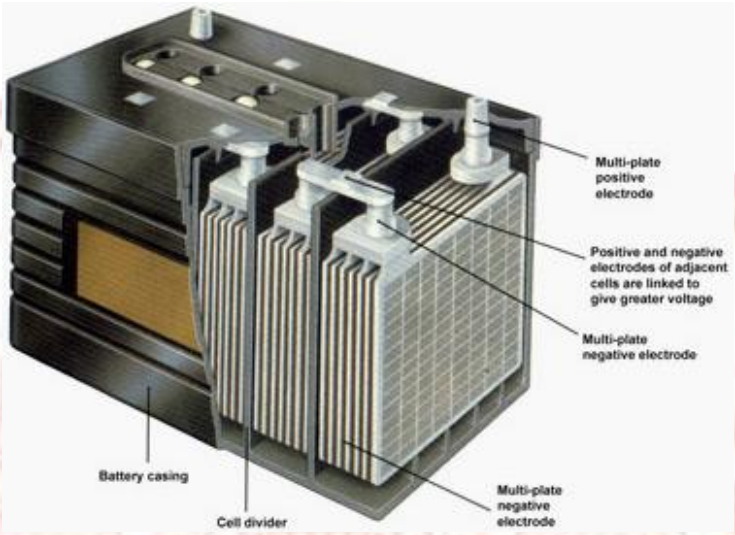


ภาพที่ 2-2 โครงสร้างแบตเตอรี่แบบเปียก [2]

2.) แบตเตอรี่แบบปิดผนึก (Sealed Lead-Acid Battery) แบตเตอรี่แบบปิดผนึกเป็นแบตเตอรี่ที่ไม่มีการระเหยของน้ำและไม่ต้องการการเติมน้ำกลั่น มีสองประเภทหลัก

2.1) แบตเตอรี่เจล (Gel Cell Battery) อิเล็กโทรไลต์ถูกแปรสภาพเป็นเจล ทำให้แบตเตอรี่มีความเสถียรสูงและสามารถใช้งานได้ในทิศทางใดก็ได้ แบตเตอรี่ชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความทนทานต่อการสั่นสะเทือนและการเคลื่อนย้าย

2.2) แบตเตอรี่แบบแผ่นกรองแก้วดูดซับ (Absorbent Glass Mat - AGM Battery) อิเล็กโทรไลต์ถูกดูดซับในแผ่นกรองแก้ว ทำให้แบตเตอรี่มีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงและสามารถใช้งานในทิศทางใดก็ได้ เหมาะสำหรับการใช้งานในรถยนต์สมัยใหม่และระบบสำรองไฟ (UPS) ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างแบตเตอรี่แบบปิดผนึก [3]

3.) แบตเตอรี่สำหรับอุตสาหกรรม (Industrial Lead-Acid Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้ออกแบบมาเพื่อการใช้งานในงานอุตสาหกรรม เช่น ในระบบไฟฟ้าสำรอง, ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน, และระบบการเก็บพลังงานจากพลังงานทดแทน ดังภาพที่ 2-4

ภาพที่ 2-4 แบตเตอรี่สำหรับอุตสาหกรรม [4]

4.) แบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก (Valve Regulated Lead-Acid - VRLA Battery) แบตเตอรี่ VRLA เป็นแบตเตอรี่ที่มีการควบคุมการระบายไอออน มีอายุการใช้งานยาวนาน และไม่ต้องการการบำรุงรักษา ใช้ในระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน, ระบบสำรองไฟฟ้า, และอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ดังภาพที่ 2-5

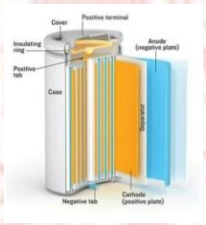
ภาพที่ 2-5 โครงสร้างแบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก [5]

2.3 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

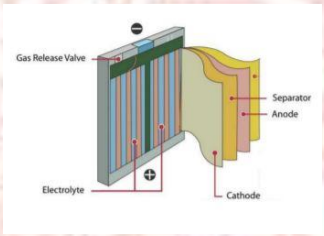
โดยทั่วไป แบตเตอรี่ชนิดลิเธียม จะประกอบไปด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Cell) ที่ประกอบ ไปด้วยโครงสร้าง 3 ชั้น ที่ถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุหุ้ม (Case) ดังแสดงในภาพที่ 2-6 โครงสร้างหลัก 3 ชั้น ประกอบไปด้วย แผ่น วัสดุแคโทด (อิเล็กโทรดขั้วบวก) แผ่นวัสดุแอโนด (อิเล็กโทรดขั้วลบ) อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งเป็นตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายเกลือของลิเธียม โดยมีแผ่นวัสดุเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (Microporous Membrane) แยกขั้วทั้งสองออกจากกัน (Separator) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจร เซลล์ไฟฟ้าเคมีนี้ถูกประกอบเข้า ด้วยกันในกรอบโลหะ (Metal Case) หรือวัสดุห่อหุ้มอื่น เช่น พลาสติก ตารางที่ 2-1 อธิบายหน้าที่ และประเภทขององค์ประกอบ โดยแต่ละประเภทจะมีรูปแบบการจัดวางของเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิด ของแบตเตอรี่ มีทั้งประเภทที่ประจุไฟใหม่ได้ (Rechargeable) และประจุไฟใหม่ไม่ได้ (Non-Rechargeable) ขั้วอิเล็กโทรดบวก หรือแคโทดจะประกอบไปด้วยสารจะประกอบไปด้วยสารประกอบลิเธียม ส่วนมากจะเป็นสารประกอบลิเธียมเมทัลออกไซด์ (Lithium-Metal-Oxide) เช่น ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์ และลิเธียมแมงกานีสออกไซด์ เป็นต้น สารประกอบลิเธียมชนิดอื่น ๆ เช่น ลิเธียมไอรอนฟอสเฟสและลิเธียมไททาเนต เป็นต้น ดังภาพที่ 2-7 ส่วนวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นขั้วแอโนด คือ คาร์บอนชนิดต่างๆ ได้แก่ แกรไฟต์ (Graphite) คาร์บอนแข็ง (Hard Carbon)

หรือ แกรฟีน (Graphene) นอกจากนี้ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เป็นสารประกอบของ เกลือของลิเธียม ซึ่งจะละลายอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น Lithium Hexafluorophosphate (LiPF6) Lithium Perchlorate (LiClO4) และ Lithium Hexafluoro Arsenate (LiAsF6) เป็นต้น ดังตารางที่ 2-1

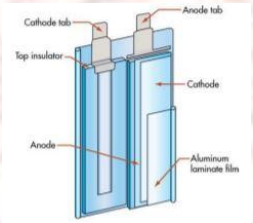
สรุปหน้าที่ขององค์ประกอบต่าง ๆ ในแบตเตอรี่ลิเธียม ในส่วนของวัสดุหุ้มอาจทำ จากโลหะ เช่น อะลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม หรือเป็นชั้นฟิล์มของอะลูมิเนียม-พลาสติก ส่วนแผ่นแยกหรือวัสดุเมมเบรน อาจทำมาจากโพลีโพรพิลีน หรือโพลีเอทิลีน เป็นต้น ดังภาพที่ 2-6 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้าง ภายในของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดแท่งกลม – Cylindrical แบตเตอรี่ชนิดแท่งเหลี่ยมที่มีวัสดุหุ้มแข็ง Prismatic Hard Case และแบตเตอรี่ชนิดพอนช์เซลล์ Pouch Cell หรือแบบกระเป๋าเหลี่ยมและมีวัสดุหุ้มเป็น อะลูมิเนียมแผ่นฟอยล์ และพลาสติกซึ่งมีความยืดหยุ่นกว่า แบตเตอรี่ 2 ชนิดแรกจะมีแผ่นขั้วอิเล็กโทรดสลับกัน ไปม้วนแบบเจลลี่โรล (Jellyroll) ส่วนแบตเตอรี่แบบเพาช์เซลล์จะเป็นการประกบแผ่นวัสดุขั้วอิเล็กโทรดแบบ แซนวิช (Sandwich)



a)



b)



c)

ภาพที่ 2-6 โครงสร้างแบตเตอรี่ลิเธียม a) แบบแท่งกลม b) แบบแท่งเหลี่ยม c) แบบเพาช์เซลล์ [6]

ตารางที่ 2-1 หน้าที่ขององค์ประกอบในแบตเตอรี่ลิเธียม

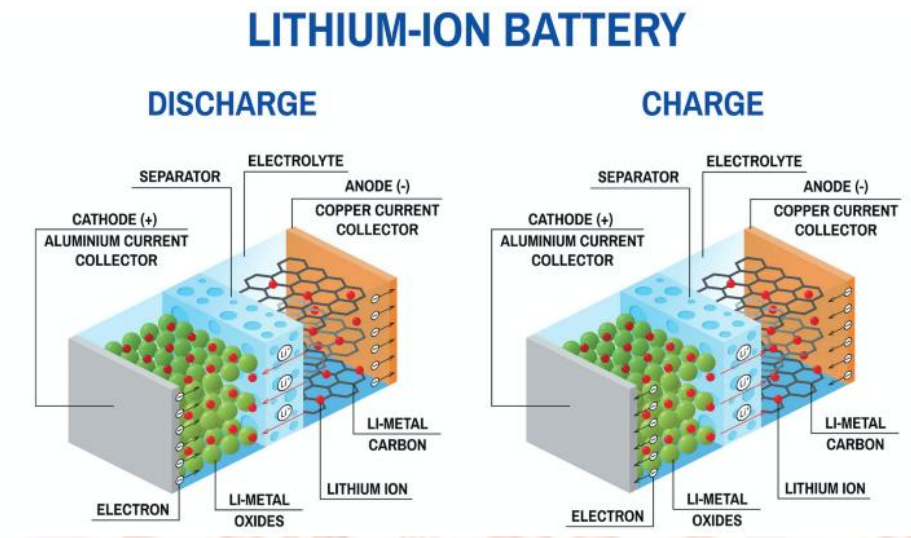
องค์ประกอบ	หน้าที่	วัสดุ
แคโทด	- ปล่อยอิออนของลิเธียมไปยังขั้วแอโนดระหว่างการคายประจุ - รับอิออนของลิเธียมระหว่างการประจุไฟฟ้าใหม่	ลิเธียมเมทัลออกไซด์/สารประกอบลิเธียม
แอโนด	- รับอิออนของลิเธียมจากแคโทดระหว่างการคายประจุ - ปล่อยอิออนของลิเธียมระหว่างการประจุไฟฟ้าใหม่	แกรไฟต์สารละลาย/คาร์บอน/กราฟีน
อิเล็กโทรไลต์	- เป็นตัวกลางให้อิออนของลิเธียมเคลื่อนที่ผ่านระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนด	เกลือของลิเธียม/สารละลายอินทรีย์
แผ่นแยก	- ป้องกันการลัดวงจรระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนด - ให้อิออนของลิเธียมเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนของตัวเนื้อวัสดุ	โพลี่โพรพิลีน/โพลี่เอทิลีน
ตัวเชื่อมต่อ	- เหนี่ยวนำอิเล็กตรอนไปยังแคโทดและจากแอโนด	ทองแดง/อะลูมิเนียม

แบตเตอรี่ลิเธียมมีหลักการทำงาน คือ ไอออนของลิเธียมจะเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดไปยังแคโทดระหว่างการคายประจุ (Discharge) ซึ่งทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า และจะเคลื่อนที่กลับในทางตรงข้ามเมื่อมีการ ประจุไฟใหม่ (Charging) ด้วยหลักการดังกล่าวจึงสามารถให้กระแสไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ เคมีไฟฟ้าดังสมการแสดงด้านล่าง

Positive electrode $\quad LiC \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftharpoons}} Li_{1-x}+CoO_2 + xLi^+ + xe^-$ (2-5)

Negative electrode $\quad C + xLi^+ \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftharpoons}} CL_{ix}$ (2-6)

Battery as a whole $\quad LiC \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftharpoons}} Li_{1-x} + CoO_2 + CLi_x$ (2-7)



ภาพที่ 2-7 องค์ประกอบของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมและหลักการทำงาน [7]

1.) ข้อดี ข้อเสีย และข้อควรระวังของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

1.1) ข้อดีของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

1.1.1) ความหนาแน่นพลังงานสูง (High Energy Density) แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมีความสามารถในการเก็บพลังงานในปริมาณมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักและขนาด ทำให้เหมาะสำหรับอุปกรณ์พกพาและรถยนต์ไฟฟ้า

1.1.2) การคายประจุต่ำ (Low Self-Discharge) แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนจะคายประจุในอัตราที่ต่ำเมื่อไม่ได้ใช้งาน ทำให้สามารถเก็บประจุได้นานกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น

1.1.3) ไม่มีผลกระทบความจำ (No Memory Effect) สามารถชาร์จและใช้งานได้เต็มที่ทุกครั้งโดยไม่ต้องกังวลเรื่องผลกระทบความจำ (Memory Effect) ที่พบในแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียม (NiCd)

1.1.4) อายุการใช้งานยาวนาน (Long Cycle Life) แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนสามารถชาร์จและใช้งานได้หลายรอบ (Cycles) โดยที่ประสิทธิภาพการเก็บพลังงานลดลงช้ากว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น

1.1.5) การบำรุงรักษาต่ำ (Low Maintenance) ไม่ต้องการการบำรุงรักษาเฉพาะทางบ่อย ๆ เหมือนกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น เช่น การเติมน้ำกลั่นในแบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮดราย (NiMH)

1.2) ข้อเสียของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

1.2.1) ความเสี่ยงจากการระเบิดและไฟไหม้ (Risk of Explosion and Fire) หากแบตเตอรี่เสียหายหรือถูกชาร์จผิดวิธี อาจเกิดการระเบิดหรือไฟไหม้ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่

1.2.2) ราคาแพง (High Cost) วัสดุและกระบวนการผลิตแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมีค่าใช้จ่ายสูง ทำให้มีราคาสูงกว่าชนิดอื่น

1.2.3) อ่อนไหวต่ออุณหภูมิ (Temperature Sensitivity) การทำงานในอุณหภูมิสูงหรือต่ำมากอาจทำให้ประสิทธิภาพลดลงหรือเสียหายได้ แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนควรถูกเก็บและใช้งานในอุณหภูมิที่เหมาะสม

1.2.4) การลดประสิทธิภาพตามอายุการใช้งาน (Degradation Over Time) แม้ว่าแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนจะมีอายุการใช้งานยาวนาน แต่ประสิทธิภาพการเก็บพลังงานจะลดลงตามระยะเวลาการใช้งาน

1.3) ข้อควรระวังในการใช้งานแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

1.3.1) หลีกเลี่ยงการชาร์จหรือใช้งานในอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไป (Avoid Extreme Temperatures) การใช้งานในอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปอาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้นหรือเกิดความเสียหาย

1.3.2) หลีกเลี่ยงการชาร์จเกิน (Avoid Overcharging) การชาร์จเกินสามารถทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายและเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดไฟไหม้หรือระเบิด ควรใช้เครื่องชาร์จที่มีมาตรฐานและถูกต้อง

1.3.3) ไม่ควรคายประจุจนหมด (Avoid Deep Discharge) การคายประจุจนหมดสามารถทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น ควรหลีกเลี่ยงการใช้แบตเตอรี่จนหมดประจุทุกครั้ง

1.3.4) เก็บแบตเตอรี่ในที่แห้งและเย็น (Store in a Cool, Dry Place) การเก็บแบตเตอรี่ในสภาพแวดล้อมที่แห้งและเย็นจะช่วยยืดอายุการใช้งาน

1.3.5) ตรวจสอบแบตเตอรี่เป็นประจำ (Regular Inspection) ควรตรวจสอบแบตเตอรี่เป็นประจำเพื่อหาความเสียหายหรือการบวมของแบตเตอรี่ และหยุดใช้งานหากพบปัญหา

1.3.6) ใช้เครื่องชาร์จที่ถูกต้องและมีมาตรฐาน (Use Appropriate Chargers) การใช้เครื่องชาร์จที่ถูกต้องและมีมาตรฐานจะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหาย

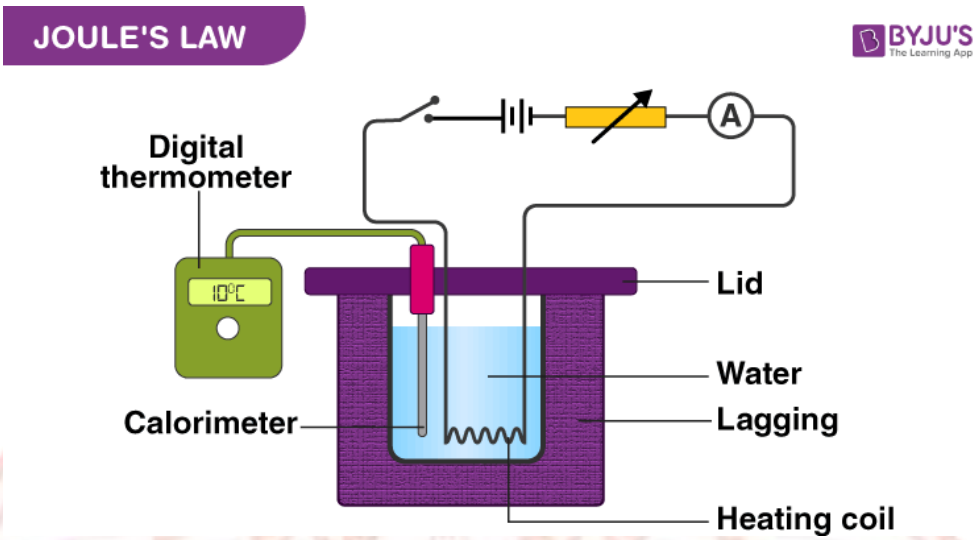
2.4 ปัจจัยการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนอาจเกิดความร้อนจากหลายปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแบตเตอรี่ ปัจจัยหลัก ๆ ที่ทำให้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนเกิดความร้อนมีดังหัวข้อต่อไปนี้

1.) ปัจจัยการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

1.1) การชาร์จและคายประจุเร็ว (Fast Charging and Discharging) การชาร์จหรือคายประจุที่มีอัตราเร็วสูงเกินไปทำให้เกิดความร้อนสะสม เนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนลิเธียมและปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในอัตราที่สูง

1.2) ความต้านทานภายใน (Internal Resistance) ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ที่สูงสามารถทำให้เกิดความร้อนเมื่อมีการชาร์จหรือคายประจุ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานภายในทำให้เกิดความร้อนตามหลักการของจูล (Joule's Law) ดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 กฎของจูน [8]

1.3) การลัดวงจร (Short Circuit) การลัดวงจรภายในแบตเตอรี่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในปริมาณมากในช่วงเวลาสั้น ๆ ทำให้เกิดความร้อนสูงและอาจทำให้แบตเตอรี่ระเบิดหรือไฟไหม้

1.4) การชาร์จเกิน (Overcharging) การชาร์จแบตเตอรี่เกินความจุที่กำหนดทำให้เกิดความร้อนและสามารถทำให้เกิดการแตกตัวของอิเล็กโทรไลต์ภายในแบตเตอรี่ นำไปสู่ความเสียหายและอันตราย

1.5) การคายประจุจนหมด (Deep Discharge) การคายประจุจนหมดทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์แบตเตอรี่และเพิ่มความต้านทานภายใน ซึ่งทำให้เกิดความร้อนมากขึ้นในระหว่างการชาร์จและคายประจุ

1.6) การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง (High Temperature Environment) การใช้งานหรือเก็บแบตเตอรี่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงทำให้เกิดความร้อนสะสม เนื่องจากแบตเตอรี่ไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ทนทานต่ออุณหภูมิสูง

1.7) ปฏิกิริยาเคมีภายใน (Internal Chemical Reactions) ปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการชาร์จและคายประจุทำให้เกิดความร้อน การเคลื่อนที่ของไอออนลิเธียมและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่ทำให้เกิดความร้อน

2.) การจัดการและลดความร้อนในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

2.1) การควบคุมอัตราการชาร์จและคายประจุ (Control Charging and Discharging Rates) ใช้การชาร์จและคายประจุในอัตราที่เหมาะสมเพื่อลดความร้อนสะสม

2.2) การระบายความร้อน (Heat Dissipation) การออกแบบระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ เช่น การใช้วัสดุนำความร้อนและพัดลมระบายความร้อน

2.3) การตรวจสอบความต้านทานภายใน (Monitoring Internal Resistance) การตรวจสอบและบำรุงรักษาแบตเตอรี่เพื่อให้ความต้านทานภายในอยู่ในระดับต่ำ

2.4) การป้องกันการลัดวงจร (Short Circuit Protection) ใช้ระบบป้องกันการลัดวงจรและการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดความร้อนสูง

2.5) การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (Suitable Environment) หลีกเลี่ยงการใช้งานหรือเก็บแบตเตอรี่ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง การจัดการและลดความร้อนในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการใช้งาน

2.5 ค่า SOC, DOD ของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

SOC (State of Charge) และ DOD (Depth of Discharge) เป็นค่าวัดสำคัญที่ใช้ในการประเมินสถานะและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน โดยทั่วไปอายุการใช้งานที่ถือว่าสิ้นสุดของแบตเตอรี่ลิเธียม-ไอออน หมายถึง ค่าความจุของแบตเตอรี่ลดลง 20% ถึง 30% ของค่าความจุเริ่มต้น ซึ่งอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเธียม-ไอออนขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยนี้

1.) SOC (State of Charge) State of Charge (SOC) คือค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่เมื่อเปรียบเทียบกับความจุสูงสุด โดยปกติจะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์

1.1) สูตรในการคำนวณ SOC สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$SOC(\%) = \left(\frac{\text{ความจุปัจจุบัน } (Current\ Capacity)}{\text{ความจุสูงสุด } (Maximum\ Capacity)}\right) x\ 100 \qquad (2\text{-}5)$$

1.2) การใช้งาน SOC

1.2.1) ใช้ในการตรวจสอบระดับพลังงานที่เหลืออยู่ของแบตเตอรี่

2.2.2) ใช้ในการควบคุมและการจัดการพลังงานในระบบต่าง ๆ เช่น รถยนต์ไฟฟ้า สมาร์ทโฟน และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

1.2.3) ใช้ในการประเมินอายุการใช้งานและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่

2.) DOD (Depth of Discharge) Depth of Discharge (DOD) คือค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ไปจากแบตเตอรี่เมื่อเปรียบเทียบกับความจุสูงสุด โดยปกติจะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์

2.1) สูตรในการคำนวณ DOD สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$DOD(\%) = \left(\frac{\text{ความจุที่ใช้ไป } (Used\ Capacity)}{\text{ความจุสูงสุด } (Maximum\ Capacity)}\right) x\ 100 \qquad (2\text{-}6)$$

2.2) การใช้งาน DOD

2.2.1) ใช้ในการวัดการใช้งานของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาหนึ่ง

2.2.2) ใช้ในการคาดการณ์อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เนื่องจากการคายประจุเต็มรอบ (Full Cycle) จะทำให้อายุการใช้งานลดลง

2.2.3) ใช้ในการจัดการการชาร์จและการคายประจุเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

3.) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1) วงจรการชาร์จและการคายประจุ (Charging and Discharging Cycles)

3.1.1) แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมีอายุการใช้งานที่วัดเป็นจำนวนรอบการชาร์จและการคายประจุ (Charge/Discharge Cycles) SOC และ DOD เป็นตัวบ่งชี้การใช้งานของแบตเตอรี่ในแต่ละรอบ

3.1.2) การคายประจุที่ DOD สูง (เช่น 80-100%) จะลดจำนวนรอบการชาร์จ/คายประจุที่แบตเตอรี่สามารถรับได้ โดยที่ DOD ต่ำ (เช่น 20-30%) จะช่วยยืดอายุการใช้งาน

3.2) ความจุที่เสื่อมลง (Capacity Fade)

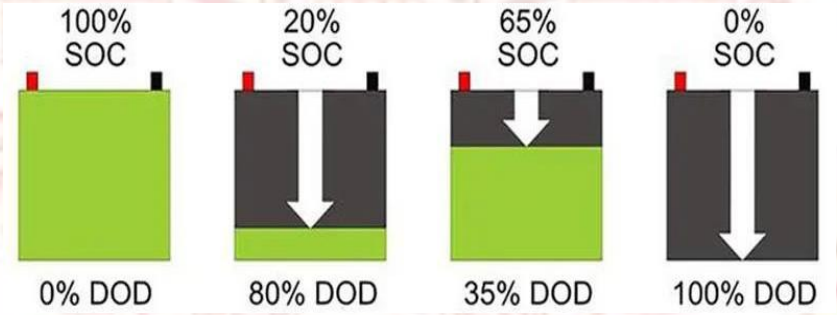
3.2.1) ความจุของแบตเตอรี่จะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปเนื่องจากการเสื่อมสภาพทางเคมี SOC และ DOD สามารถใช้ในการติดตามการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้

3.2.2) การคายประจุเต็มรอบบ่อยครั้งจะเร่งการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่

3.3) การจัดการพลังงาน (Energy Management)

3.3.1) การจัดการ SOC และ DOD เป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพลังงาน เช่นในรถยนต์ไฟฟ้า ระบบสำรองพลังงาน และอุปกรณ์พกพา

3.3.2) การควบคุม SOC และ DOD อย่างเหมาะสมช่วยป้องกันการชาร์จเกินและการคายประจุเกิน ซึ่งสามารถทำให้แบตเตอรี่เสียหาย ดังภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง SOC และ DOD [9]

2.6 กระแส, ความต้านทานและแรงดันแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

1.) กระแสไฟฟ้า (Current) กระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนเป็นปริมาณของการไหลของประจุไฟฟ้าผ่านวงจร ซึ่งมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere, A) หรือมิลลิแอมแปร์ (Milliampere, mA)

1.1) กระแสชาร์จ (Charging Current) คือกระแสที่ไหลเข้าไปในแบตเตอรี่ระหว่างการชาร์จ

1.2) กระแสคายประจุ (Discharging Current) คือกระแสที่ไหลออกจากแบตเตอรี่เมื่อใช้งาน

1.3) C-rate เป็นการวัดอัตรากระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถรับหรือส่งได้เมื่อเปรียบเทียบกับความจุของมัน เช่น 1C หมายถึงการชาร์จหรือคายประจุด้วยกระแสที่เท่ากับความจุของแบตเตอรี่ ถ้าแบตเตอรี่มีความจุ 2000 mAh, 1C จะเท่ากับ 2000 mA หรือ 2 A

2.) ความต้านทานภายใน (Internal Resistance)

ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนคือความต้านทานที่ประจุไฟฟ้าต้องผ่านภายในแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohm,Ω)

2.1) ผลของความต้านทานภายใน

2.1.1) ความต้านทานภายในสูงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปแบบของความร้อน

2.1.2) ส่งผลให้แรงดันที่เอาต์พุตลดลงเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านวงจร

2.1.3) เพิ่มความร้อนสะสมภายในแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น

3.) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนคือความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt, V)

3.1) แรงดันที่กำหนด (Nominal Voltage) แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนทั่วไปมีแรงดันที่กำหนดอยู่ที่ประมาณ 3.6-3.7 V ต่อเซลล์

3.2) แรงดันสูงสุด (Maximum Voltage) แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนจะชาร์จได้ถึงแรงดันสูงสุดที่ประมาณ 4.2 V ต่อเซลล์

3.3) แรงดันต่ำสุด (Cut-off Voltage) แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนไม่ควรคายประจุจนแรงดันต่ำกว่า 2.5-3.0 V ต่อเซลล์เพื่อป้องกันการเสียหาย

4.) การใช้งานและผลกระทบ

4.1) การจัดการพลังงาน (Energy Management) การควบคุมกระแสชาร์จและคายประจุ, ความต้านทานภายใน, และแรงดันของแบตเตอรี่เป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

4.2) ความปลอดภัย (Safety) การป้องกันการชาร์จเกินและการคายประจุเกิน, การระบายความร้อน และการควบคุมแรงดันเป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันการระเบิดหรือไฟไหม้ของแบตเตอรี่

2.7 ทฤษฎีการชาร์จและดิสชาร์จลิเธียมไอออน

ทฤษฎีการชาร์จและดิสชาร์จ (Charge and Discharge Theory) ของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของไอออนลิเธียม (Li+) ระหว่างขั้วบวก (Cathode) และขั้วลบ (Anode) ผ่านอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในทั้งสองทิศทางขึ้นอยู่กับว่ากำลังชาร์จหรือดิสชาร์จแบตเตอรี่

1.) ทฤษฎีการชาร์จแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (Charging Theory)

1.1) การชาร์จ (Charging) เมื่อแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนถูกชาร์จ กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งเข้าสู่แบตเตอรี่ ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วลบ (Anode) และปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วบวก (Cathode)

1.2) กระบวนการเคมี (Chemical Processes) ขั้วลบ (Anode): ลิเธียมไอออน (Li+) ถูกแทรกเข้าไปในโครงสร้างของกราฟีน (Graphite) โดยปฏิกิริยาเคมีจะเป็น

$$C+Li^{+}+e^{-}\longrightarrow LiC_{6} \qquad (2\text{-}7)$$

ขั้วบวก (Cathode): ลิเธียมไอออนจะถูกดึงออกจากโครงสร้างของวัสดุ เช่น $LiCoO_2$ และจะปล่อยอิเล็กตรอน (e-) ผ่านวงจรภายนอก:

$$LiCoO_2 \longrightarrow Li_{1-x}CoO_2 + xLi^+ + xe^- \quad (2\text{-}8)$$

1.3) ขั้นตอนการชาร์จ (Charging Stages)

1.3.1) Constant Current (CC) Stage: ในขั้นตอนแรกของการชาร์จ แบตเตอรี่จะถูกชาร์จด้วยกระแสคงที่จนกว่าแรงดันจะถึงค่าที่กำหนด (ประมาณ 4.2 V ต่อเซลล์)

1.3.2) Constant Voltage (CV) Stage: เมื่อแรงดันถึงค่าที่กำหนด กระแสจะถูกลดลงและแรงดันจะคงที่จนกระทั่งกระแสชาร์จลดลงถึงระดับที่ปลอดภัย

2.) ทฤษฎีการดิสชาร์จแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (Discharging Theory)

2.1) การดิสชาร์จ (Discharging) เมื่อแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนถูกใช้งาน (ดิสชาร์จ) ไฟฟ้าจะถูกส่งออกจากแบตเตอรี่ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วลบและปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วบวก

2.2) กระบวนการเคมี (Chemical Processes) ขั้วลบ (Anode): ลิเธียมไอออนจะถูกปล่อยออกจากโครงสร้างของกราฟีนและจะปล่อยอิเล็กตรอน

$$LiC_6 \longrightarrow C + Li^+ + e^- \quad (2\text{-}9)$$

ขั้วบวก (Cathode): ลิเธียมไอออนจะถูกแทรกเข้าไปในโครงสร้างของวัสดุเช่น $LiCoO_2$

$$Li_{1-x}CoO_2 + xLi^+ + xe^- \longrightarrow LiCoO_2 \quad (2\text{-}10)$$

2.3) ขั้นตอนการดิสชาร์จ (Discharging Stages) ในขั้นตอนการดิสชาร์จ กระแสจะถูกดึงออกจากแบตเตอรี่โดยที่แรงดันจะลดลงตามระยะเวลาการใช้งาน จนกระทั่งแรงดันถึงค่าต่ำสุดที่กำหนด (ประมาณ 2.5-3.0 V ต่อเซลล์)

2.8 ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (Lithium-Ion Battery) เป็นปัญหาที่สำคัญและมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแบตเตอรี่ ความร้อนนี้สามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น ปฏิกิริยาเคมีภายใน, การชาร์จและการคายประจุ, และการลัดวงจร

1.) สาเหตุของความร้อนในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

1.1) ปฏิกิริยาเคมีภายใน (Internal Chemical Reactions) ในระหว่างการชาร์จและการคายประจุ แบตเตอรี่จะมีการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ ปฏิกิริยาเหล่านี้สามารถสร้างความร้อนขึ้นมาได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีการชาร์จหรือคายประจุอย่างรวดเร็ว

1.2) ความต้านทานภายใน (Internal Resistance) ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะทำให้เกิดความร้อนเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ความต้านทานภายในอาจเพิ่มขึ้นเมื่อแบตเตอรี่เสื่อมสภาพหรือมีการใช้งานหนัก

1.3) การลัดวงจร (Short Circuit)การลัดวงจรภายในแบตเตอรี่เกิดจากการที่ขั้วบวกและขั้วลบสัมผัสกันโดยตรง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสูงและความร้อนขึ้นมาก ซึ่งอาจทำให้แบตเตอรี่เกิดการลุกไหม้หรือระเบิดได้

1.4) การชาร์จและคายประจุอย่างรวดเร็ว (Rapid Charging and Discharging) จะทำให้เกิดความร้อนมากกว่าการชาร์จหรือคายประจุอย่างช้า ๆ

2.) ผลกระทบของความร้อนในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

2.1) การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ (Battery Degradation) ความร้อนสามารถเร่งการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้นลง ความร้อนยังสามารถทำลายโครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ ทำให้เกิดปัญหาทางเคมีและไฟฟ้า

2.2) ความเสี่ยงต่อความปลอดภัย (Safety Risks) ความร้อนที่สูงเกินไปสามารถทำให้เกิดการลุกไหม้หรือระเบิด ซึ่งเป็นปัญหาที่อันตรายอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในกรณีที่แบตเตอรี่ถูกใช้งานในอุปกรณ์ที่มีการระบายความร้อนไม่เพียงพอ

2.3) ลดประสิทธิภาพการทำงาน (Reduced Performance) ความร้อนสูงสามารถลดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ทำให้ความจุไฟฟ้าลดลงและแบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างเต็มที่

3.) การจัดการความร้อนในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

3.1) การระบายความร้อน (Thermal Management) การออกแบบระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ เช่น การใช้วัสดุที่นำความร้อนได้ดี, การใช้พัดลมหรือระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว

3.2) การควบคุมการชาร์จและคายประจุ (Charge and Discharge Control) การควบคุมกระแสไฟฟ้าในการชาร์จและคายประจุเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนมากเกินไป รวมถึงการใช้เทคโนโลยีการชาร์จแบบช้า ๆ

3.3) การตรวจสอบและควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Monitoring and Control) การใช้เซ็นเซอร์ตรวจสอบอุณหภูมิและระบบควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป

3.4) การออกแบบแบตเตอรี่ที่ทนทานต่อความร้อน (Heat-Resistant Battery Design) การพัฒนาแบตเตอรี่ที่มีความทนทานต่อความร้อนและมีความสามารถในการจัดการความร้อนที่ดี ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนเป็นปัญหาที่สำคัญที่ต้องการการจัดการและการควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อรักษาความปลอดภัยและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในระยะยาว

2.9 ผลกระทบของแบตเตอรี่เนื่องจากอุณหภูมิ

อุณหภูมิส่งผลกระทบอย่างมากต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ทุกประเภท รวมถึงแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนและแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ผลกระทบนี้สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากอุณหภูมิสูงและต่ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.) ผลกระทบของอุณหภูมิสูง

1.1) การเสื่อมสภาพเร็วขึ้น (Accelerated Degradation)

1.1.1) อุณหภูมิสูงทำให้ปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่เกิดเร็วขึ้น ซึ่งอาจเร่งการเสื่อมสภาพของวัสดุและสารเคมีภายในแบตเตอรี่

1.1.2) เพิ่มการเกิดปฏิกิริยาของอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งอาจทำให้แบตเตอรี่สูญเสียความจุและประสิทธิภาพอย่างรวดเร็ว

1.2) ความเสี่ยงต่อความปลอดภัย (Safety Risks) อุณหภูมิสูงสามารถทำให้แบตเตอรี่เกิดการลุกไหม้หรือระเบิดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการชาร์จหรือคายประจุในอุณหภูมิสูง

1.3) ลดประสิทธิภาพการทำงาน (Reduced Performance) อุณหภูมิสูงสามารถทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ลดลง เช่น ลดความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าและความจุไฟฟ้า

1.4) ความเสียหายทางกายภาพ (Physical Damage) วัสดุภายในแบตเตอรี่อาจเสียหายจากการขยายตัวของวัสดุเมื่ออุณหภูมิสูง ซึ่งอาจทำให้แบตเตอรี่เสียหายทางกายภาพ

2.) ผลกระทบของอุณหภูมิต่ำ

2.1) ประสิทธิภาพการทำงานลดลง (Reduced Performance)

2.1.1) อุณหภูมิต่ำทำให้ปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่ช้าลง ส่งผลให้ความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าลดลงและความจุไฟฟ้าลดลง

2.1.2) อิเล็กโทรไลต์อาจกลายเป็นของแข็งหรือมีความหนืดสูง ทำให้การเคลื่อนที่ของไอออนช้าลงและลดประสิทธิภาพการทำงาน

2.2) การชาร์จช้าลง (Slower Charging) อุณหภูมิต่ำทำให้การชาร์จแบตเตอรี่ช้าลงและมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากอิเล็กโทรไลต์มีความต้านทานสูงขึ้น

2.3) ความเสียหายจากการชาร์จในอุณหภูมิต่ำ (Damage from Charging at Low Temperatures) การชาร์จแบตเตอรี่ในอุณหภูมิต่ำมากอาจทำให้เกิดการสะสมของลิเธียมที่ขั้วลบ (Lithium Plating) ซึ่งอาจทำให้แบตเตอรี่เสียหายและเกิดความไม่ปลอดภัย

3.) การจัดการผลกระทบจากอุณหภูมิ

3.1) ระบบระบายความร้อน (Cooling Systems) การใช้ระบบระบายความร้อนเช่น พัดลม , ฮีตซิงค์, หรือระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว เพื่อควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้เหมาะสม

3.2) การควบคุมการชาร์จและคายประจุ (Charge and Discharge Control) การควบคุมกระแสไฟฟ้าในการชาร์จและคายประจุ เพื่อป้องกันการเกิดความร้อนสูงและการเสียหายของแบตเตอรี่ในอุณหภูมิต่ำ

3.3) การตรวจสอบและควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Monitoring and Control) การใช้เซ็นเซอร์ตรวจสอบอุณหภูมิและระบบควบคุมอุณหภูมิ เพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไปหรือต่ำเกินไป

3.4) การออกแบบแบตเตอรี่ให้เหมาะสม (Battery Design) การออกแบบแบตเตอรี่ให้มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงและต่ำ เช่น การใช้วัสดุที่ทนทานและการปรับปรุงโครงสร้างภายในแบตเตอรี่ อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำงานและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ การจัดการ

และควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่สำคัญในการรักษาประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแบตเตอรี่

2.10 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger)

เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับวัดค่า และ บันทึกข้อมูลในรูปสัญญาณชนิดต่าง ๆ โดยมีเซ็นเซอร์รับค่าในรูปของอนาล็อก และ ส่งผ่านเครื่องแปลงสัญญาณ (Signal Converter) ให้กลายเป็นดิจิตอล และ นำไปเก็บในหน่วยความจำของเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิเพื่อการนำไปใช้ต่อไป หรือ นำมาแสดงผลบนหน้าปัดของเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ หรือ บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้โดยการนำเสนอข้อมูลที่ได้จากเครื่องบันทึกค่า อุณหภูมิมี 3 รูแบบ คือ รูปแบบตาราง รูปแบบกราฟ และ ใช้โปรแกรมในการนำเสนอ (Excel) ดังภาพที่ 2-10

ภาพที่ 2-10 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ [10]

2.11 เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester)

เครื่องวัดแบตเตอรี่ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสถานะของแบตเตอรี่ เครื่องวัดแบตเตอรี่ สำหรับการทดสอบประจุที่มีอยู่ในเซลล์และแรงดันไฟฟ้า (Voltage output) เครื่องวัดแบตเตอรี่ และการทดสอบสภาพแบตเตอรี่ที่ครอบคุลมมากขึ้น ได้แก่ โหมดทดสอบ: DSC-CC: กระแสปล่อยคงที่ใช้เพื่อทดสอบความจุของแบตเตอรี่หรือกระแสจ่าย DSC-CP: พลังงาน dischage คงที่ใช้เพื่อจำลองอุปกรณ์ไฟฟ้าคงที่หรือทดสอบพลังงาน ทดสอบแรงดันไฟฟ้า: 0-30 V และทดสอบกระแส : 0.10-10 A ดังภาพที่ 2-11

ภาพที่ 2-11 Battery Tester [11]

2.12 เครื่องวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Internal Resistance tester Battery)

เครื่องวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่ คือ ใช้สำหรับวัดความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่ ตัวต้านทาน และส่วนประกอบอื่นๆ สำหรับความต้านทานภายในและแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วง 0.00001 โอห์มถึง 200 โอห์มและ 0 V ถึง 100 V ออกแบบมาสำหรับการวัดแบตเตอรี่ประเภท Pb, Li-Ion, Ni- MH, Li-Pol, LiFePO4, Ni-H2, Ni-Cd รวมถึงเซลล์อัลคาไลน์และเซลล์แห้ง เซลล์ปุ่ม ตัวต้านทาน ฯลฯ ดังภาพที่ 2-12

ภาพที่ 2-12 Internal Resistance tester Battery [12]

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Joris Jaguemont และ Joeri Van Mierlo (2020) งานวิจัยนี้เน้นการสำรวจและจัดประเภทระบบจัดการความร้อนของแบตเตอรี่ Battery thermal management system (BTMS) ที่ใช้ในยานพาหนะไฟฟ้า โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างระบบจัดการความร้อนในปัจจุบันกับระบบในอนาคต การจัดการความร้อนเป็นปัญหาสำคัญในการใช้งานแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนเนื่องจากความไว

ต่ออุณหภูมิสูง ปัจจุบันใช้ระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่ (BTMS) เพื่อรักษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ในแบตเตอรี่รุ่นใหม่และยานพาหนะไฟฟ้า (BEVs) มีการใช้ระบบระบายความร้อนเชิงรุกและเชิงรับแยกกัน แนวโน้มในด้านการจัดการความร้อนมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่เพื่อให้มีระยะทางในการขับขี่ที่ยาวนานขึ้นหรือการชาร์จที่เร็วขึ้น จำเป็นต้องมีระบบการจัดการความร้อนในอนาคตแทนระบบ BTMS แบบดั้งเดิม เช่น การระบายความร้อนด้วยอากาศหรือของเหลว การศึกษานี้ให้ภาพรวมของระบบ BTMS ในอนาคต โดยเริ่มจากผลกระทบของอุณหภูมิต่อแบตเตอรี่ลิเธียม จากนั้นเปิดเผยข้อดีและข้อเสียของระบบ BTMS ที่มีอยู่ในปัจจุบัน สุดท้ายทบทวนความก้าวหน้าในการพัฒนาระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่ในอนาคตและเปรียบเทียบกับระบบที่มีอยู่

Ai Hui Tan a,Duu Sheng Ong และ Mathias Foo (2023) การประมาณค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่โดยใช้วิธีการปรับขนาดตัวเองในตัว การใช้วิธีการปรับขนาดตัวเองในตัว Built-in self-scaling (BS) สำหรับการประมาณค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในแบบเรียลไทม์ถูกเสนอในงานวิจัยนี้ โดยเป็นวิธีการพาสซีฟที่ไม่ต้องการสัญญาณกระตุ้นพิเศษ ซึ่งมีความแม่นยำสูงและมีความแปรปรวนของความผิดพลาดน้อยกว่าวิธี SR, LD และ KB ในสภาวะเสียงรบกวนต่าง ๆ และการเกิดฮิสเทรีซีส นอกจากนี้ วิธี BS ยังสามารถรักษาประสิทธิภาพได้แม้จะมีการประมาณค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่ไม่ถูกต้อง และทำงานได้ดีกับพลวัตของแบตเตอรี่ที่หลากหลาย

การทดสอบบนแบตเตอรี่จริงโดยใช้โปรไฟล์กระแสไฟฟ้าแบบไดนามิกจากมาตรฐานยานยนต์แสดงให้เห็นว่าวิธี BS มีประสิทธิภาพเหนือกว่าวิธีอื่นในยานพาหนะไฮบริดไฟฟ้า ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตคือการทดสอบวิธี BS กับเทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนอื่น ๆ และโปรไฟล์กระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เช่น ในสมาร์ทโฟน

Rojo Kurian Daniels และ Aneesh Prabhakar (2023) การทดลองและการตรวจสอบเชิงตัวเลขเกี่ยวกับผลของการจัดเรียงเซลล์ที่มีต่อการแพร่กระจายของการหลุดความร้อนในโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนทรงกระบอกที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ การศึกษานี้ ใช้ตำแหน่งการเกิดความล้มเหลวสามตำแหน่ง ได้แก่ มุม ตรงกลาง และขอบของโมดูลเซลล์ทรงกระบอก (18650) เพื่อศึกษาการแพร่กระจายความร้อนระหว่างเซลล์ในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน จากนั้น ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขสามมิติที่ผ่านการตรวจสอบแล้วของโมดูลเพื่อคำนวณการตอบสนองของอุณหภูมิของเซลล์ที่มีแนวโน้มจะเกิด Thermal runaway (TR) ในเซลล์แรก และศึกษาผลกระทบของสภาวะการไหลต่าง ๆ การสร้างความร้อน และอุณหภูมิแวดล้อมที่มีต่อการเริ่มต้น (TR) ในแง่ของอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและเวลาที่เริ่มต้น (TR) ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการจัดเรียงแบบเรียงชิดกันด้วยตำแหน่งขอบจะทำให้การเริ่มต้น (TR) ช้าลงภายใต้การไหลแบบลามินาร์ ในขณะที่ตำแหน่งมุมจะทำให้การเริ่มต้น (TR) ช้าลงภายใต้การไหลแบบปั่นป่วน การจัดเรียงแบบสลับจะทำให้เกิดการเริ่มต้น (TR) หลายจุดไม่

ว่าจะมีตำแหน่งความผิดพลาดอยู่ที่ไหนก็ตาม การจัดเรียงแบบเรียงชิดกันมีจุดเริ่มต้น (TR) มากที่สุดที่ด้านข้างของเซลล์แรกที่มีแนวโน้มเกิด (TR) ในขณะที่การจัดเรียงแบบสลับและแบบไขว้มีจุดเริ่มต้น (TR) มากที่สุดที่ด้านหน้า ผลการวิจัยนี้จะช่วยในการออกแบบโมดูลแบตเตอรี่เพื่อความปลอดภัยทางความร้อนในยานพาหนะไฟฟ้า

Ruhui Xu และ คณะ (2024) การวิเคราะห์ความล้มเหลวเชิงปริมาณของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนตามโมเดลการแยกความต้านทานภายในด้วยกระแสตรง โดยใช้โมเดลการแยกความต้านทานภายในด้วยกระแสตรง (DCR) สามารถช่วยในการออกแบบแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพและคาดการณ์อายุการใช้งานได้ดียิ่งขึ้น การศึกษาได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างคุณของสมบัติไอออนและอิเล็กตรอนก่อนและหลังการใช้งาน โดยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ที่สำคัญและการเพิ่มขึ้นของ (DCR) ซึ่งช่วยระบุปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อความล้มเหลวของแบตเตอรี่

Rasheed Ibraheem , Calum Strange และ Gonçalo dos Reis (2023) การคาดการณ์ความจุและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน: การคาดการณ์เส้นโค้งการเสื่อมสภาพทั้งหมดจากการตอบสนองแรงดันที่กระแสคงที่ในการปล่อย การศึกษานี้เสนอโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องที่ใช้ข้อมูลการตอบสนองแรงดันจากการปล่อยกระแสคงที่เพื่อคาดการณ์การลดลงของความจุและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน โดยไม่ต้องการข้อมูลการชาร์จ ทำให้สามารถใช้ข้อมูลน้อยกว่าในการคาดการณ์อายุการใช้งานแบตเตอรี่ การวิเคราะห์พบว่าการสุ่มตัวอย่างแรงดันทุก 1 นาทีเพียงพอสำหรับการป้อนข้อมูลโมเดลและผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงข้อผิดพลาดที่ต่ำในการคาดการณ์

Chi Nguyen Vana และ Duy Ta Quang (2023) การประมาณค่าของสถานะสุขภาพ (SoH) และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนตามเครือข่าย LSTM เป็นการศึกษาเสนอการใช้เครือข่าย LSTM เพื่อประมาณค่าของสถานะสุขภาพ (SoH) และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน โดยอิงจากข้อมูลเช่น แรงดัน กระแส และอุณหภูมิ แทนที่การวัดความจุและการสเปกโตรสโกปีความต้านทาน การเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า LSTM มีความแม่นยำสูงกว่าการใช้ Feedforward Neural Network (FNN) ในการประมาณค่า SoH และความต้านทานภายใน

Tong Liu และ คณะ (2022) วิธีการปฏิบัติในการพัฒนากลยุทธ์การควบคุมการระบายความร้อนเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของการหลุดลอยความร้อนในโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน การหลุดลอยความร้อน (TR) เป็นหนึ่งในปัญหาที่มีความกังวลสูงสุดในระหว่างการใช้งานแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (LIBs) และพฤติกรรมของอันตรายสามารถแตกต่างกันไปภายใต้เงื่อนไขที่เป็นอันตรายหลากหลาย อย่างไรก็ตาม วิธีการลดความเสี่ยงที่มีอยู่ในปัจจุบันพัฒนาขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่เฉพาะเจาะจงเท่านั้น ซึ่งทำให้ความเป็นสากลของวิธีการเหล่านี้มีข้อสงสัย ในการศึกษานี้ได้เสนอแนวคิดการวิจัยใหม่ โดยการระบุลักษณะพื้นฐานของการแพร่กระจาย TR ภายใต้เงื่อนไขที่เป็น

อันตรายที่หลากหลาย และได้มีการอภิปรายกลยุทธ์การลดความเสี่ยงเพิ่มเติม ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าแม้ว่ากราฟอุณหภูมิจะบิดเบี้ยวระหว่างการแพร่กระจาย TR แต่ข้อมูลอุณหภูมิที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิเริ่มต้นของ TR และอุณหภูมิสูงสุด ยังคงแสดงการเบี่ยงเบนที่ยอมรับได้ ดังนั้นอัตราการถ่ายโอนความร้อนสูงสุดและการสะสมความร้อนสามารถกำหนดได้ ซึ่งถือเป็นพารามิเตอร์พื้นฐานในการจำแนกลักษณะการแพร่กระจาย TR อิงจากพารามิเตอร์พื้นฐานที่ระบุ ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับระบบการลดความเสี่ยง เช่น เวลาในการเปิด/ปิด การใช้พลังงานการระบายความร้อน และการดูดซับความร้อนทั้งหมด ได้รับการแสดงให้เห็นในที่สุด วิธีการปฏิบัติในการพัฒนากลยุทธ์การควบคุมการระบายความร้อนได้รับการเสนอ ซึ่งเชื่อว่าจะช่วยปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของวิธีการลดความเสี่ยงที่พัฒนา

Dinesh Kumar Sharma และ Aneesh Prabhakar (2021) การทบทวนเทคนิคการจัดการความร้อนแบบระบายอากาศและแบบไฮบริดที่เน้นอากาศสำหรับชุดแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในรถยนต์ไฟฟ้า การทบทวนนี้เสนอการวิเคราะห์เกี่ยวกับเทคนิคการจัดการความร้อนแบบระบายอากาศและแบบไฮบริดที่เน้นอากาศสำหรับชุดแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในรถยนต์ไฟฟ้า โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิสูงสุดและความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของอุณหภูมิ การทบทวนนี้ยังเสนอแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการความร้อนที่มีน้ำหนักและความซับซ้อนน้อยลงและใช้พลังงานน้อยลง

Lin Zhang และ คณะ (2023) การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการระงับการแพร่กระจายของการหลุดลอยความร้อนในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนด้วยการฉีดพ่นเป็นระยะ การศึกษานี้เสนอการใช้การฉีดพ่นเป็นระยะเพื่อระงับการแพร่กระจายของการหลุดลอยความร้อนในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน โดยการปรับรอบการทำงานและระยะเวลาในการฉีดพ่น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้การฉีดพ่นที่มีรอบการทำงานและระยะเวลาที่เหมาะสมสามารถดับไฟและระงับการแพร่กระจายของ TR ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยรวมถึงกลยุทธ์การระงับการแพร่กระจายที่รวบรวมโหมดการฉีดพ่นที่มีความสามารถในการดับไฟและการระบายความร้อนที่ดี

Jun Fang , Jiangning Cai และ Xuanze He (2021) การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการแพร่กระจายการหลุดลอยความร้อนแนวตั้งในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนทรงกระบอก: ผลของช่องว่างและสถานะการชาร์จ การศึกษาเชิงทดลองนี้วิเคราะห์ผลของสถานะการชาร์จและช่องว่างระหว่างแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในการแพร่กระจายการหลุดลอยความร้อนแนวตั้ง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า SOC ที่สูงและช่องว่างที่น้อยลงสามารถเพิ่มโอกาสในการแพร่กระจาย การแพร่กระจายเกิดขึ้นจากการแผ่รังสีและการถ่ายโอนความร้อนจากเปลวไฟมากกว่าการนำความร้อน และพลังงานที่ต้องการขั้นต่ำในการกระตุ้นการแพร่กระจายได้รับการระบุว่าเป็น 5 kJ

Hongju Zhai และ คณะ (2022) การแพร่กระจายการหลุดลอยความร้อนในโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนขนาดใหญ่ภายใต้เพดานเอียง การศึกษานี้ตรวจสอบผลของมุมเพดานที่แตกต่างกันต่อการแพร่กระจายการหลุดลอยความร้อนในโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนขนาดใหญ่ พบว่ามุมเพดานที่สูงขึ้นช่วยให้การกระจายความร้อนดีขึ้น และการแพร่กระจายของ TR หยุดที่มุมเพดานระหว่าง 10° ถึง 30° ขณะเดียวกัน อุปกรณ์กันไฟสามารถทำให้การแพร่กระจายล่าช้าและลดความรุนแรงลง แต่ไม่สามารถป้องกันการแพร่กระจายได้ การศึกษานี้มีบทบาทในการพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับการแพร่กระจาย TR และให้แนวทางที่มีค่าในการออกแบบระบบแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อการศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ขณะใช้งานภายใต้เงื่อนไขความต้านทานภายในแตกต่างกัน โดยทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยจะมีวิธีการดำเนินงานดังนี้

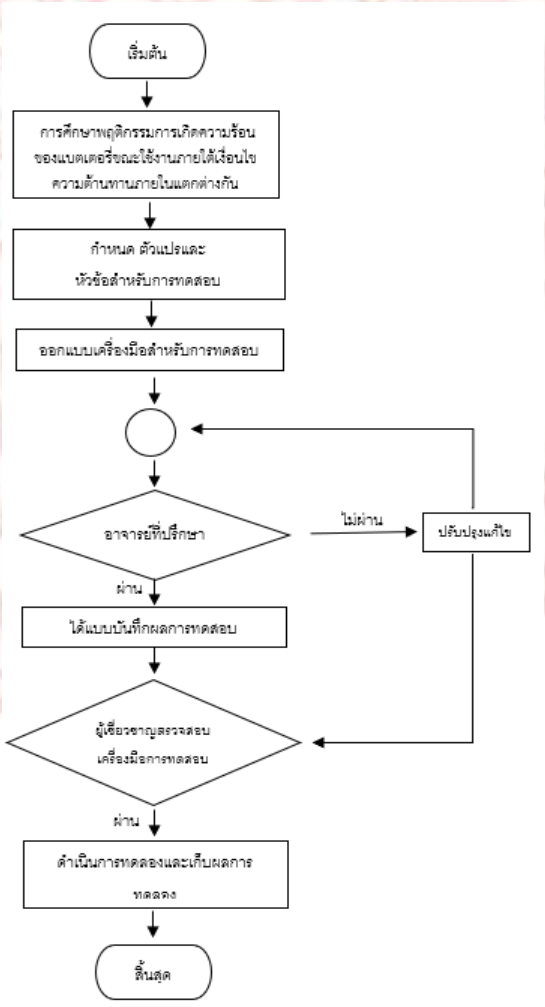
3.1 ศึกษาข้อมูลทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.2 การออกแบบหลักศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ขณะใช้งานภายใต้เงื่อนไขความต้านทานภายในแตกต่างกัน

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4 ดำเนินการทดลองและเก็บผล

3.1 ศึกษาข้อมูลทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 3-1 แผนการดำเนินงาน

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อเตรียมทำการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเรื่องแบตเตอรี่ลิเธียมในประเทศไทย

จากการศึกษาพบว่า ประเทศไทยในฐานะประเทศที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในหลายภาคส่วน ทั้งการคมนาคม การเกษตร และเทคโนโลยีต่าง ๆ การใช้งานแบตเตอรี่ลิเธียมในประเทศไทยจึงมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมและสนับสนุนการเติบโตดังกล่าว ซึ่งแบตเตอรี่ลิเธียมได้รับการยอมรับในวงกว้างว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีความทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูงในการจัดเก็บพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านต่าง ๆ ดังนี้

3.1.1.1 การใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า (EVs) : หนึ่งในการใช้งานที่โดดเด่นของแบตเตอรี่ลิเธียมในประเทศไทยคือในยานยนต์ไฟฟ้า การส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าของรัฐบาลไทยได้ถูกผลักดันอย่างต่อเนื่อง ผ่านนโยบายต่าง ๆ เช่น การสนับสนุนด้านภาษีและการให้สิทธิประโยชน์ทางการเงินแก่ผู้ผลิตและผู้บริโภค การใช้แบตเตอรี่ลิเธียมในรถยนต์ไฟฟ้าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บพลังงาน ทำให้รถยนต์สามารถวิ่งได้ไกลขึ้นและมีความปลอดภัยสูงขึ้น เนื่องจากเทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเธียมมีความสามารถในการเก็บพลังงานที่มีความหนาแน่นสูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

3.1.1.2 การจัดเก็บพลังงานในระบบพลังงานหมุนเวียน : การใช้แบตเตอรี่ลิเธียมในระบบจัดเก็บพลังงาน (Energy Storage Systems - ESS) เพื่อรองรับการผลิตและการใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น แสงอาทิตย์และลม ในประเทศไทยที่มีศักยภาพสูงในการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์และลม การใช้แบตเตอรี่ลิเธียมช่วยในการเก็บพลังงานส่วนเกินที่ผลิตได้ในช่วงเวลาที่มีแสงแดดหรือมีลมแรง แล้วปล่อยพลังงานออกมาใช้ในช่วงเวลาที่ไม่มีการผลิตพลังงานหมุนเวียน ซึ่งช่วยเพิ่มความเสถียรให้กับระบบไฟฟ้าและลดการพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิล

3.1.1.3 การใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพา : อีกหนึ่งการใช้ที่เห็นได้ชัดในประเทศไทยคือในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพา เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพาอื่น ๆ แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนได้รับความนิยมสูงเนื่องจากมีความหนาแน่นของพลังงานสูง น้ำหนักเบา และมีอายุการใช้งานยาวนาน ส่งผลให้ผู้ใช้สามารถใช้งานอุปกรณ์ได้นานขึ้นโดยไม่ต้องชาร์จบ่อยครั้ง

3.1.1.4 การใช้ในระบบแบตเตอรี่เพื่อการสำรองพลังงาน : ในด้านการสำรองพลังงานและการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม เช่น การใช้แบตเตอรี่ลิเธียมเพื่อสำรองไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมและการใช้งานในกรณีฉุกเฉิน ซึ่งช่วยให้โรงงานสามารถดำเนินการผลิตได้อย่างต่อเนื่องแม้ในช่วงที่ไฟฟ้าดับ นอกจากนี้ การใช้แบตเตอรี่ลิเธียมยังช่วยลดต้นทุนค่าไฟฟ้าโดยการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้าต่ำ แบตเตอรี่ลิเธียมในประเทศไทยได้ถูกนำมาใช้ในหลายภาคส่วนเพื่อสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน การใช้งานที่หลากหลายทั้งในยานยนต์ไฟฟ้า ระบบจัดเก็บพลังงาน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และการสำรองพลังงานช่วยให้ประเทศไทยสามารถก้าวสู่การพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนและการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย การศึกษาและการพัฒนาเทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเธียมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมในอนาคต

3.1.2 ศึกษาข้อมูลภูมิอากาศพื้นที่ต่าง ๆ ในประเทศไทยที่มีผลต่อแบตเตอรี่ลิเธียม

จากการศึกษาพบว่า ประเทศไทยมีภูมิอากาศที่หลากหลายและแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาค ซึ่งภูมิอากาศเหล่านี้มีผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเธียมอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของภูมิอากาศต่อแบตเตอรี่ลิเธียมจึงเป็นเรื่องสำคัญในการพัฒนาและการใช้งานแบตเตอรี่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในประเทศไทย ซึ่งแต่ละภูมิภาคมีผลกระทบต่อแบตเตอรี่ลิเธียมดังนี้

3.1.2.1 ภาคเหนือ : ภาคเหนือของประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบเขตร้อนชื้นมีสามฤดู ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ในฤดูหนาว อุณหภูมิสามารถลดต่ำลงได้มาก โดยเฉพาะในพื้นที่ภูเขา เช่น เชียงใหม่และเชียงราย ซึ่งอุณหภูมิอาจต่ำถึง 0°C หรือต่ำกว่าในบางครั้ง การที่อุณหภูมิต่ำขนาดนี้อาจมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเธียมลดลง เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถทำให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลงและอัตราการคายประจุเร็วขึ้น นอกจากนี้ การชาร์จแบตเตอรี่ในสภาพอุณหภูมิต่ำมากอาจทำให้เกิดปัญหาการชาร์จไม่เต็มและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้

3.1.2.2 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ : ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีลักษณะภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าสะวันนา มีฤดูร้อนที่ร้อนจัดและแห้งแล้ง ฤดูฝนที่มีฝนตกหนัก และฤดูหนาวที่เย็นสบาย อุณหภูมิในช่วงฤดูร้อนสามารถสูงถึง 40°C ซึ่งอุณหภูมิสูงเช่นนี้สามารถทำให้แบตเตอรี่ลิเธียมร้อนเกินไป การทำงานในสภาพแวดล้อมที่ร้อนจัดสามารถทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น เพิ่มความเสี่ยงในการเกิดปัญหาความร้อนสะสม (thermal runaway) และลดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นการจัดการความร้อนและการระบายความร้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญในการใช้งานแบตเตอรี่ลิเธียมในภูมิภาคนี้

3.1.2.3 ภาคกลาง : ภาคกลางมีภูมิอากาศแบบเขตร้อนชื้นเช่นเดียวกับภาคเหนือ มีฤดูร้อนที่ร้อนจัด ฤดูฝนที่มีฝนตกชุก และฤดูหนาวที่เย็นสบาย แต่อุณหภูมิโดยทั่วไปจะไม่ต่ำมากเช่นภาคเหนือ ในฤดูร้อน อุณหภูมิสามารถสูงถึง 40°C หรือมากกว่า ซึ่งมีผลกระทบต่อแบตเตอรี่ลิเธียมเช่นเดียวกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครที่มีการใช้แบตเตอรี่ลิเธียมในยานยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การจัดการความร้อนและการใช้เทคโนโลยีการระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญในการเพิ่มอายุการใช้งานและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

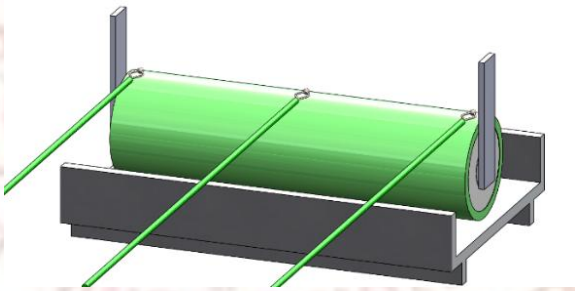
3.1.2.4 ภาคตะวันออก : ภาคตะวันออกมีภูมิอากาศแบบเขตร้อนชื้นที่มีฝนตกชุกตลอดปี โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน การใช้งานแบตเตอรี่ลิเธียมในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูงอาจทำให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนและการเสื่อมสภาพของวัสดุในแบตเตอรี่ นอกจากนี้ การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีฝนตกชุกอาจเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ดังนั้นการออกแบบและการเลือกวัสดุที่ทนทานต่อความชื้นและการกัดกร่อนจึงเป็นสิ่งสำคัญ

3.1.2.5 ภาคใต้ : ภาคใต้ของประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน มีฝนตกตลอดปีและมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างคงที่ แต่เนื่องจากความชื้นสูงและฝนตกชุก การใช้งานแบตเตอรี่ลิเธียมในภาคใต้จึงต้องการการป้องกันการกัดกร่อนและการเสื่อมสภาพจากความชื้น นอกจากนี้ อุณหภูมิที่คงที่และไม่สูงเกินไปในภาคใต้สามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดความร้อนสะสมในแบตเตอรี่ ทำให้การใช้งานแบตเตอรี่ลิเธียมในภาคใต้มีความเสถียรมากขึ้น

การศึกษาและเข้าใจผลกระทบของภูมิอากาศในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยต่อแบตเตอรี่ลิเธียมเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีและการใช้งานแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน การจัดการความร้อน การป้องกันการกัดกร่อน และการเลือกวัสดุที่ทนทานต่อสภาพอากาศที่หลากหลายจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเธียมในประเทศไทย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาที่ยั่งยืนในอนาคต.

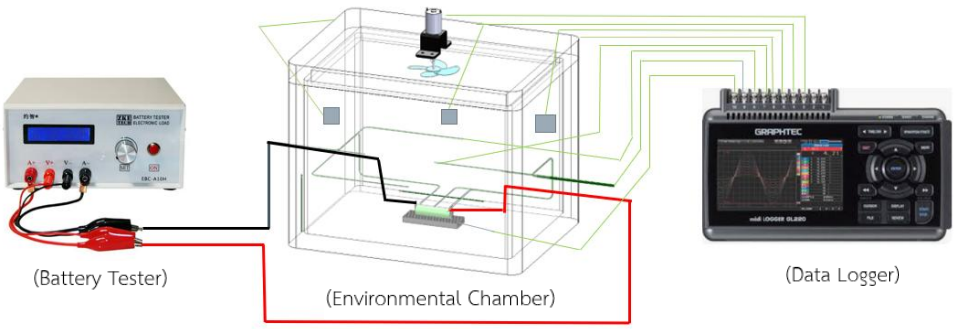
3.2 การออกแบบหลักการศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ขณะใช้งานภายใต้เงื่อนไขความต้านทานภายในแตกต่างกัน

ออกแบบหลักการทดลองขึ้นเพื่อต้องการหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมเพื่อทำการหาค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่เพื่อที่จะนำค่าความร้อนไปวิเคราะห์ผล โดยใช้แบตเตอรี่ลิเธียมที่มีค่าความต้านทานภายในแตกต่างกัน จำนวณ 3 ค่า และนำมาแพ็คต่ออนุกรมกัน จำนวณ 2 แพ็คแพ็คละ 4 ก้อน จากนั้นทำการทดสอบโดยเครื่อง Battery Tester เพื่อให้แบตเตอรี่เกิดความร้อน และใช้กล่องควบคุมอุณหภูมิในการทดลอง เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นทำการวัดค่า โดยใช้ Thermocouple type K ทำการวัดใกล้ขั้วบวก กึ่งกลาง ใกล้ขั้วลบของแบตเตอรี่แต่ละความต้านทาน และจุดกึ่งกลางของแบตเตอรี่แต่ละก้อนในแพค เพื่อทำการพล๊อตกราฟ และ วิเคราะห์ว่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันและตำแหน่งของการแพคแบตเตอรี่ส่งผลต่อแบตเตอรี่ลิเธียมในแพคได้อย่างไร



ภาพที่ 3-2 รูปแบบการติดตั้งสาย Thermocouple type K ที่ติดกับแบตเตอรี่

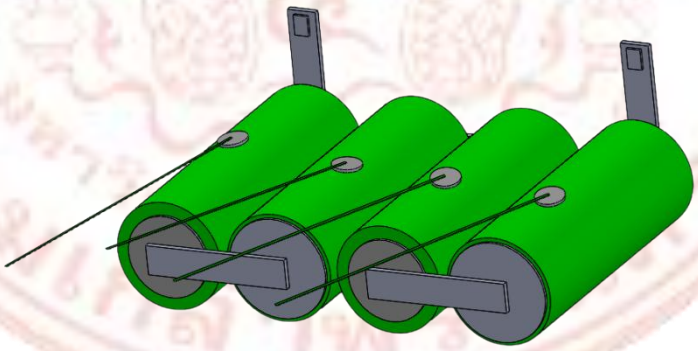
ภาพที่ 3-3 รูปแบบการทดลองแบตเตอรี่แบบ 1 ก้อน



ภาพที่ 3-4 รูปแบบวงจรการทดลองแบบ 1 ก้อน

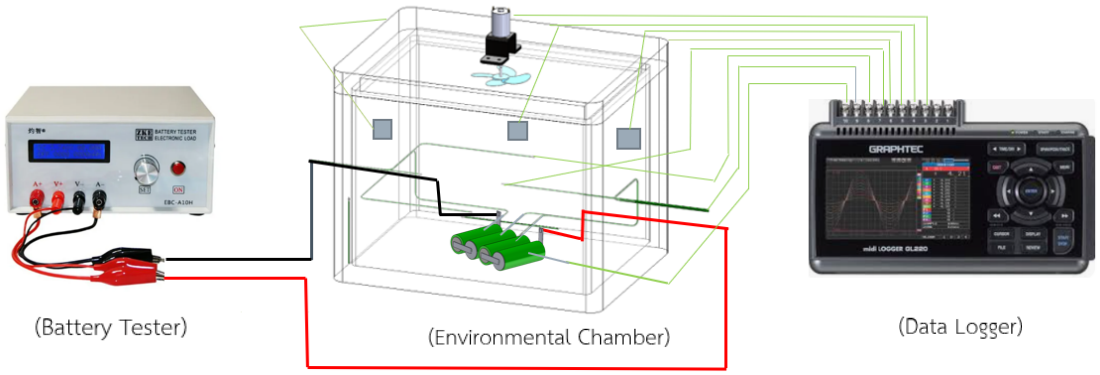
โดย Thermocouple type K ที่ใช้จะติดวัดทั้งหมด 6 จุดดังนี้

หมายเลข 1 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ด้านซ้าย
หมายเลข 2 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ตรงกลาง
หมายเลข 3 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ด้านขวา
หมายเลข 4 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับภายในตู้ควบคุมบรรยากาศ
หมายเลข 5 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับภายในตู้ควบคุมบรรยากาศ
หมายเลข 6 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับภายในตู้ควบคุมบรรยากาศ



ภาพที่ 3-5 รูปแบบการติดตั้งสาย Thermocouple type K ที่ติดกับแพคแบตเตอรี่

ภาพที่ 3-6 รูปแบบการทดลองแบตเตอรี่แบบแพค



ภาพที่ 3-7 รูปแบบวงจรการทดลองแบบแพค

โดย Thermocouple type K ที่ใช้จะติดวัดทั้งหมด 8 จุดดังนี้

หมายเลข 1 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ก้อนที่ 1
หมายเลข 2 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ก้อนที่ 2
หมายเลข 3 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ก้อนที่ 3
หมายเลข 4 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ก้อนที่ 4
หมายเลข 5 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับภายในตู้ควบคุมบรรยากาศ
หมายเลข 6 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับภายในตู้ควบคุมบรรยากาศ
หมายเลข 7 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับภายในตู้ควบคุมบรรยากาศ
หมายเลข 8 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับภายในตู้ควบคุมบรรยากาศ

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเรื่อง การศึกษาอุณหภูมิบรรยากาศที่ส่งผลต่อแบตเตอรี่ลิเธียมในประเทศไทย ประกอบด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่าง ๆ ในการศึกษาโครงการดังต่อไปนี้

3.3.1 แบตเตอรี่ลิเธียม

แบตเตอรี่ชนิด Lithium-ion ใช้ในการทำสอบเพื่อหาค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการประจุไฟ และการคายประจุ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้แบตเตอรี่ลิเธียมดังต่อไปนี้

3.3.1.1 แบตเตอรี่ Lithium-ion INR 18650 4.2 V 3.2 A

แบตเตอรี่ลิเธียม ที่มีความต้านทานภายในแบตเตอรี่ 17mΩ 24mΩ 27mΩ

ภาพที่ 3-8 แบตเตอรี่ Lithium-ion INR 18650 4.2 V 3.2 A

3.3.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิในการทดลอง (Environmental Chamber)

การใช้ตู้ควบคุมบรรยากาศสำหรับควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในตู้เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการทดสอบและพัฒนาแบตเตอรี่ลิเธียมให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและเหมาะสมกับป้องกันอุณหภูมิจากภายนอกหรือภายในถึงกันได้

ภาพที่ 3-9 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Environmental Chamber)

3.3.3 เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester)

เครื่องวัดแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและทดสอบประสิทธิภาพและสถานะของแบตเตอรี่ อุปกรณ์นี้สามารถวัดค่าต่าง ๆ เช่น แรงดันไฟฟ้า (Voltage), กระแสไฟฟ้า (Current), ความต้านทานภายใน (Internal Resistance), และความจุของแบตเตอรี่ (Capacity) การใช้แบตเตอรี่เทสเตอร์ช่วยให้สามารถประเมินสภาพและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้อย่างแม่นยำ และช่วยในการวินิจฉัยปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับแบตเตอรี่

ภาพที่ 3-10 เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester)

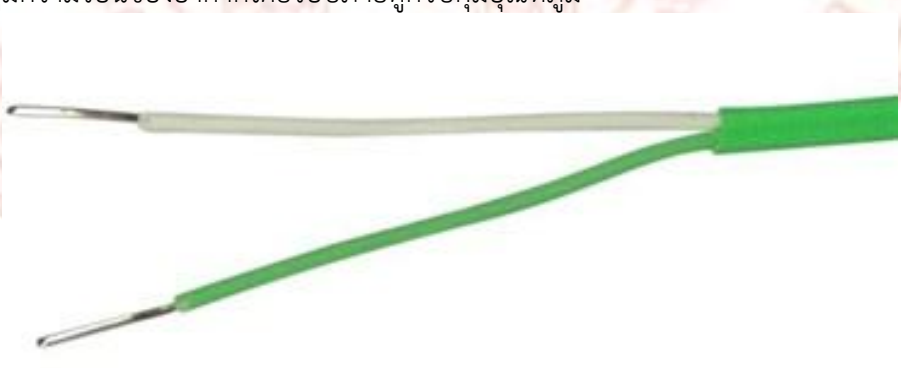
3.3.4 เครื่องบันทึกข้อมูลแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Data Logger)

การใช้เครื่องบันทึกข้อมูลแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Data Logger) ในการทดสอบแบตเตอรี่ลิเธียมในประเทศไทยเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการประเมินและพัฒนาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกช่วยให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้อย่างละเอียด ช่วยสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเธียมให้มีความทนทานและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นในประเทศไทย

ภาพที่ 3-11 เครื่องบันทึกข้อมูลแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Data Logger)

3.3.5 เซ็นเซอร์อุณหภูมิ

เซ็นเซอร์อุณหภูมิใช้ในการเก็บค่าอุณหภูมิความร้อนของตัวแบตเตอรี่ Lithium-ion และค่าอุณหภูมิความร้อนของอากาศโดยรอบภายตู้ควบคุมอุณหภูมิ



ภาพที่ 3-12 Thermocouple type k

3.3.6 ฮีตเตอร์

เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งใช้เพื่อสร้างความร้อนโดยเปลี่ยนพลังงานจากกระแสไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน ใช้จำลองอุณหภูมิบรรยากาศภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่กระทำกับโมดูลแบตเตอรี่

ภาพที่ 3-13 ฮีตเตอร์แบบแท่ง

3.3.7 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล

วัดและควบคุมอุณหภูมิโดยจะแสดงผลผ่านจอดิจิตอล บนอุปกรณ์ ในที่นี้จะใช้ในดูกำลังไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์

ภาพที่ 3-14 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล

3.3.8 เครื่องวัดควบคุมแรงดันไฟฟ้า

ทำหน้าที่รักษาแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟหลักให้คงที่ต่อโหลด เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าทำให้ฮีตเตอร์มีอุณหภูมิคงที่

ภาพที่ 3-15 เครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า

3.3.9 เครื่องวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่

ความต้านทานเป็นปริมาณทางกายภาพที่แสดงถึงระดับของการอุดตันขององค์ประกอบวงจรต่อการส่งกระแสไฟฟ้า ความต้านทานภายใน ของแบตเตอรี่ลิเธียมเป็นหนึ่งในตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ในการใช้งานจริง

ภาพที่ 3-16 เครื่องวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่

3.3.10 การคำนวณหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่

การหาค่าความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ ต้องมีการเก็บค่าความร้อนจากก้อนแบตเตอรี่ลิเธียมเพื่อหาค่าความร้อนจากสมการ

$$Q_{battery} = \frac{mc_p\Delta T}{t} \quad (3\text{-}1)$$

เมื่อ $Q_{battery}$ = ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากแบตเตอรี่ (kW)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/kg $^{\circ}$C)

ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ ($^{\circ}$C)

T = เวลาในการทดลอง (s)

m = มวล (kg)

โดย m หาได้จากสมการ

$$m = \rho \times V \quad (3\text{-}2)$$

เมื่อ ρ = ค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

V = ปริมาตรของกล่องสี่เหลี่ยม (m^3)

เนื่องด้วยมอเตอร์อาจจะกวนอากาศไม่หมดจึงทำให้การทดสอบหาค่าความร้อนแต่ละครั้งอาจจะไม่เท่ากัน และ จากสมการข้างต้นไม่สามารถหาค่า c_p จึงทำการเปรียบเทียบจากสิ่งที่รู้นำไปสู่การหาตัวแปรทำไม่ทราบค่า โดยการนำแท่ง Heater ที่มาพร้อมกับ Dimmer เพื่อจำลองการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่แทนโดยจะได้ตัวแปรสมมุติ ค่าความร้อนจำเพาะใหม่ c_t ซึ่งเป็นแต่แปรที่ยุบมาจาก m และ c_pโดยจะมีรูปสมการดังนี้

$$c_t = \frac{Q_{heater}\Delta t}{\Delta T} \quad (3\text{-}3)$$

เมื่อ Q_{heater} = ค่าความร้อนที่เกิดจากแท่ง Heater

C_t = ตัวแปรสมมุติที่มาจาก m และ c_p

เมื่อได้ค่า c_t ก็นำไปให้คำนวณหาค่า $Q_{battery}$ เพื่อที่จะใช้วิเคราะห์ในการออกแบบ Evaporator ต่อไปจากที่กล่าวมาข้างต้นทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเพื่อหาค่า c_t ตามขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลองมาสรุปผลตามตารางที่ 3-17 และ 3-18 ตามลำดับ

3.4 ดำเนินการทดลองและเก็บผล

ทำการทดลองโดยการแบ่งแบตเตอรี่ออกตามความต้านทานภายในแบตเตอรี่ 17mΩ 24mΩ 27mΩ ทำการทดลองแบตเตอรี่แต่ละก้อน ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ จดบันทึกค่า จากนั้นทำการแพคแบตเตอรี่โดยการต่ออนุกรม 4 ก้อน สลับตำแหน่งก้อนในการแพค ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้และสังเกตที่จอแสดงผลอุณหภูมิ จากนั้นจดบันทึกค่าและทำซ้ำจนกว่าจะคบ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.4.1 ติดตั้งแบตเตอรี่ลงในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

3.4.2 ต่อเครื่องวัดและบันทึกข้อมูล เข้ากับแบตเตอรี่และตู้ควบคุมอุณหภูมิ

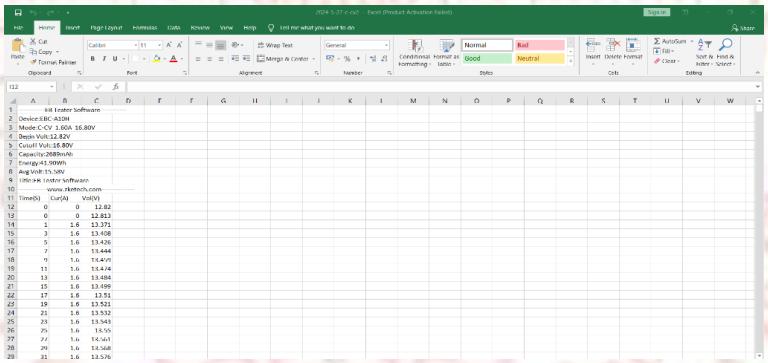
3.4.3 เปิดพัดลมกวนอากาศภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

3.4.4 เปิดเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ลิเธียม ตั้งค่าโปรแกรม

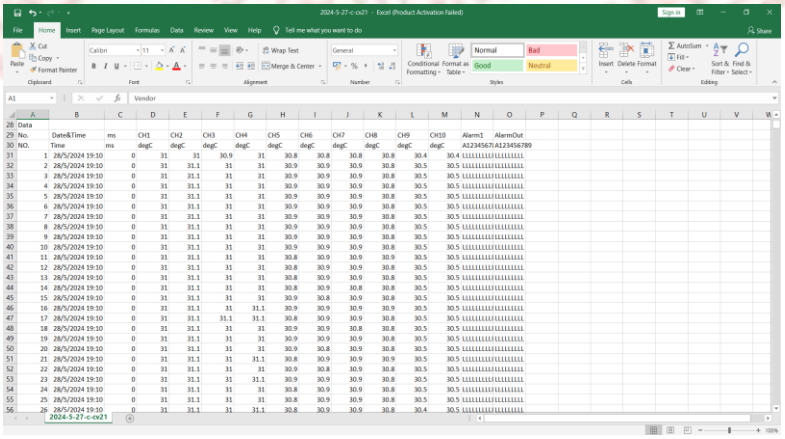
3.4.5 สังเกตุอุณหภูมิในตู้ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่

3.4.6 เริ่มโปรแกรมทดสอบแบตเตอรี่ลิเธียม

3.4.7 จดค่าบันทึกค่าการเก็บประจุ (Capacity) ค่าพลังงานสะสม (Energy) ค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น (Q) และอุณหภูมิผิวของแบตเตอรี่ แสดงดังภาพที่ 3-17,3-18



ภาพที่ 3-17 ตารางบันทึกผลความจุและพลังงานของแบตเตอรี่



ภาพที่ 3-18 ตารางบันทึกผลอุณหภูมิ

โดย

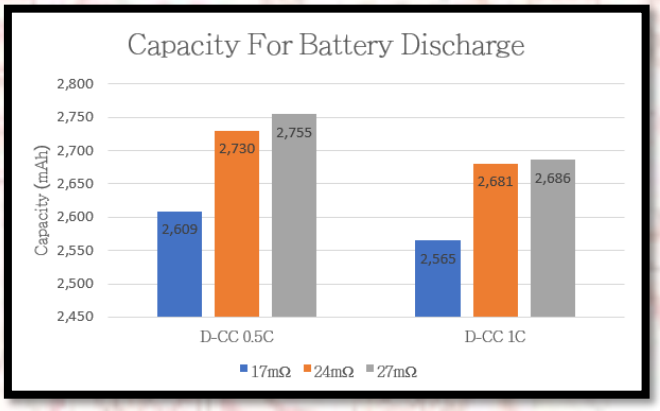
Charge	คือ	การประจุของแบตเตอรี่ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ
Discharge	คือ	การคายประจุของแบตเตอรี่ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ
Capacity	คือ	ค่าความจุของแบตเตอรี่ที่วัดได้ภายใต้เงื่อนไข อัตราการประจุ และอัตราการคายประจุ
Temperature	คือ	อุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการประจุ และการคายประจุ
Battery	คือ	ชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ 18650 ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ 17mΩ 24mΩ 27mΩ
C Rating	คือ	อัตราของกระแสและระยะเวลา ที่แบตเตอรี่ประจุและคายประจุ
ขั้วบวก	คือ	อุณหภูมิที่ขั้วบวกของแบตเตอรี่
ตรงกลาง	คือ	อุณหภูมิที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแบตเตอรี่
ขั้วลบ	คือ	อุณหภูมิที่ขั้วลบของแบตเตอรี่

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

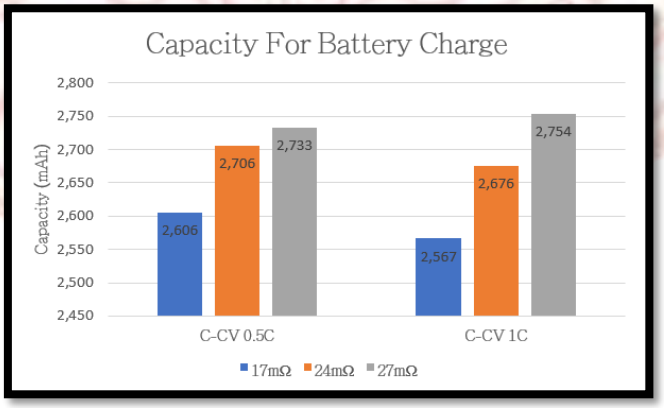
งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 18650 (4.2V, 3200 mAh) ขณะใช้งานภายใต้เงื่อนไขความต้านทานภายในที่แตกต่างกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุที่อุณหภูมิบรรยากาศและศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพ็คที่อุณหภูมิบรรยากาศโดยวิเคราะห์พฤติกรรมของความต้านทานภายในต่อ ค่าการเก็บประจุ (Capacity) ,ค่าพลังงานสะสม (Energy) ,ค่าพลังงานความร้อน (Q) และอุณหภูมิของแบตเตอรี่

4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุที่อุณหภูมิบรรยากาศ

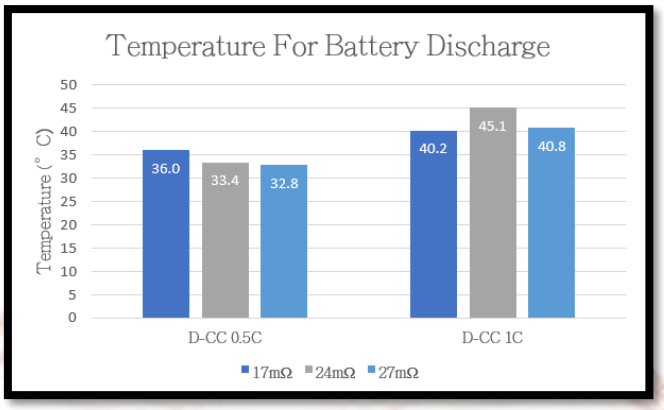
4.1.1 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity)



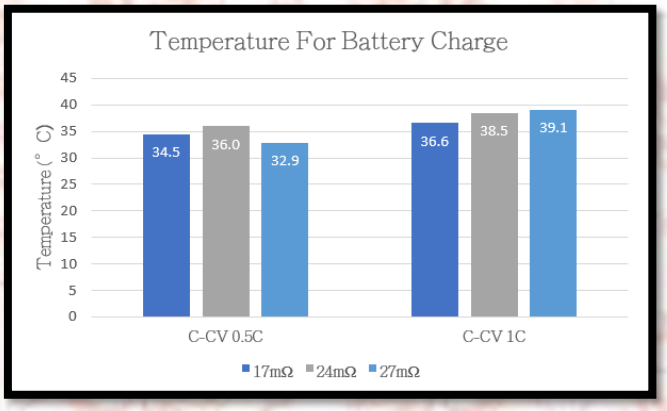
ภาพที่ 4-1 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C



ภาพที่ 4-2 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C



ภาพที่ 4-3 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุ

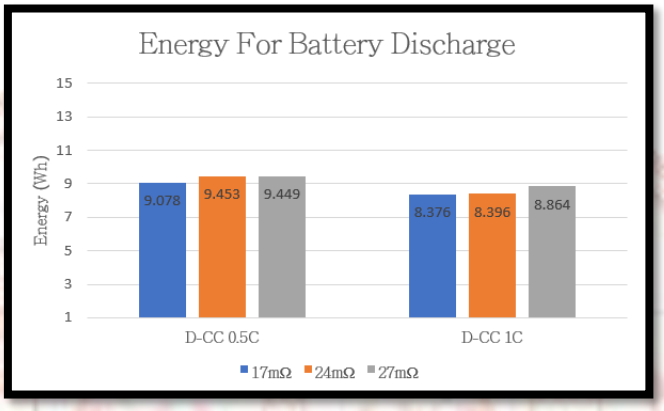


ภาพที่ 4-4 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุ

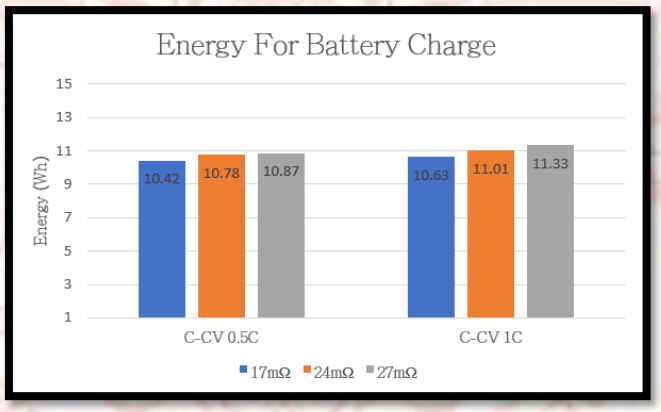
จากภาพที่ 4-1 พบว่ามีค่าการเก็บประจุ (Capacity) สูงสุด อยู่ที่ 2,755 mAh พบในแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน 27mΩ (การทดสอบภายใต้ D-CC 0.5C) มีซึ่งต่ำกว่าค่ามาตราฐานอยู่ที่ 445 คิดเป็น 86.09% อุณหภูมิที่ผิวแบตเตอรี่สูงสุด 32.8°C ตามภาพที่ 4-3 เนื่องจากความต้านภายใน 27mΩ มีความต้านทานที่สูงส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ลดลง ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกช้าและแรงดันไฟฟ้าลดลงช้ากว่าปกติจึงส่งผลให้อุณหภูมิต่ำ ส่วนค่าการเก็บประจุ (Capacity) ต่ำสุดอยู่ที่ 2,565 mAh พบในแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน 17mΩ (การทดสอบภายใต้ D-CC 1C) ตามภาพที่ 4-1 ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานอยู่ที่ 635 mAh คิดเป็น 80.15% มีอุณหภูมิที่ผิวแบตเตอรี่สูงสุด 40.2°C ตามภาพที่ 4-3 เนื่องจากความต้านภายในแบตเตอรี่ 17mΩ มีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้นแต่ส่งผลทำให้อุณหภูมิสูงตาม เมื่อนำอุณหภูมิของผิวแบตเตอรี่ทั้งสองความต้านทานภายในมาเปรียบเทียบกันพบว่าแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 17mΩ มีอุณหภูมิที่สูงกว่าแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 27mΩ อยู่ที่ 7.4°C ด้วยความต้านทานภายในที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติแม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้นแต่ก็ส่งผลให้

อุณหภูมิสูงขึ้นตามจึงทำให้แบตเตอรี่เก็บประจุไฟฟ้าได้ต่ำกว่าที่ควร ส่งผลต่อค่าการเก็บประจุ (Capacity) ต่ำ

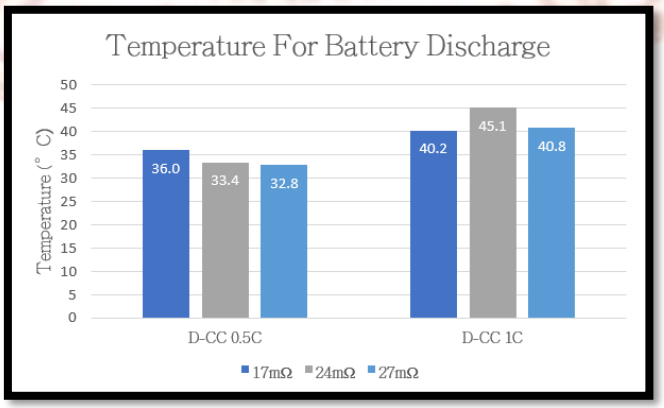
4.1.2 การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy)



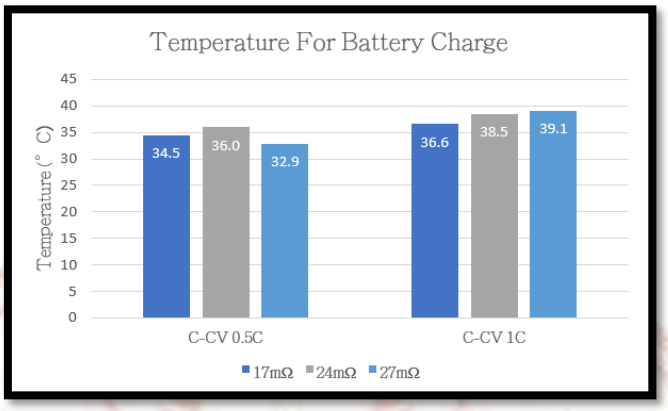
ภาพที่ 4-5 การเปรียบเทียบพลังงานสะสม (Energy) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C



ภาพที่ 4-6 การเปรียบเทียบพลังงานสะสม (Energy) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C



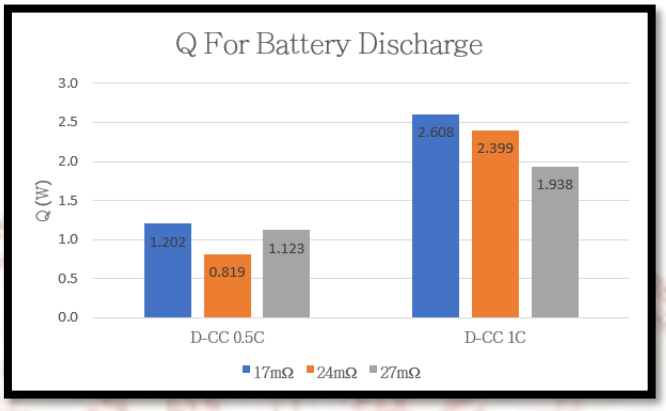
ภาพที่ 4-7 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C



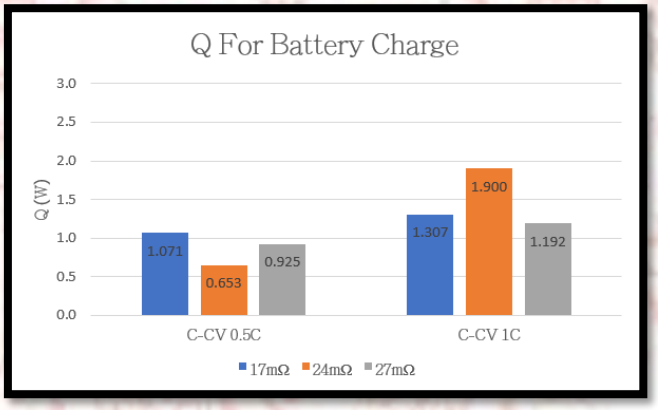
ภาพที่ 4-8 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C

จากภาพที่ 4-6 พบว่าค่าพลังงานสะสม (Energy) สูงสุดอยู่ที่ 11.33 Wh ในแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน 27mΩ (ทดสอบภายใต้ C-CV 1C) โดยอุณภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุด 39.1°C ตามภาพที่ 4-8 เนื่องจากความต้านภายใน 27mΩ มีความต้านทานที่สูงส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ลดลง ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกช้าและแรงดันไฟฟ้าลดลงช้ากว่าปกติจึงส่งผลให้อุณหภูมิต่ำ และค่า Energy ต่ำสุดอยู่ที่ 8.376 Wh ในแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน 17mΩ (ทดสอบภายใต้ D-CC 1C) ตามภาพที่ 4-5 ซึ่งน้อยกว่าความต้านทานภายใน 27mΩ อยู่ที่ 2.954 Wh คิดเป็น 74% โดยอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุด 40.2°C ตามภาพที่ 4-7 เนื่องจากความต้านภายในแบตเตอรี่ 17mΩ มีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้นแต่ทำให้อุณหภูมิสูง เมื่อนำอุณหภูมิของผิวแบตเตอรี่ทั้งสองความต้านทานภายในมาเปรียบเทียบกัน พบว่าแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 17mΩ มีอุณหภูมิที่สูงกว่าแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 27mΩ อยู่ที่ 1.1°C ด้วยความต้านทานภายในที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้น แต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ต่ำกว่าที่ควร ส่งผลต่อค่าพลังงานสะสม (Energy) จึงต่ำ

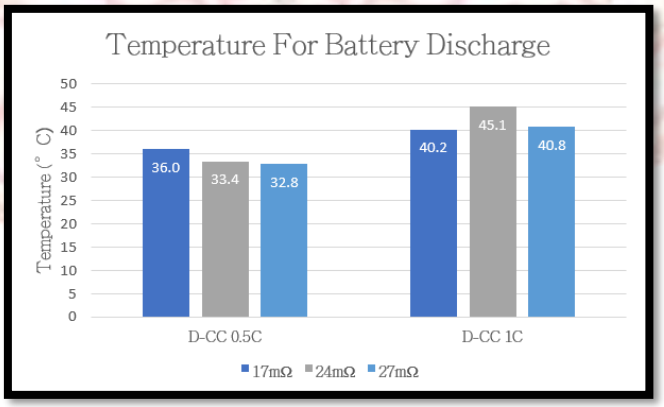
4.1.3 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q)



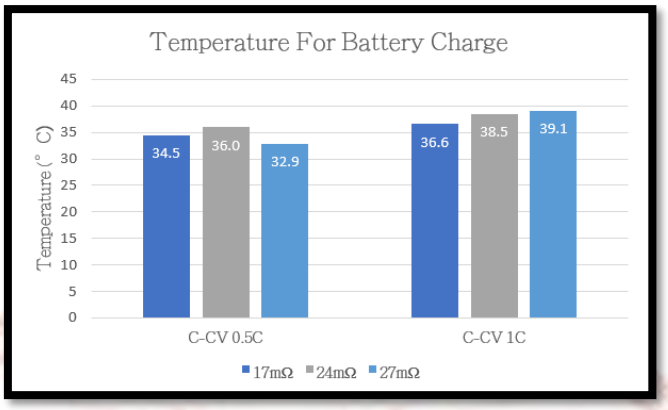
ภาพที่ 4-9 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C



ภาพที่ 4-10 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C



ภาพที่ 4-11 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C

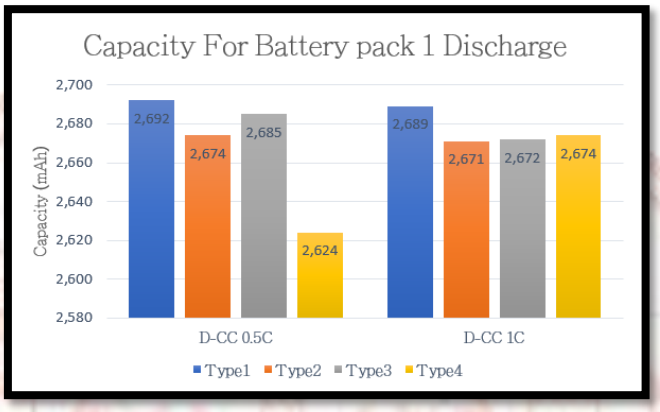


ภาพที่ 4-12 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C

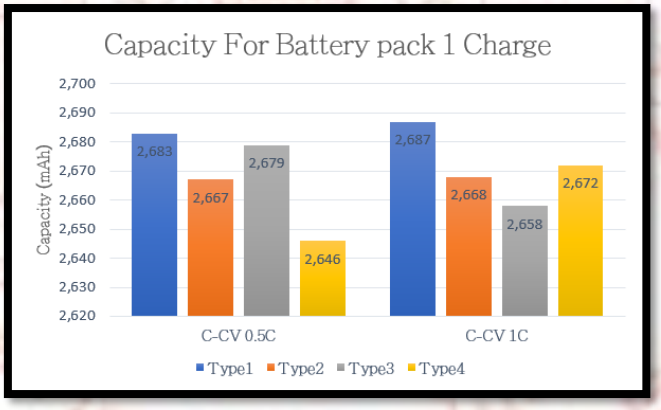
จากภาพที่ 4-9 พบว่าค่าพลังงานความร้อน (Q) สูงสุดอยู่ที่ 2.608 W ในแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน 17mΩ (ทดสอบภายใต้ D-CC 1C) มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุด 40.2°C ตามภาพที่ 4-11 เนื่องจากความต้านภายใน 17mΩ มีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานเข้าเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าเพิ่มเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้น แต่อุณหภูมิที่สูงทำให้ค่าพลังงานความร้อน (Q) สูง และค่าพลังงานความร้อน (Q) ต่ำสุดอยู่ที่ 0.6532 W ในแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน 24mΩ (ทดสอบภายใต้ C-CV 0.5C) ตามภาพที่ 4-10 ซึ่งน้อยกว่า 1.955 W คิดเป็น 25% มีอุณหภูมิที่ผิวแบตเตอรี่สูงสุด 36°C ตามภาพที่ 4-12 เนื่องความต้านทานภายใน 24mΩ มีความต้านทานที่ปานกลางอาจเหมาะสมกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกปกติและแรงดันไฟฟ้าลดลงปกติ ไม่เร็วไม่ช้าเกินไปจึงส่งผลให้อุณหภูมิต่ำทำให้ค่าพลังงานความร้อน (Q) ต่ำ เมื่อนำอุณหภูมิของผิวแบตเตอรี่ทั้งสองความต้านทานภายในมาเปรียบเทียบกันพบว่าแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 17mΩ มีอุณหภูมิที่สูงกว่าแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 24mΩ อยู่ที่ 4.2°C ด้วยความต้านทานภายใน 17mΩ ที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้น แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้นทำให้อุณหภูมิที่สูงเกินไปส่งผลให้แบตเตอรี่ปล่อยความร้อนมากกว่าที่ควร จึงส่งผลต่อค่าพลังงานความร้อน (Q) สูง

4.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศ

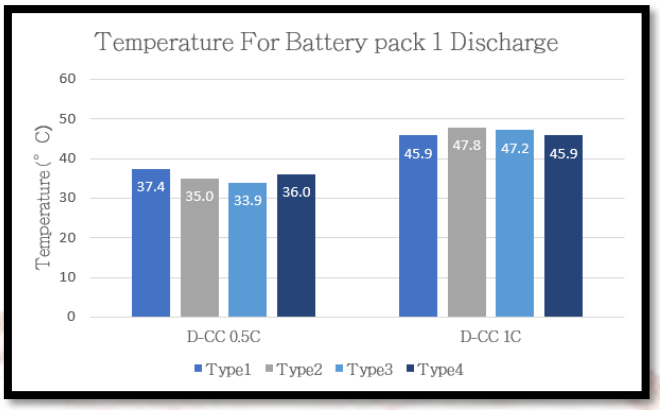
4.2.1 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) แพ็คที่ 1



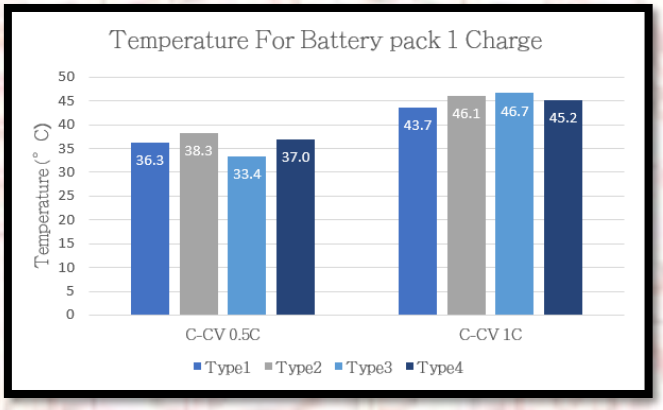
ภาพที่ 4-13 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4



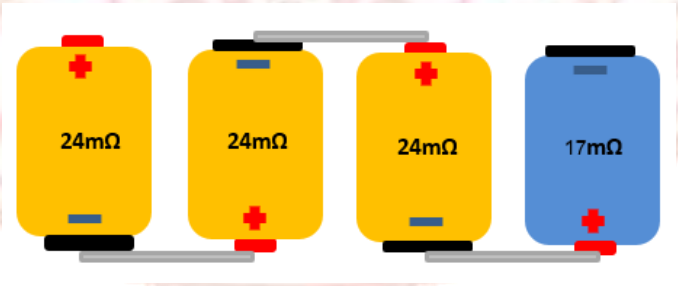
ภาพที่ 4-14 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4



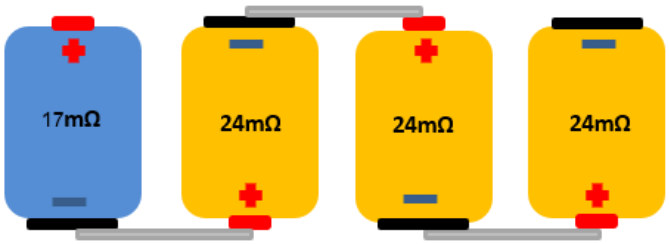
ภาพที่ 4-15 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4



ภาพที่ 4-16 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4



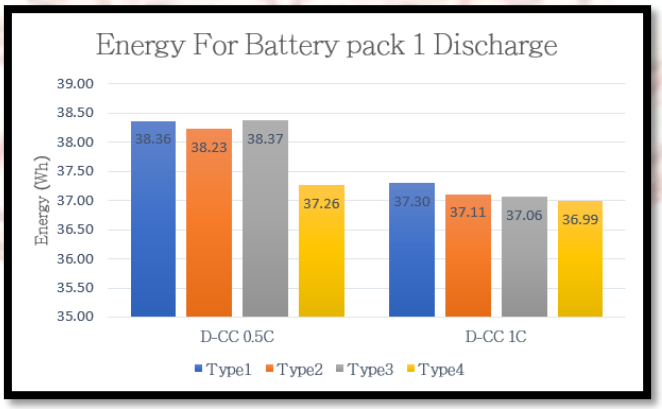
ภาพที่ 4-17 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1



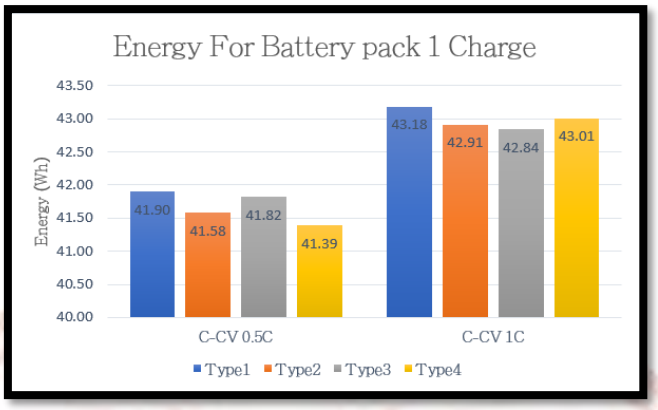
ภาพที่ 4-18 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 4

จากภาพที่ 4-13 พบว่าแบบที่ 1 ตามภาพที่ 4-17 มีค่าการเก็บประจุ (Capacity) สูงสุดโดยเฉพาะในการ (ทดสอบภายใต้ D-CC 0.5C) อยู่ที่ 2,692 mAh มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุด 37.4 °C ตามภาพที่ 4-15 เป็นของความต้านทานภายใน 17mΩ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งของขั้วลบ ตามภาพที่ 4-17 เป็นอุณหภูมิต่ำที่สุดในการทดลองจึงทำให้ค่าการเก็บประจุ (Capacity) สูง ส่วนแบบที่ 2 และแบบที่ 3 แสดงให้เห็นว่าแบบที่ 2 มีค่าการเก็บประจุ (Capacity) ที่สูงกว่าแบบที่ 3 ในการทดลองบางแบบ เช่น (การทดสอบภายใต้ D-CC 0.5C และ C-CV 0.5C) ตามภาพที่ 4-13,4-14 และยังมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าอุณหภูมิของแบบที่ 3 เล็กน้อยตามภาพที่ 4-15,4-16และแบบที่ 4 ตามภาพที่ 4-18 มีค่าการเก็บประจุ (Capacity) ต่ำสุดโดยเฉพาะในการ (ทดสอบภายใต้ C-CV 0.5C) อยู่ที่ 2,646 mAh มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุด 37 °C ตามภาพที่ 4-16 เมื่อนำอุณหภูมิทั้งแบบที่ 1 กับแบบที่ 4 มาเปรียบเทียบกัน พบว่าแบบที่ 4 มีผิวแบตเตอรี่อุณหภูมิกว่าแบบที่ 1 อยู่ที่ 0.4 °C อุณหภูมิที่สูงส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์แบตเตอรี่เพิ่มขึ้นทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานเข้าเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าเพิ่มเร็วกว่าปกติ ส่งผลให้ค่าการเก็บประจุ (Capacity) ต่ำ

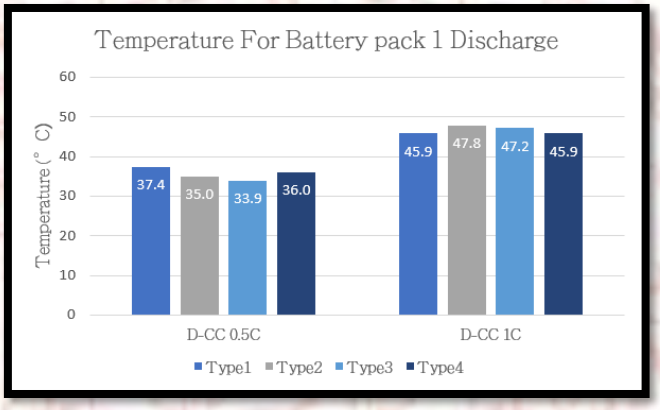
4.2.2 การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) แพ็คที่ 1



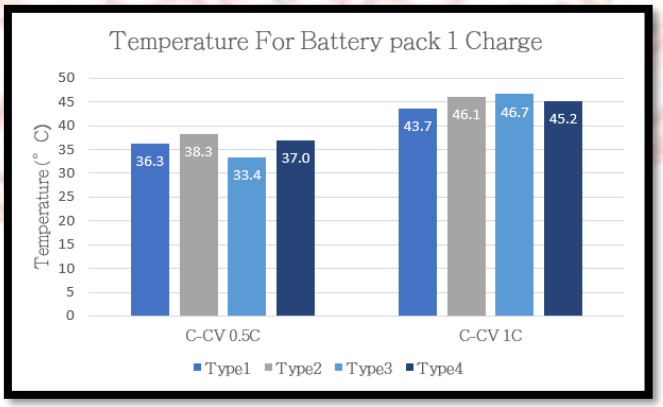
ภาพที่ 4-19 การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4



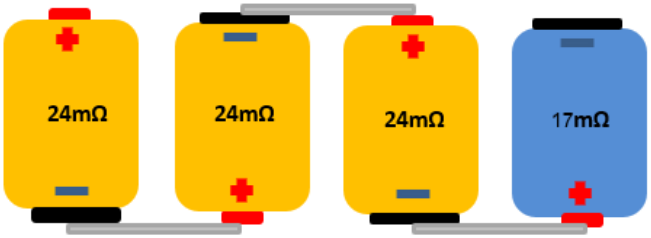
ภาพที่ 4-20 การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4



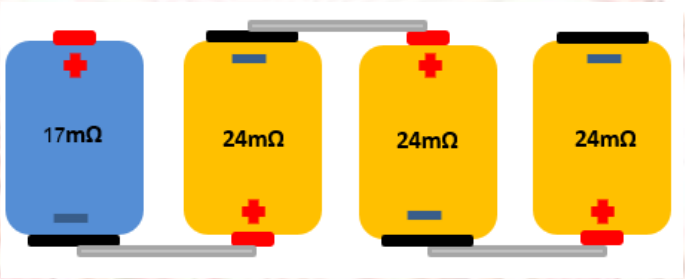
ภาพที่ 4-21 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4



ภาพที่ 4-22 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4



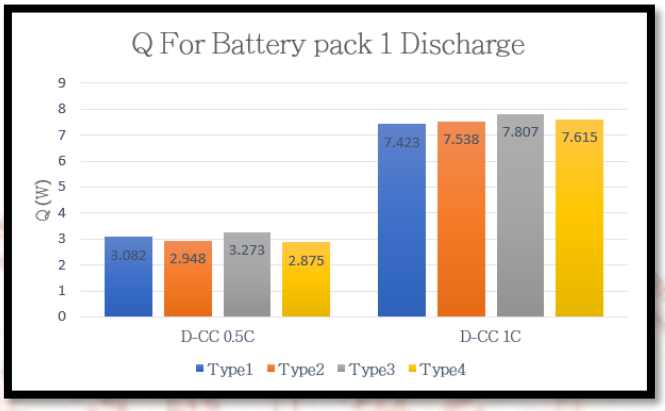
ภาพที่ 4-23 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1



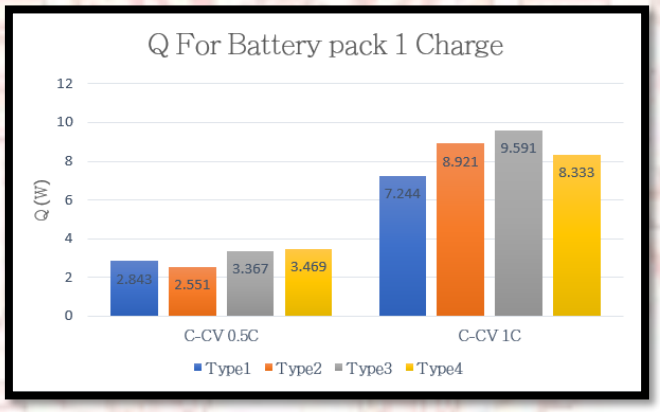
ภาพที่ 4-24 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 4

จากภาพที่ 4-20 พบว่าแบบที่ 1 ตามภาพที่ 4-23 เป็นแบตเตอรี่ที่ให้ค่าพลังงานสะสม (Energy) สูงสุดในในการ (ทดสอบภายใต้ C-CV 1C) อยู่ที่ 43.18 Wh มีอุณหภูมิที่ผิวแบตเตอรี่สูงสุด 43.7°C ตามภาพที่ 4-22 เป็นของความต้านทานภายใน 24mΩ ซึ่งอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของแพค ตามภาพที่ 4-23 ทำให้ได้รับความร้อนจากก้อนข้างๆ อุณหภูมิจึงเกิดการสะสมจนสูงขึ้นและแสดงให้เห็นว่าแบบที่ 1 มีประสิทธิภาพในการปล่อยพลังงานที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ตำแหน่งอื่นๆ ส่วนแบบที่ 4 ตามภาพที่ 4-24 มีค่าพลังงานสะสม (Energy) ต่ำสุดในการ (ทดสอบภายใต้ D-CC 1C) อยู่ที่ 36.99 Wh ตามภาพที่ 4-19 มีอุณหภูมิที่ผิวแบตเตอรี่สูงสุด 45.9°C ตามภาพที่ 4-21 แต่เมื่อใช้อัตราการชาร์จที่สูงขึ้น แบตเตอรี่แบบที่ 4 จะสูญเสียพลังงานมากกว่าแบบที่ 1 และมีค่าพลังงานสะสม (Energy) ที่ต่ำกว่าหลายๆ กรณี เมื่อนำอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่ทั้งสองแบบมาเปรียบเทียบกัน พบว่าแบตเตอรี่แบบที่ 4 สูงกว่าแบบที่ 1 อยู่ที่ 2.2°C ส่วนแบบที่ 2 และแบบที่ 3 มีค่าพลังงานสะสม (Energy) ที่ใกล้เคียงกันในทุกการทดลอง แต่ค่าพลังงานสะสม (Energy) ของทั้งสองประเภทนี้ต่ำกว่าแบบที่ 1 ในทุกกรณี

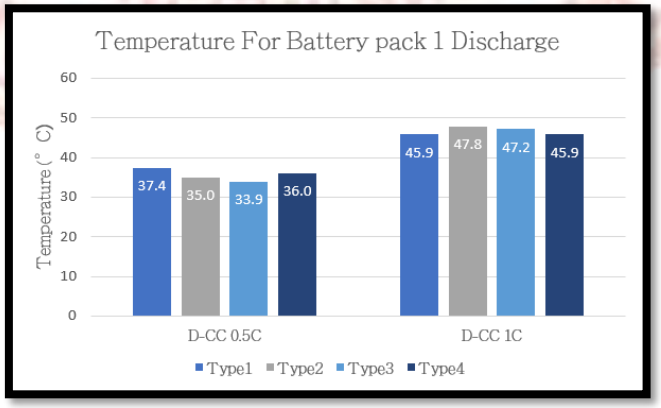
4.2.3 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) แพ็คที่ 1



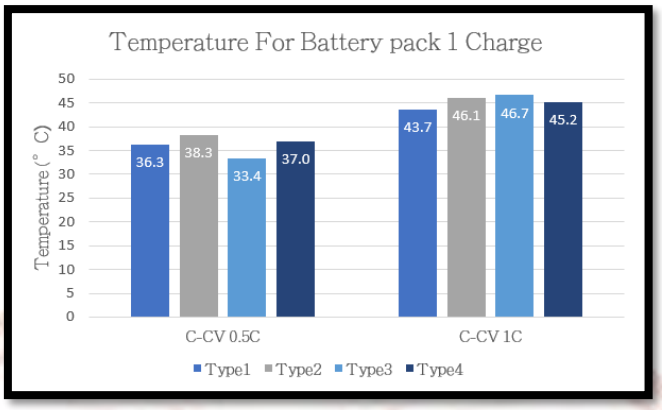
ภาพที่ 4-25 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4



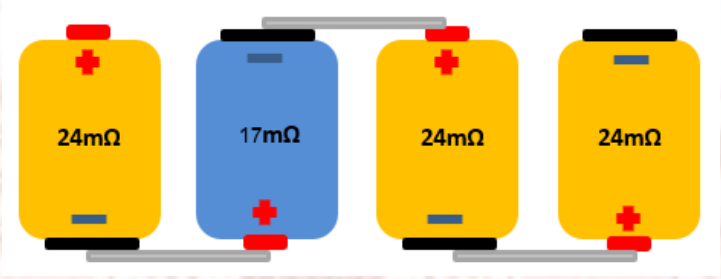
ภาพที่ 4-26 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1-4



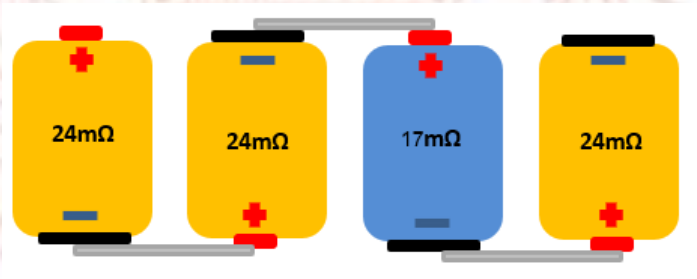
ภาพที่ 4-27 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1-4



ภาพที่ 4-28 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1-4



ภาพที่ 4-29 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 3

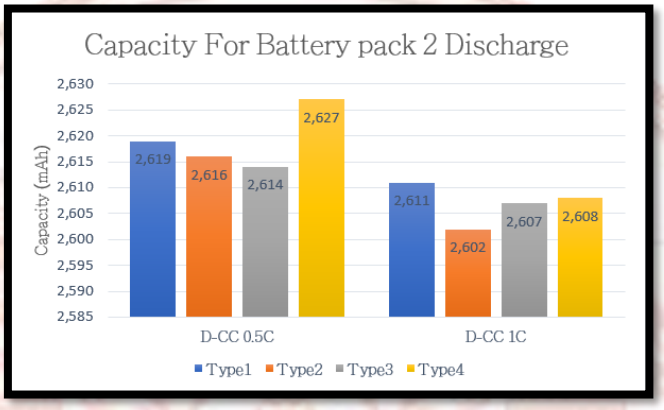


ภาพที่ 4-30 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 2

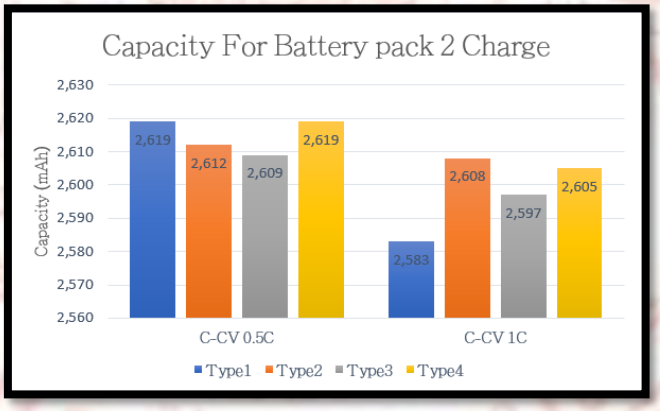
จากภาพที่ 4-21 พบว่าแบบที่ 3 ตามภาพที่ 4-29 มีค่าพลังงานความร้อน (Q) สูงสุดอยู่ที่ 9.591 W ในการ (ทดสอบภายใต้ C-CV 1C) อุณหภูมิที่ผิวแบตเตอรี่สูงสุด 46.7°C ตามภาพที่ 4-28 เป็นของความต้านทานภายใน 24mΩ ซึ่งอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของแพค ตามภาพที่ 4-29 ทำให้ได้รับอุณภูมิทั้งสองด้านทำให้ความร้อนสะสมส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนการปล่อยพลังงานความร้อนปานกลางแบบที่ 1 อยู่ที่ 7.244 W ในการ (ทดสอบภายใต้ C-CV 1C) ตามภาพที่ 4-26 อุณหภูมิที่ผิวแบตเตอรี่สูงสุดอยู่ที่ 43.7°C เป็นของความต้านทานภายใน 17mΩ ซึ่งอยู่ตำแหน่งขั้วลบของแพคแบตเตอรี่ เกิดจากความต้านทานภายในที่ต่ำทำให้พลังงานไหลผ่านได้ดีจึงทำให้เกิดอุณหภูมิสูงและค่าพลังงานความร้อน (Q) น้อยที่สุดคือแบบที่ 2 อยู่ที่ 2.551 W ในการ (ทดสอบภายใต้ C-CV 0.5C) ตามภาพที่ 4-26 อุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุด 38.3°C ตามภาพที่ 4-28 เป็นของความต้านทานภายใน 17mΩ ตามภาพที่ 4-30 ซึ่งมีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์

เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานเข้าเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าเพิ่มเร็วกว่าปกติ ทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงขึ้นแต่ยังต่ำที่สุด เมื่อนำอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่แบบที่ 3 กับแบบที่ 2 มาเปรียบเทียบกันพบว่าแบบที่ 3 มีอุณหภูมิผิวสูงกว่าแบบที่ 2 อยู่ที่ 8.4°C ส่งผลให้ค่าพลังงานความร้อน (Q) สูง

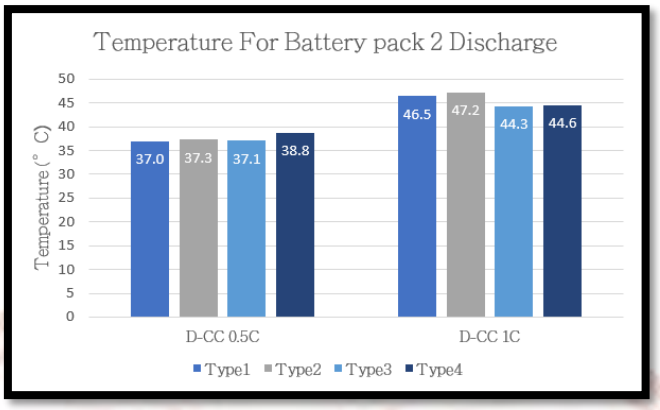
4.2.4 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) แพ็คที่ 2



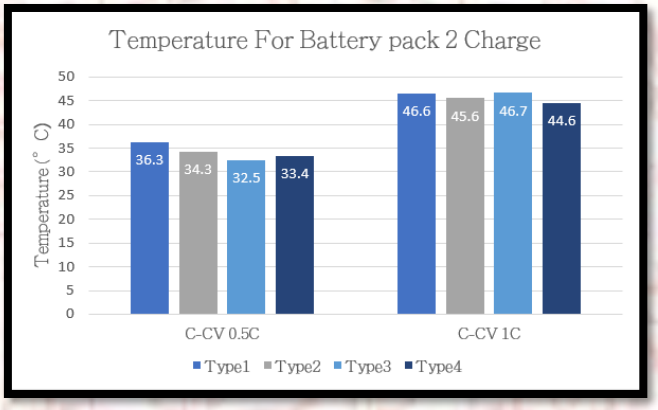
ภาพที่ 4-31 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4



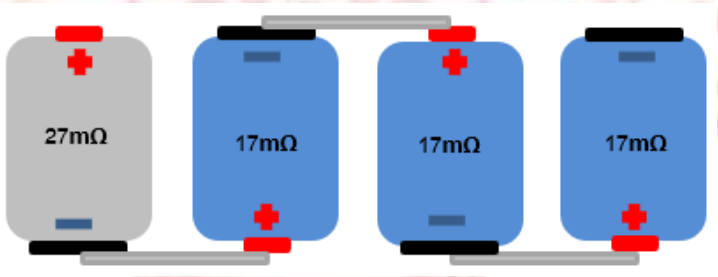
ภาพที่ 4-32 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4



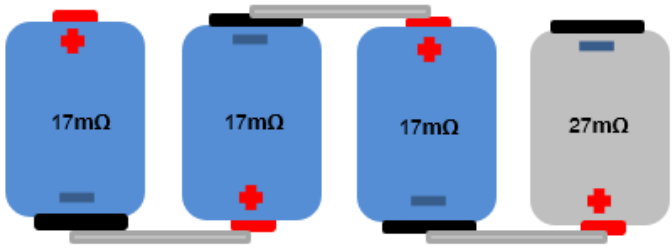
ภาพที่ 4-33 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4



ภาพที่ 4-34 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4



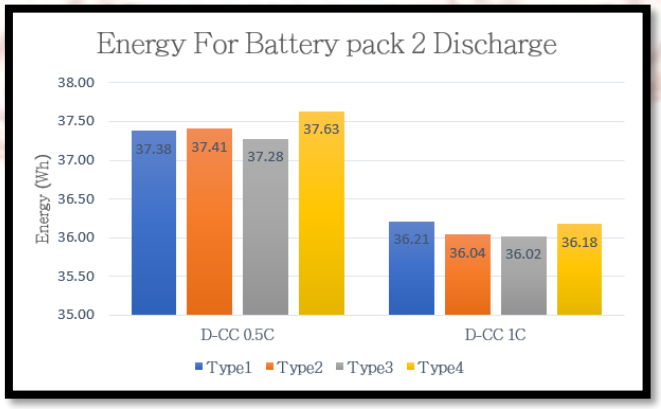
ภาพที่ 4-35 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4



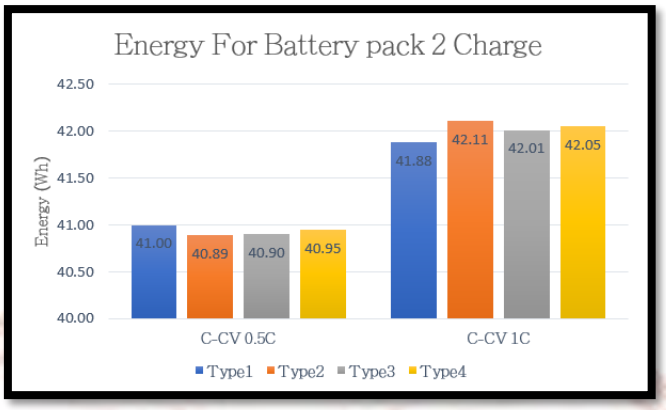
ภาพที่ 4-36 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1

จากภาพที่ 4-31 พบว่าแบบที่ 4 ตามภาพที่ 4-35 มีค่าการเก็บประจุ (Capacity) สูงสุดในทุกการทดสอบ โดยเฉพาะใน (การทดสอบภายใต้ D-CC 0.5C) อยู่ที่ 2,627 mAh มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุดอยู่ที่ 38.8°C ตามภาพที่ 4-33 เป็นของความต้านทานภายใน 17mΩ มีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ จึงทำให้อุณหภูมิสูงซึ่งอยู่ในตำแหน่งขั้วลบ ตามภาพที่ 4-35 ส่วนแบบที่ 2 มีค่าการเก็บประจุ (Capacity) ที่ดีในหลายๆ การทดสอบ โดยมีค่า 2,608 mAh ใน (การทอสอบภายใต้ C-CV 1C) ตามภาพที่ 4-32 มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุด 45.6°C ตามภาพที่ 4-34 แบบที่ 3 มีค่าการเก็บประจุ (Capacity) ต่ำในหลายกรณี โดยมีค่า 2,597 mAh ใน (การทดสอบภายใต้ C-CV 1C) ตามภาพที่ 4-32 มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุด 46.7°C เป็นของความต้านทานภายใน 17mΩ และแบบที่ 1 ตามภาพที่ 4-36 มีค่าการเก็บประจุ (Capacity) ต่ำสุดอยู่ที่ 2,583 mAh ใน (การทดสอบภายใต้ C-CV 1C) ตามภาพที่ 4-32 มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุด 46.6°C ตามภาพที่ 4-34 เมื่อนำอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่แบบที่ 4 กับแบบที่ 1 มาเปรียบเทียบกันพบว่าแบบที่ 1 มีอุณหภูมิผิวสูงกว่าแบบที่ 4 อยู่ที่ 7.8°C ด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าจึงส่งผลให้ค่าการเก็บประจุ (Capacity) ของแบตเตอรี่แบบที่ 1 มีค่าต่ำ

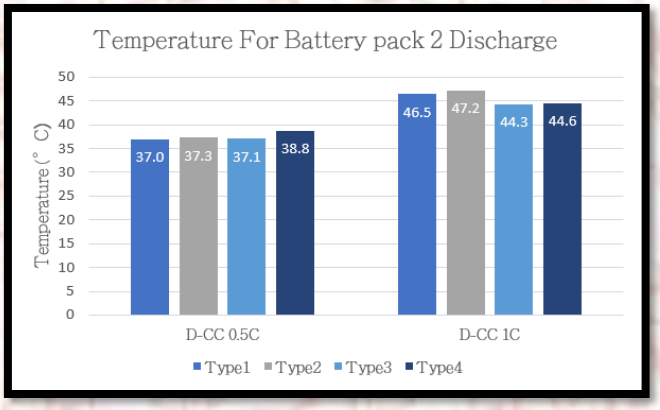
4.2.5 การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) แพ็คที่ 2



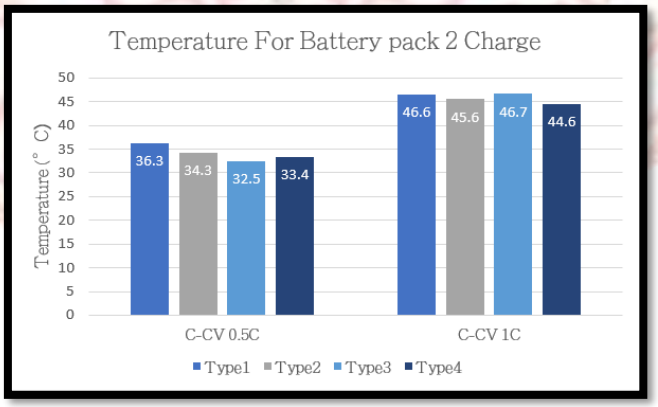
ภาพที่ 4-37 การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4



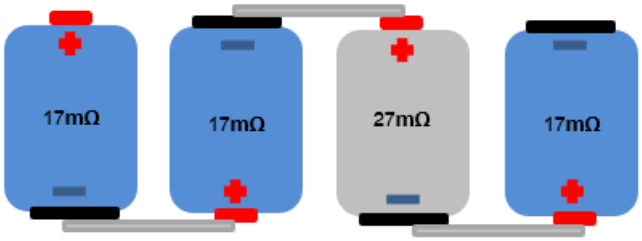
ภาพที่ 4-38 การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4



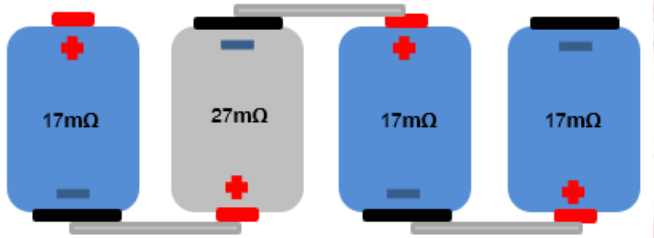
ภาพที่ 4-39 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4



ภาพที่ 4-40 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4



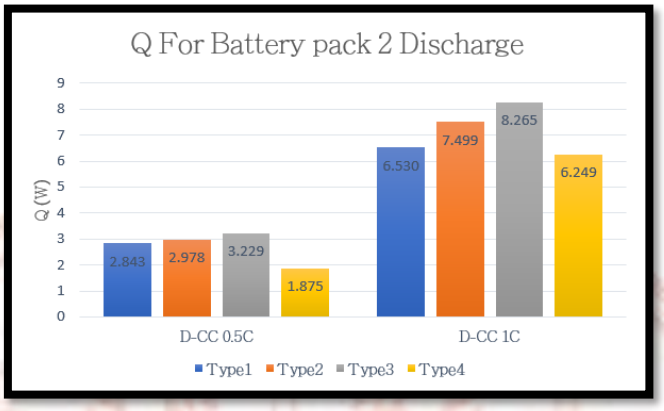
ภาพที่ 4-41 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 2



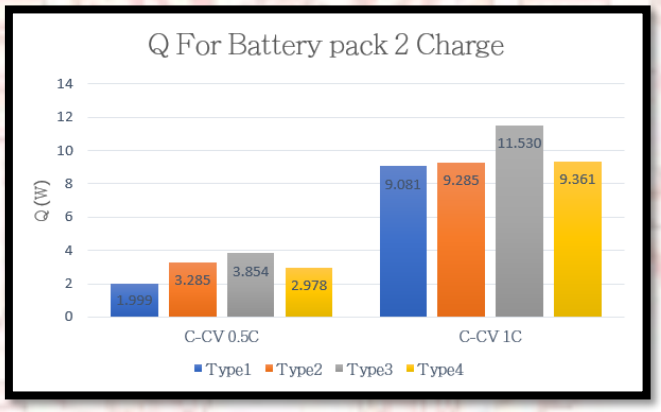
ภาพที่ 4-42 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3

จากภาพที่ 4-38 พบว่าแบบที่ 2 ตามภาพที่ 4-41 มีค่าพลังงานสะสม (Energy) สูงสุดในทุกการทดสอบ โดยเฉพาะใน (การทดสอบภายใต้ C-CV 1C) ที่ 42.11 Wh มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุด 45.6°C ตามภาพที่ 4-40 เป็นของความต้านทานภายใน 17mΩ ซึ่งมีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานเข้าเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าเพิ่มเร็วกว่าปกติและอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของแพ็คแบตเตอรี่ ตามภาพที่ 4-41 ทำให้มีความร้อนสะสมส่งผลให้อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้น ส่วนแบบที่ 1 มีค่าพลังงานสะสม (Energy) ที่ดีในทุกการทดสอบ โดยมีค่า 41.88 Wh ใน (การทดสอบภายใต้ C-CV 1C) ตามภาพที่ 4-38 และแบบที่ 3 ตามภาพที่ 4-42 มีค่าพลังงานสะสม (Energy) ต่ำสุดในหลายกรณี โดยมีค่า 36.02 Wh ใน (การทดสอบภายใต้ D-DC 1C) ตามภาพที่ 4-37 มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุดอยู่ที่ 44.3°C เป็นของความต้านทานภายใน 17mΩ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของแพคแบตเตอรี่ เมื่อนำอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่แบบที่ 2 กับแบบที่ 3 มาเปรียบเทียบกันพบว่าแบบที่ 3 มีอุณหภูมิผิวสูงกว่าแบบที่ 2 อยู่ที่ 1.3°C ด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าจึงส่งผลให้ค่าพลังงานสะสม (Energy) ของแบตเตอรี่แบบที่ 2 มีค่าสูง

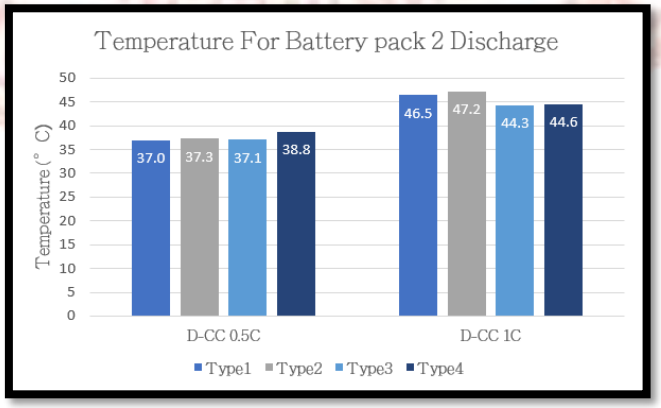
4.2.6 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) แพคที่ 2



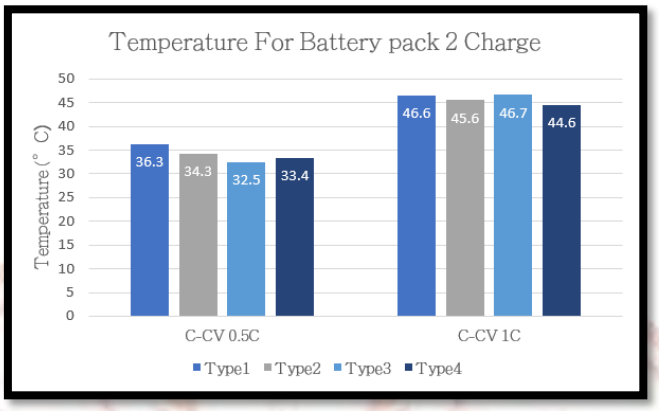
ภาพที่ 4-43 ตารางเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4



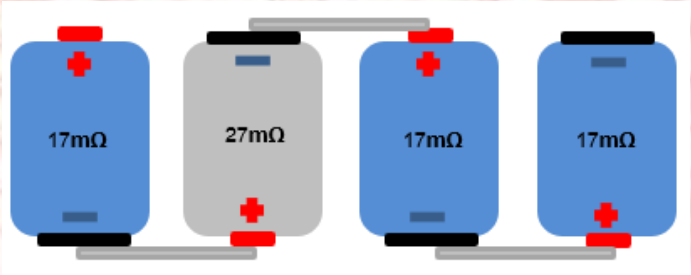
ภาพที่ 4-44 ตารางเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4



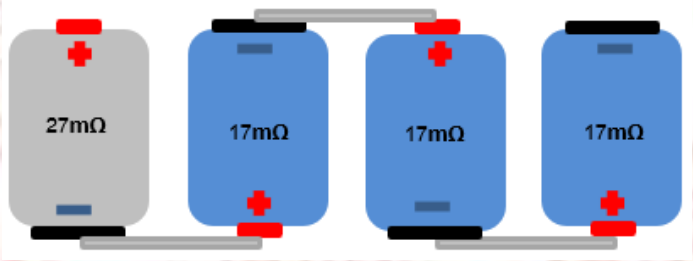
ภาพที่ 4-45 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C และ1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4



ภาพที่ 4-46 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C และ1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1-4



ภาพที่ 4-47 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3

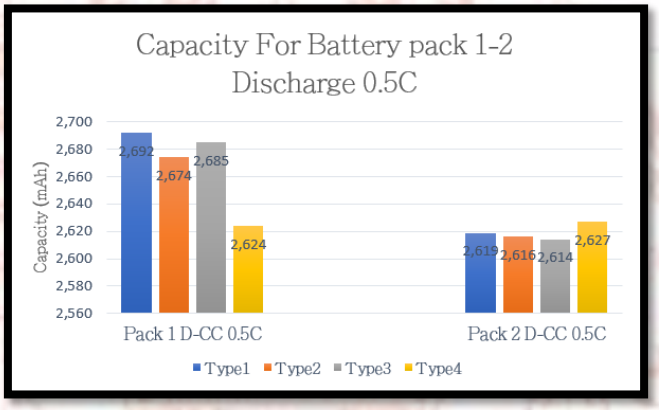


ภาพที่ 4-48 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4

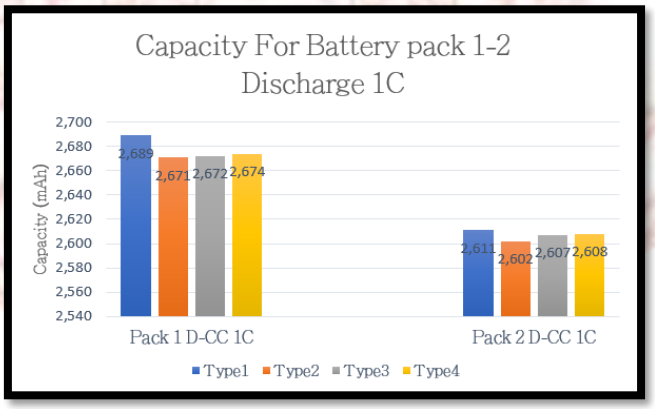
จากภาพที่ 4-44 พบว่าแบบที่ 3 ตามภาพที่ 4-47 มีค่าพลังงานความร้อน (Q) สูงสุดใน (การทดสอบภายใต้ C-CV1C) ที่ 11.530 W มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุดอยู่ที่ 46.7°C ตามภาพที่ 4-46 เป็นของความต้านทานภายใน 17mΩ มีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของแพ็คแบตเตอรี่ ตามภาพที่ 4-47 ทำให้มีอุณหภูมิยิ่งสูงขึ้น เนื่องจากรับความร้อนจากแบตเตอรี่ด้านข้างด้วยส่วนแบบ 1 ยังมีค่าพลังงานความร้อน (Q) สูงใน (การทดสอบภายใต้ C-CV 1C) ตามภาพที่ 4-44 อยู่ที่ 9.081 W มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุดอยู่ที่ 46.6°C ตามภาพที่ 4-46 เป็นของความต้านทานภายใน 17mΩ มีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายใน

เซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้นแต่ส่งผลทำให้อุณหภูมิสูงตามรวมกับตำแหน่งซึ่งอยู่กึ่งกลางของแพ็คแบตเตอรี่ทำให้มีอุณหภูมิที่สูง และแบบที่ 4 ตามภาพที่ 4-48 มีค่าพลังงานความร้อน (Q) ต่ำสุดใน (การทดสอบภายใต้ D-CC 0.5C) ตามภาพที่ 4-43 อยู่ที่ 1.875 W มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุดอยู่ที่ 38.8°C ตามภาพที่ 4-45 เมื่อนำอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่แบบที่ 3 กับแบบที่ 4 มาเปรียบเทียบกันพบว่าแบบที่ 3 มีอุณหภูมิผิวสูงกว่าแบบที่ 4 อยู่ที่ 7.9°C ด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าจึงส่งผลให้ค่าพลังงานความร้อน (Q) ของแบตเตอรี่แบบที่ 3 มีค่าสูง

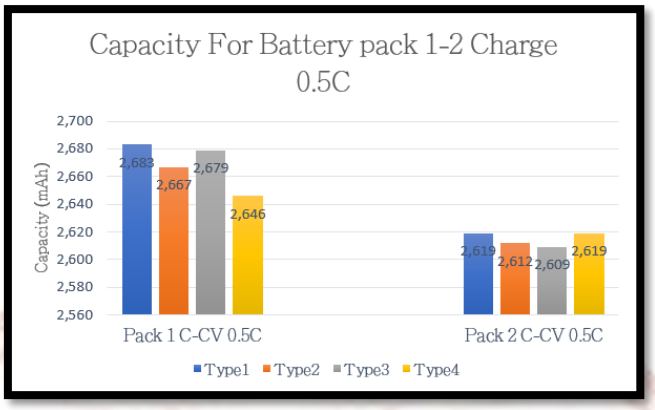
4.2.7 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) แพ็คที่ 1 และ 2



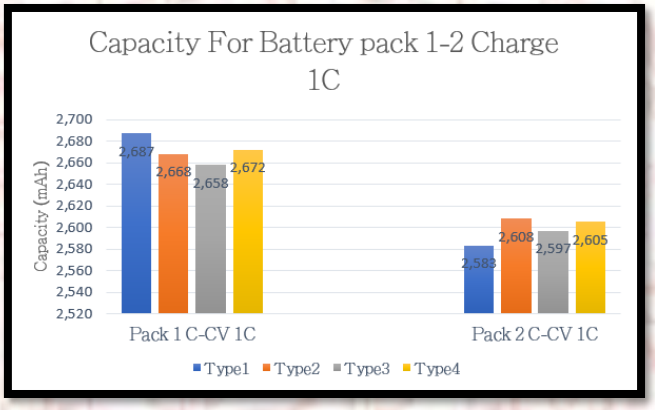
ภาพที่ 4-49 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะคายประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



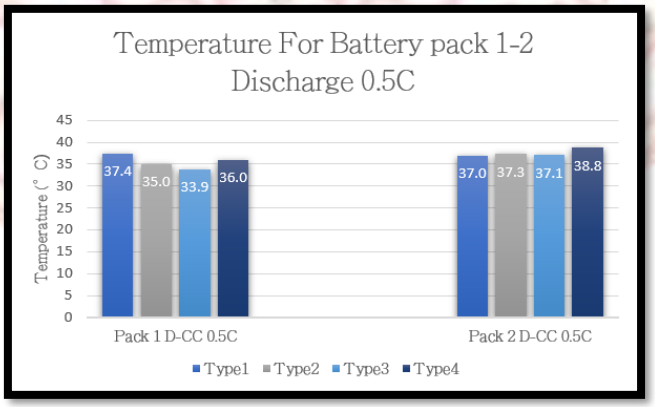
ภาพที่ 4-50 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะคายประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



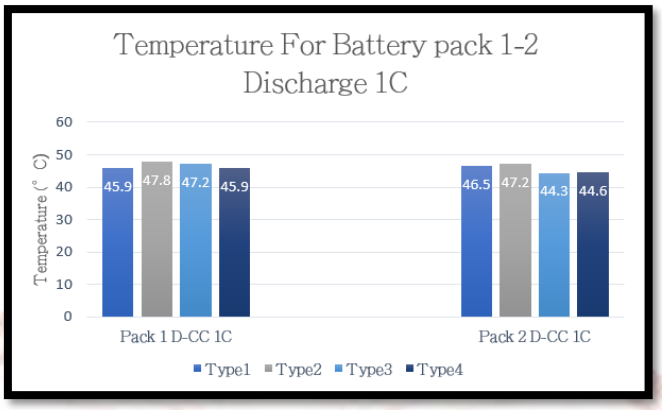
ภาพที่ 4-51 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



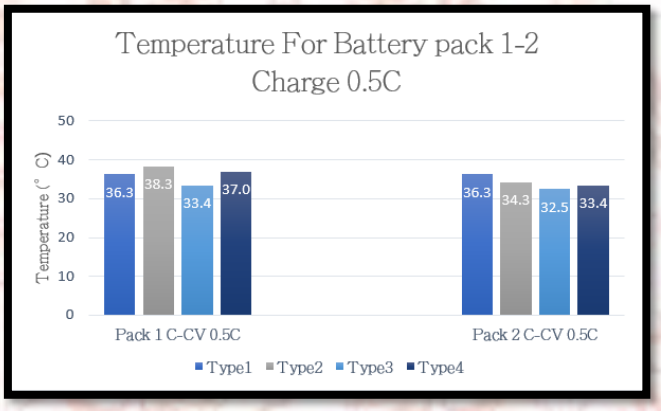
ภาพที่ 4-52 การเปรียบเทียบค่าการเก็บประจุ (Capacity) ขณะประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



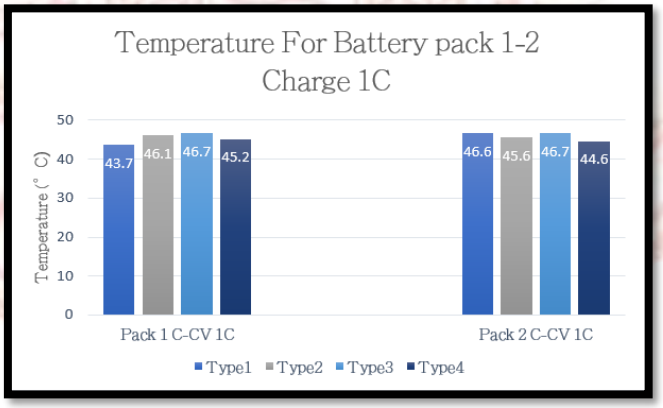
ภาพที่ 4-53 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



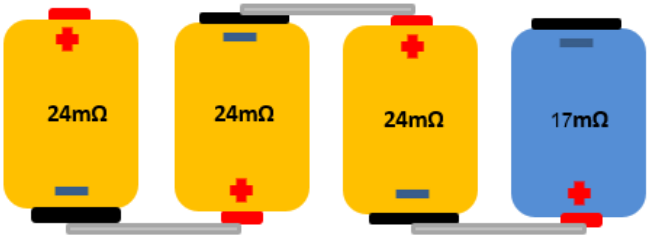
ภาพที่ 4-54 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



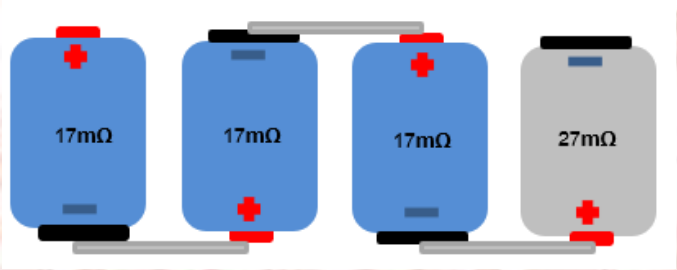
ภาพที่ 4-55 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



ภาพที่ 4-56 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



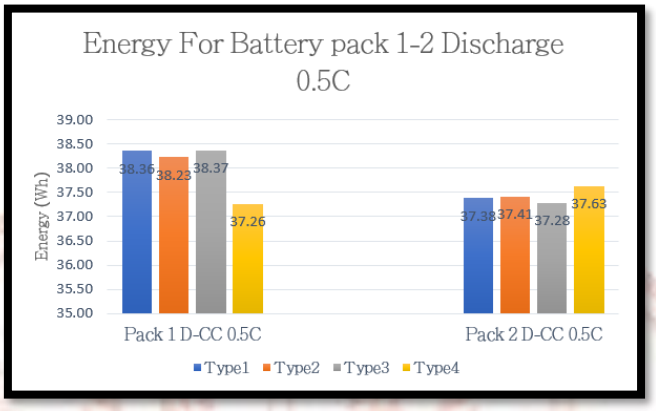
ภาพที่ 4-57 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1



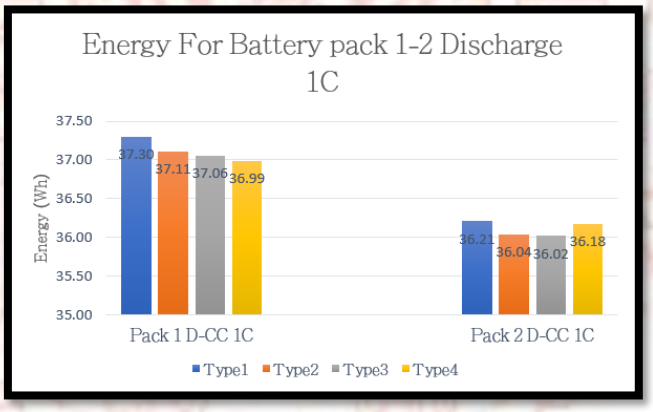
ภาพที่ 4-58 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1

จากภาพที่ 4-49 พบว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1 ตามภาพที่ 4-57 โดยเฉพาะใน (การทดสอบภายใต้ D-CC 0.5C) มีค่าการเก็บประจุ (Capacity) สูงสุดอยู่ที่ 2,692 mAh มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุดอยู่ที่ 37.4°C ตามภาพที่ 4-53 เป็นของแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 17mΩ มีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติทำให้อุณหภูมิสูง ในตำแหน่งขั้วลบของแพ็คแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1 ตามภาพที่ 4-57 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่แพ็คนี้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเก็บพลังงานเมื่อทำการชาร์จที่อัตรา 0.5C ส่วนแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1 มีค่าการเก็บประจุ (Capacity) ต่ำสุดโดยเฉพาะใน (การทดสอบภายใต้ C-CV 1C) ที่ 2,583 mAh ซึ่งน้อยกว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1 อยู่ 109 mAh คิดเป็น 95% มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุดอยู่ที่ 46.3°C ตามภาพที่ 4-56 เป็นของแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 17mΩ มีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติส่งผลให้อุณหภูมิสูงรวมกับอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของแพ็คแบตเตอรี่ทำให้อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้น ตามภาพที่ 4-58 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่แพ็คนี้ลดลง เมื่อนำอุณหภูมิของแบตเตอรี่ทั้งสองแพ็คมาเปรียบเทียบกันพบว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4 มีอุณหภูมิสูงกว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1 อยู่ที่ 8.9°C ด้วยแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4 ประกอบด้วยแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 27mΩ อยู่ในตำแหน่งขั้วบวกและความต้านทานภายใน 17mΩ อยู่ในตำแหน่งขั้วลบส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้น แต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าได้ต่ำกว่าที่ควร จึงส่งผลต่อค่าการเก็บประจุ (Capacity) ต่ำ

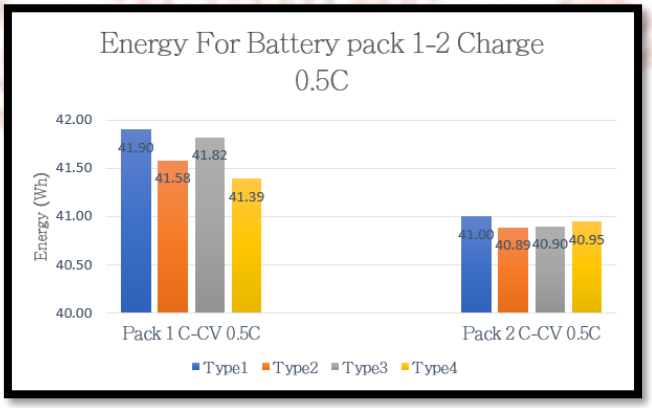
4.2.8 การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) แพ็คที่ 1 และ 2



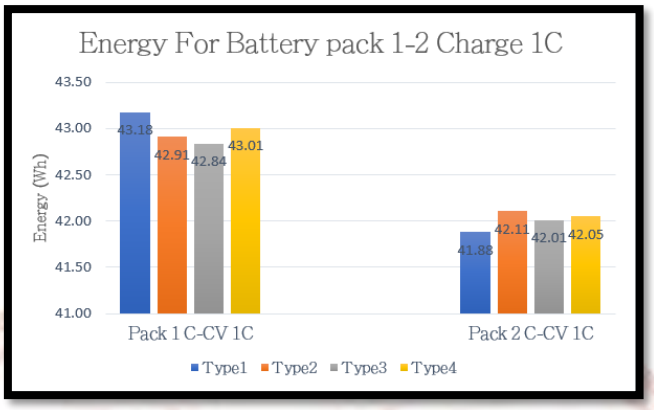
ภาพที่ 4-59 การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะคายประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่ แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



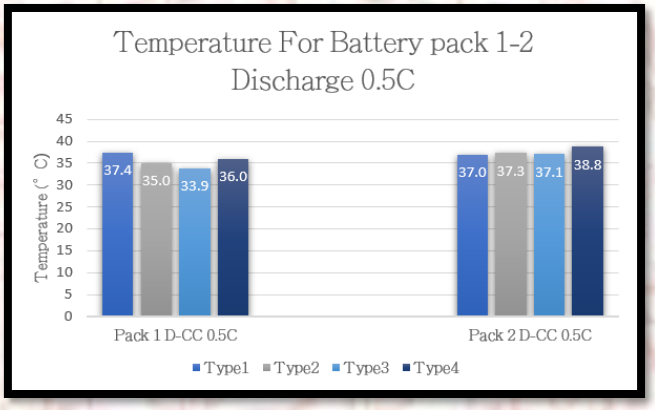
ภาพที่ 4-60 การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะคายประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่ แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



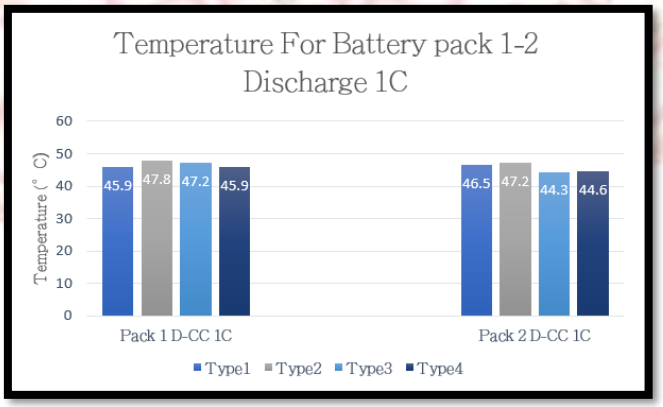
ภาพที่ 4-61 การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่ แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



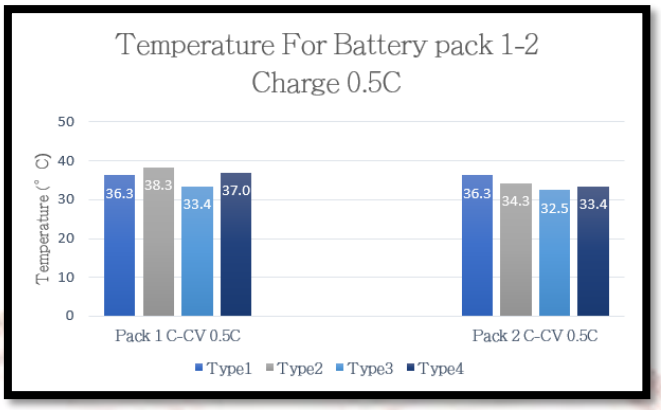
ภาพที่ 4-62 การเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสม (Energy) ขณะประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



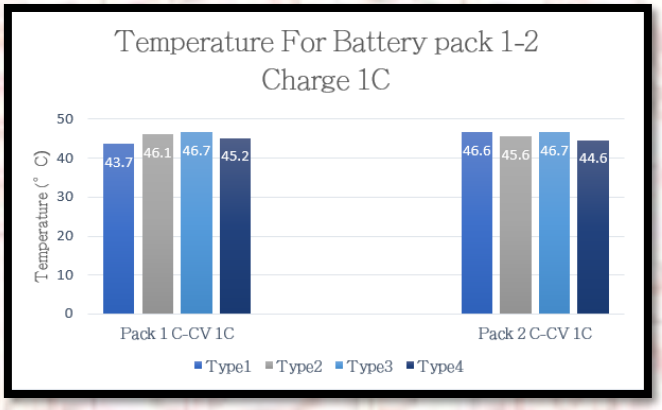
ภาพที่ 4-63 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



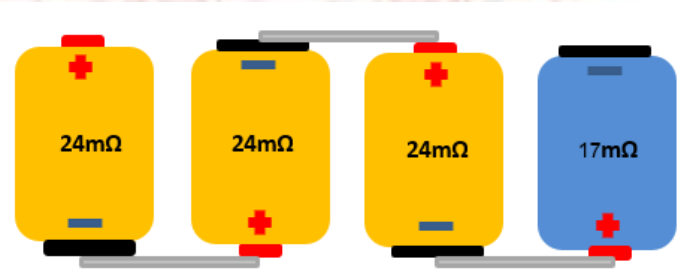
ภาพที่ 4-64 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



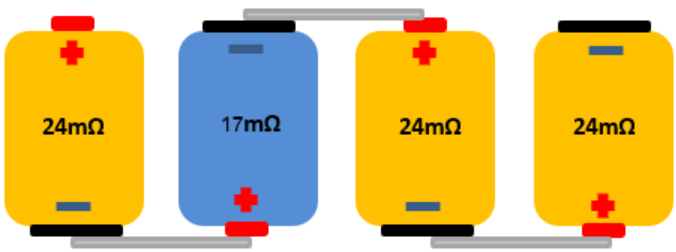
ภาพที่ 4-65 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



ภาพที่ 4-66 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



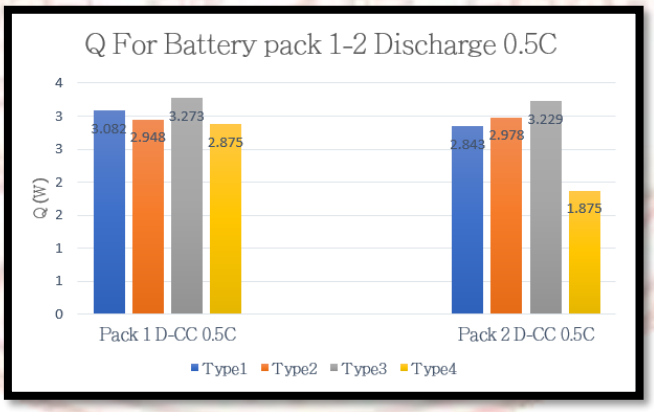
ภาพที่ 4-67 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1



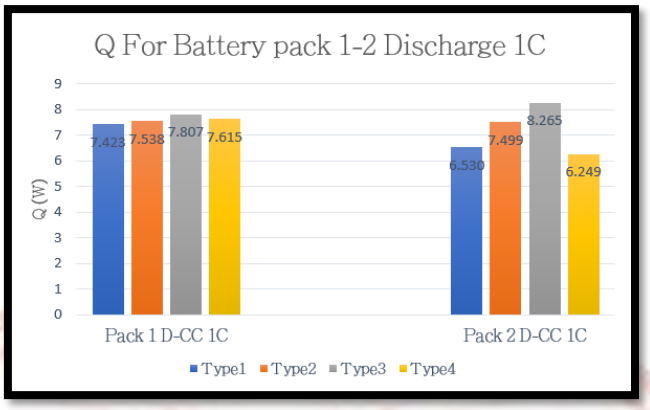
ภาพที่ 4-68 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3

จากภาพที่ 4-61 พบว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1 ตามภาพที่ 4-67 มีค่าพลังงานสะสม (Energy) สูงสุดในทุกกรณี โดยเฉพาะใน (การทดสอบภายใต้ C-CV 1C) ที่ 43.18 Wh มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุดอยู่ที่ 43.7°C ตามภาพที่ 4-66 เป็นของแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 24mΩ มีความต้านทานที่ไม่สูงมากส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานเข้าเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าเพิ่มเร็วกว่าปกติรวมกับอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของแพ็คแบตเตอรี่แพคที่ 1 แบบที่ 1 ตามภาพที่ 4-67 ทำให้อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นและค่าพลังงานสะสม (Energy) ต่ำสุดอยู่ที่ 36.02 Wh แบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3 ใน (การทดสอบภายใต้ D-CC 1C) ซึ่งน้อยกว่า 7.16 Wh คิดเป็น 83.41% อุณหภูมิผิวแบตเตอรี่สูงสุดอยู่ที่ 44.3°C ตามภาพที่ 4-64 เป็นของแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 17mΩ มีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติรวมกับอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของแพ็คแบตเตอรี่ทำให้อุณหภูมิสูง ตามภาพที่ 4-68 เมื่อนำอุณหภูมิของแบตเตอรี่ทั้งสองแพ็คมาเปรียบเทียบกันพบว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3 มีอุณหภูมิสูงกว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1 อยู่ที่ 0.6°C ด้วยแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3 ประกอบด้วยแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 27mΩ อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางใกล้และความต้านทานภายใน 17mΩ อยู่ในตำแหน่งขั้วบวก-ลบ ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้น แต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าได้ต่ำกว่าที่ควร จึงส่งผลต่อค่าพลังงานสะสม (Energy) ต่ำ

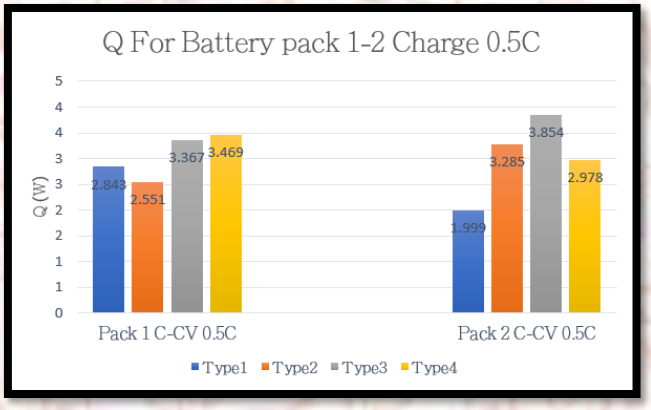
4.2.9 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) แพ็คที่ 1 และ 2



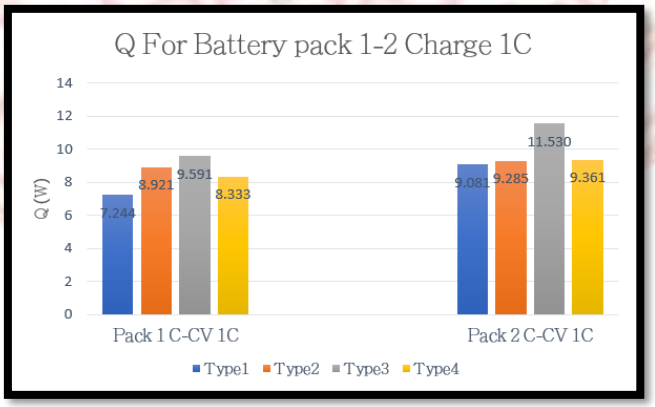
ภาพที่ 4-69 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะคายประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



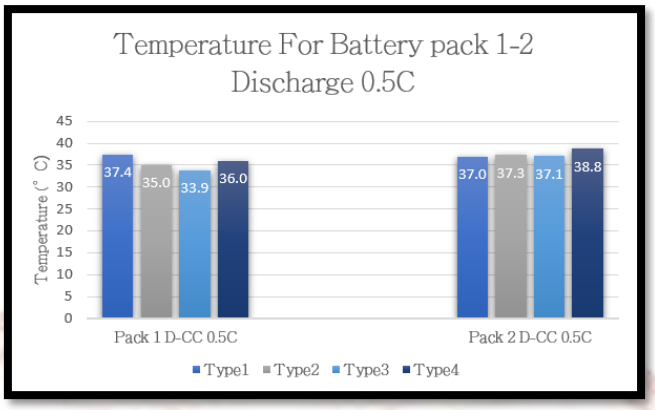
ภาพที่ 4-70 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะคายประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



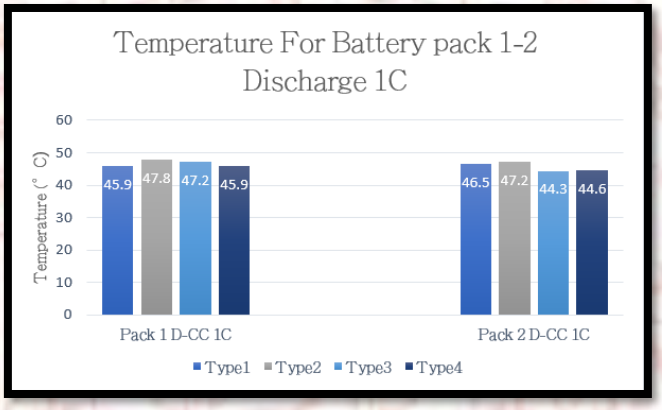
ภาพที่ 4-71 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



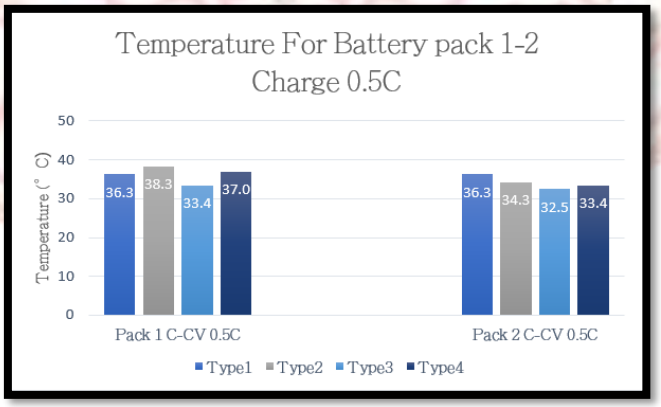
ภาพที่ 4-72 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อน (Q) ขณะประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



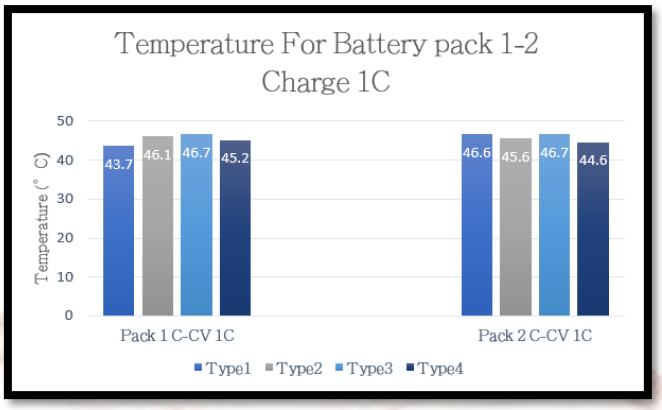
ภาพที่ 4-73 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



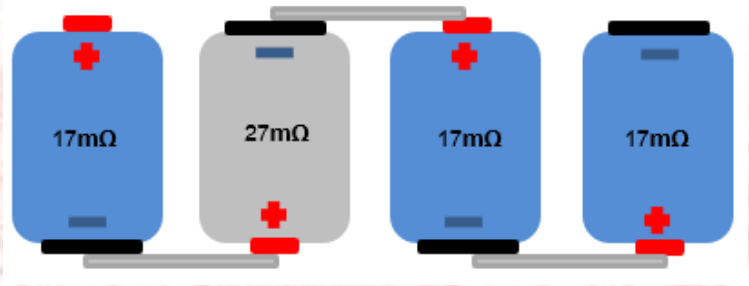
ภาพที่ 4-74 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะคายประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



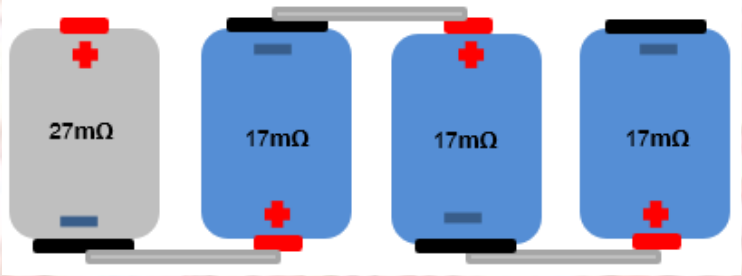
ภาพที่ 4-75 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 0.5C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



ภาพที่ 4-76 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะประจุที่ 1C ของแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 และ 2 แบบที่ 1-4



ภาพที่ 4-77 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3



ภาพที่ 4-78 ตำแหน่งของแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4

จากภาพที่ 4-72 พบว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3 มีค่าพลังงานความร้อน (Q) สูงสุดในทุกการทดลอง โดยเฉพาะใน (การทดสอบภายใต้ D-CC 1C) ที่ 11.530 W มีอุณหภูมิผิวแบตเตอรี่อยู่ที่ 46.7°C ตามภาพที่ 4-76 เป็นของแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 17mΩ ซึ่งมีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติรวมกับอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของแพ็คแบตเตอรี่ทำให้อุณหภูมิสูง ตามภาพที่ 4-77 ส่วนแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4 แสดงให้เห็นการปล่อยพลังงานความร้อนที่สูง โดยมีค่าพลังงานความร้อน (Q) อยู่ที่ 9.361 W ใน (การทดสอบภายใต้ C-CV 1C) ตามภาพที่ 4-72 แต่

แบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4 มีค่าพลังงานความร้อน (Q) ต่ำสุดอยู่ที่ 1.875 W ใน (การทดสอบภายใต้ D-CC 0.5C) ตามภาพที่ 4-69 ซึ่งน้อยกว่าแบตเตอรี่แบบที่ 3 อยู่ที่ 9.655 W คิดเป็น 16.26% อุณหภูมิผิวแบตเตอรี่อยู่ที่ 38.8°C ตามภาพที่ 4-73 เป็นของแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 17mΩ ซึ่งมีความต้านทานที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ ซึ่งแบตเตอรี่อยู่ในตำแหน่งขั้วลบของแพ็คแบตเตอรี่ ตามภาพที่ 4-78 เมื่อนำอุณหภูมิของแบตเตอรี่ทั้งสองแพ็คมาเปรียบเทียบกันพบว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3 มีอุณหภูมิสูงกว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4 อยู่ที่ 7.9°C คิดเป็น 83.08% ด้วยแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3 ประกอบด้วยแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 27mΩ อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางและความต้านทานภายใน 17mΩ อยู่ในตำแหน่งขั้วลบตามภาพที่ 4-77 ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้นแต่อุณหภูมิที่สูงกว่าที่ควรจึงส่งผลต่อค่าพลังงานความร้อน (Q) สูงขึ้นตาม แต่ถ้าดูในภาพรวมแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 ให้ค่าพลังงานความร้อน (Q) ต่ำกว่าแพคที่ 2 ในทุกแบบการทดสอบ

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ เรื่องการศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ขณะใช้งานภายใต้เงื่อนไขความต้านทานภายในแตกต่างกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุที่อุณหภูมิบรรยากาศและพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศ ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้สรุป อภิปลายผลและข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1. ผลการทดลองพฤติกรรมของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุที่อุณหภูมิบรรยากาศ

5.1.1.1 ค่าการเก็บประจุ (Capacity) สูงสุดอยู่ที่ 2,755 mAh แบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน 27mΩ (การทดสอบภายใต้ D-CC 0.5C) และต่ำสุดอยู่ที่ 2,567 mAh แบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน 17mΩ (การทดสอบภายใต้ D-CC 1C) ซึ่งน้อยกว่า 188 mAh คิดเป็น 93% เมื่อนำอุณหภูมิของแบตเตอรี่ทั้งสองความต้านทานภายในมาเปรียบเทียบกันพบว่าแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 17mΩ มีอุณหภูมิที่สูงกว่าแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 27mΩ อยู่ที่ 7.4°C ด้วยความต้านทานภายในที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้น แต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้แบตเตอรี่เก็บประจุไฟฟ้าได้ต่ำกว่าที่ควร จึงส่งผลต่อค่าการเก็บประจุ (Capacity) ต่ำ

5.1.1.2 ค่าพลังงานสะสม (Energy) สูงสุดอยู่ที่ 11.330 Wh แบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน 27mΩ (การทดสอบภายใต้ C-CV 1C) และต่ำสุดอยู่ที่ 8.376 Wh แบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน 17mΩ (การทดสอบภายใต้ D-CC 1C) ซึ่งน้อยกว่า 2.954 Wh คิดเป็น 74% เมื่อนำอุณหภูมิของแบตเตอรี่ทั้งสองความต้านทานภายในมาเปรียบเทียบกันพบว่าแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 17mΩ มีอุณหภูมิที่สูงกว่าแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 27mΩ อยู่ที่ 1.1°C ด้วยความต้านทานภายในที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้น แต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าได้ต่ำกว่าที่ควร จึงส่งผลต่อค่าพลังงานสะสม (Energy) ต่ำ

5.1.1.3 ค่าพลังงานความร้อน (Q) สูงสุดอยู่ที่ 2.608 W แบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน 17mΩ (การทดสอบภายใต้ D-CC 1C) และต่ำสุดอยู่ที่ 0.653 W แบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน 24 mΩ (การทดสอบภายใต้ C-CV 0.5C) ซึ่งน้อยกว่า 1.955 W คิดเป็น 25.03% เมื่อนำอุณหภูมิของแบตเตอรี่ทั้งสองความต้านทานภายในมาเปรียบเทียบกันพบว่าแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 17mΩ มีอุณหภูมิที่สูงกว่าแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 24mΩ อยู่ที่ 4.2°C ด้วยความต้านทานภายใน 17mΩ ที่ต่ำส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่

จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้น แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้นทำให้อุณหภูมิที่สูงเกินไปส่งผลให้แบตเตอรี่ปล่อยความร้อนมากกว่าที่ควร จึงส่งผลต่อค่าพลังงานความร้อน (Q) สูง

5.1.2. ผลการทดลองพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศ ผลการทดลองในระดับแพคพบว่า อุณหภูมิที่วัดในแพคแบตเตอรี่มีความแตกต่างกันตามตำแหน่งการจัดวาง

5.1.2.1 ค่าการเก็บประจุ (Capacity) ของแบตเตอรี่แบบแพ็ค สูงสุดอยู่ที่ 2,692 mAh แบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1 (การทดสอบภายใต้ D-CC 0.5C) และต่ำสุดอยู่ที่ 2,583 mAh แบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 1 (การทดสอบภายใต้ C-CV 1C) ซึ่งน้อยกว่า 109 mAh คิดเป็น 95% เมื่อนำอุณหภูมิของแบตเตอรี่ทั้งสองแพ็คมาเปรียบเทียบกันพบว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4 มีอุณหภูมิสูงกว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1 อยู่ที่ 8.9°C ด้วยแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4 ประกอบด้วยแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 27mΩ อยู่ในตำแหน่งขั้วบวกและความต้านทานภายใน 17mΩ อยู่ในตำแหน่งขั้วลบส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้นแต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าได้ต่ำกว่าที่ควร จึงส่งผลต่อค่าความจุ (Capacity) ต่ำ

5.1.2.2 ค่าพลังงานสะสม (Energy) ของแบตเตอรี่แบบแพ็ค สูงสุดอยู่ที่ 43.18 Wh แบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1 (การทดสอบภายใต้ C-CV 1C) และต่ำสุดอยู่ที่ 36.02 Wh แบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3 (การทดสอบภายใต้ D-CC 1C) ซึ่งน้อยกว่า 7.16 Wh คิดเป็น 83.41% เมื่อนำอุณหภูมิของแบตเตอรี่ทั้งสองแพ็คมาเปรียบเทียบกันพบว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3 มีอุณหภูมิสูงกว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 แบบที่ 1 อยู่ที่ 0.6°C ด้วยแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3 ประกอบด้วยแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 27mΩ อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางใกล้และความต้านทานภายใน 17mΩ อยู่ในตำแหน่งขั้วบวก-ลบ ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้นและแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้นแต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าได้ต่ำกว่าที่ควร จึงส่งผลต่อค่าพลังงานสะสม (Energy) ต่ำ

5.1.2.3 ค่าพลังงานความร้อน (Q) ของแบตเตอรี่แบบแพ็ค สูงสุดอยู่ที่ 11.530 W แบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3 (การทดสอบภายใต้ D-CC 1C) และต่ำสุดอยู่ที่ 1.875 W แบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4 (การทดสอบภายใต้ D-CC 0.5C) ซึ่งน้อยกว่า 9.655 W คิดเป็น 16.26% เมื่อนำอุณหภูมิของแบตเตอรี่ทั้งสองแพ็คมาเปรียบเทียบกันพบว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3 มีอุณหภูมิสูงกว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 4 อยู่ที่ 7.9°C ด้วยแบตเตอรี่แพ็คที่ 2 แบบที่ 3 ประกอบด้วยแบตเตอรี่ความต้านทานภายใน 27mΩ อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางและความต้านทานภายใน 17mΩ อยู่ในตำแหน่งขั้วลบ ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกเร็วขึ้น

และแรงดันไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าปกติ แม้ว่าปฏิกิริยาเคมีจะเร็วขึ้น แต่อุณหภูมิที่สูงกว่าที่ควร จึงส่งผลต่อค่าพลังงานความร้อน (Q) สูง

5.2 อภิปรายผล

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าผลกระทบของความต้านทานภายในแบตเตอรี่ต่อการเก็บประจุ พลังงานสะสมและพลังงานความร้อน โดยแสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานต่ำอาจมีประสิทธิภาพการจ่ายพลังงานที่สูงขึ้น แต่มีความเสี่ยงจากการเพิ่มอุณหภูมิสูงเกินไปที่อาจลดความสามารถในการเก็บพลังงานและเพิ่มการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อน การปรับปรุงเทคโนโลยีเหล่านี้ในอนาคตจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าและช่วยให้สามารถขยายการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้าได้มากขึ้น ด้านการพัฒนาแบตเตอรี่ การปรับปรุงความต้านทานภายในแบตเตอรี่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า โดยช่วยยืดอายุการใช้งาน, ลดการสูญเสียพลังงานและเพิ่มระยะทางในการขับขี่ให้มากขึ้น การควบคุมความร้อน การออกแบบระบบระบายความร้อนในแบตเตอรี่ เป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า การควบคุมอุณหภูมิอย่างเหมาะสมสามารถช่วยลดการสูญเสียพลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานและด้านการจัดการพลังงาน การศึกษาในเรื่องอุณหภูมิและตำแหน่งของแบตเตอรี่ในแพ็ค สามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบการจัดการพลังงานของแบตเตอรี่ในยานยนต์ฟ้าที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งการเก็บประจุ,พลังงานสะสมและลดพลังงานความร้อน ซึ่งจะช่วยให้แบตเตอรี่ทำงานได้ดีในทุกสภาวะการใช้งานและเป็นข้อมูลในการซ่อมบำรุงแบตเตอรี่ยานยนต์ฟ้าในอนาคต

5.3 ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้ในการดำเนินงาน

5.3.1. ข้อเสนอแนะของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุที่อุณหภูมิบรรยากาศ

ผู้วิจัยได้เลือกใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน INR 18650 4.2 V 3.2 A (17 mΩ, 24 mΩ, 27 mΩ) และใช้การประจุและคายประจุแบตเตอรี่ (C-Rating) 0.5 C, 1 C ซึ่งตามสเปกของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน INR 18650 4.2 V 3.2 A สามารถประจุและคายประจุสูงสุดได้ 1C ทำให้อุณหภูมิแบตเตอรี่ค่อนข้างต่ำ หากต้องการได้ผลทดลองที่อุณหภูมิสูงขึ้นต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีการประจุและคายประจุ (C-Rating) ที่สูงกว่านี้

5.3.2. ข้อเสนอแนะของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศ

การทดสอบหาค่าการเก็บประจุ (Capacity) ,ค่าพลังงานสะสม (Energy) ,ค่าพลังงานความร้อน (Q) ของแบตเตอรี่แบบแพ็ค ทำการทดสอบในกล่องควบคุมอุณหภูมิ เมื่อทำการประจุและคายประจุ (C-Rating) สูงๆ ทำให้แบตเตอรี่มีอุณหภูมิที่สูง ผู้วิจัยต้องค่อยสังเกตอย่างใกล้ชิดจนกว่าจะทำการทดลองเสร็จ เพื่อความปลอดภัยต่อเครื่องมือในทดสอบแบตเตอรี่และตัวของผู้วิจัยเอง

จากผลการทดสอบเมื่อนำอุณหภูมิมาเปรียบเทียบกันทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่แพ็คที่ 1 ให้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าแพคที่ 2 ในทุกแบบการทดสอบ

5.4 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.4.1 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการออกแบบระบบแพคแบตเตอรี่เพื่อให้การกระจายความร้อนเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนเซลล์ใหม่

5.4.2 ควรพิจารณาปรับปรุงโหมดการชาร์จและคายประจุให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานจริง เพื่อลดการเกิดความร้อนและเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่

5.4.3 ควรมีการทดลองในสภาวะการใช้งานจริงหรือในระบบที่มีการระบายความร้อนที่แตกต่างกัน เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปปรับปรุงการออกแบบและวางแผนการจัดการความร้อนในระบบแบตเตอรี่ที่ใช้งานจริง

5.4.4 ผลการศึกษานี้สามารถเป็นข้อมูลอ้างอิงสำคัญสำหรับการวิจัยและพัฒนาระบบจัดการความร้อนในแบตเตอรี่ต่อไป รวมทั้งสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการออกแบบแพ็คแบตเตอรี่ในด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพการใช้งาน

บรรณานุกรม

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน (2559).แนวทางการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้า, สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2567.
สืบค้นจาก https://www.eppo.go.th

พิมพา ลิ้มทองกุล และคณะ (2560).การวิจัยแบตเตอรี่ตนแบบสำหรับรถยนตนั่งที่ใชพลังงานไฟฟ้า.อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิสถาบันยานยนต์,สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2567.
สืบค้นจาก https://www.thaiauto.or.th

David Anseán et al.(2014). Electric Vehicle Li-ion Battery Evaluation based on Internal Resistance Analysis. Electrical Engineering Department University of Oviedo Gijón, Spain, 978-1-4799-6782-7/14

Xuezhe Wei et al.(2009). Internal Resistance Identification in Vehicle Power Lithium-ion Battery and Application in Lifetime Evaluation. New Clean Energy Automotive Engineering Center Tongji University, Shanghai , China, 978-0-7695-3583-8/09

Joris Jaguemont & Joeri Van Mierlo.(2020). A comprehensive review of future thermal management systems for battery - electrified vehicles. Journal of Energy Storage,59,106481

Lu, L., et al. (2013). A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. Journal of Power Sources, 226, 272–288.

Zhao, R., Zhang, S., & Liu, J. (2015). Thermal performance analysis of different battery pack configurations for electric vehicles. Applied Energy, 157, 220–228.

Tarascon, J. M., & Armand, M. (2001). "Issues and Challenges Facing Rechargeable Lithium Batteries." Nature, 414(6861), 359–367.

Schindler, R., et al. (2018). "Internal Resistance and Aging Effects in Lithium-ion Batteries." Journal of Power Sources, 395, 304–316.

Zhao, R., Zhang, S., & Liu, J. (2015). “Thermal Performance Analysis of Different Battery Pack Configurations for Electric Vehicles.” Applied Energy, 157, 220–228.

Zhao, L., & Chien, S. (2016). "Ambient Temperature and Its Influence on Battery Performance." Journal of Power Sources, 322, 289–299.

Energy Conservation Technology. (2566). อุณหภูมิอากาศมีผลต่อการใช้งานแบตเตอรี่หรือไม่.สืบค้นเมื่อ 11 กรกฎาคม 2567. สืบค้นจาก https://www.energy-conservationtech.com/content/25983/

Auto Batteries. (2023). Standard Flooded. Accessed 11 July 2024. From: https://www.autobatteries.com/battery-technology/standard-flooded

Upsbatterycenter. (2014).Sealed Lead Acid Batteries – The Basics. Accessed 11 July 2024. From: https://blog.upsbatterycenter.com/sealed-lead-acid-batteries-the-basics/

Plant Automation Technology. (2017). Industrial Lead Acid batteries. Accessed 11 July 2024. From: https://www.plantautomation-technology.com/products/orizen-international-pty-ltd/industrial-lead-acid-batteries

Wisdom Industrial Power Co., Ltd. (2019). What is valve regulated lead acid battery.Accessed 11 July 2024. From: https://www.bullsbattery.com/industry-news/what-is-valve-regulated-lead-acid-battery.html

Grepow Inc. (2017). What Is Lipo Battery Pack Construction. Accessed 11 July 2024. From: https://genstattu.com/blog/what-is-lipo-battery-pack-construction

Gerald. (2024). How Does a Lithium Ion Battery Work. Accessed 12 July 2024. From:https://www.ufinebattery.com/blog/how-does-a-lithium-ion-battery-work

Wikipedia. (2022). Joule heating. Accessed 12 July 2024. From: https://en.wikipedia.org/wiki/Joule_heating

Rahul J. (2023). Why are SoC and DoD so important for battery life. Accessed 12 July 2024. From: https://www.linkedin.com/pulse/why-soc-dod-so-important-battery-life-rahul-jalthar

Vikrant Adams. (2023). Understanding Thermocouples: A Guide to the Different Types. Accessed 13 July 2024. From: https://yogelectroprocess.com/understanding-thermocouples-a-guide-to- the-different-types/

วิรัช มณีสาร. (2538). ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะอากาศตามฤดูกาลของภาคต่าง ๆ ในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 13 กรกฎาคม 2567. สืบค้นจาก https://th.wikipedia.org/wiki/ภูมิอากาศไทย

Tord Per Jens Onnerud. (2015).Lithium Ion Battery With Thermal Runaway Protection. Accessed 13 July 2024. From: https://patents.google.com/patent/US20170214103A1/en

Jaguemont, J., & Van Mierlo, J. (2020). A comprehensive review of future thermal management systems for battery-electrified vehicles. Journal of Energy Storage, 31, 101551. From: https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101551

Tan, A. H., Ong, D. S., & Foo, M. (2023). Estimation of battery internal resistance using built-in self-scaling method. Journal of Energy Storage, 59, 106481. From: https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106481

APA (7th edition): Daniels, R. K., & Prabhakar, A. (2023). Experimental and numerical investigation on the effect of cell arrangement on thermal runaway propagation in air cooled cylindrical Li-ion battery modules. Journal of Energy Storage, 72, 108191.
From: https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108191

Xu, R., Li, X., Tang, S., Wang, Z., Guo, H., Peng, W., Wang, D., Duan, J., Wang, J., & Yan, G. (2024). Quantitative failure analysis of lithium-ion batteries based on direct current internal resistance decomposition model. Applied Energy, 371, 123630.
From: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123630

Ibraheem, R., Strange, C., & dos Reis, G. (2023). Capacity and internal resistance of lithium-ion batteries: Full degradation curve prediction from voltage response at constant current at discharge. Journal of Power Sources, 556, 232477.
From: https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.232477

Nguyen, C. V., & Quang, D. T. (2023). Estimation of SoH and internal resistances of Lithium-ion battery based on LSTM network. International Journal of Electrochemical Science, 18, 100166.
From: https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2023.100166

Liu, T., Hu, J., Zhu, X., & Wang, X. (2022). A practical method of developing. cooling control strategy for thermal runaway propagation prevention in lithium-ion battery modules. Journal of Energy Storage, 50, 104564.
From: https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104564

Sharma, D. K., & Prabhakar, A. (2021). A review on air cooled and air centric hybrid thermal management techniques for Li-ion battery packs in electric vehicles. Journal of Energy Storage, 41, 102885.
From: https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102885:contentReference [oaicite:0]{index=0}.

Anseán, D., González, M., Viera, J. C., Álvarez, J. C., Blanco, C., & García, V. M. (2014). Electric Vehicle Li-Ion Battery Evaluation Based on Internal Resistance Analysis. In Proceedings of the Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2014 (pp. 1-6). IEEE. From: https://doi.org/10.1109/VPPC.2014.7007058:contentReference[oaicite:0]{index=0}.

Anseán, D., González, M., Viera, J. C., Álvarez, J. C., Blanco, C., & García, V. M. (2014, October). Electric vehicle Li-ion battery evaluation based on internal resistance analysis. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 1-6. From: https://doi.org/10.1109/VPPC.2014.7007058

Zhang, L., Duan, Q., Xu, J., Meng, X., Sun, J., & Wang, Q. (2023). Experimental investigation on suppression of thermal runaway propagation of lithium-ion battery by intermittent spray. Journal of Energy Storage, 58, 106434. From: https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106434

Fang, J., Cai, J., & He, X. (2021). Experimental study on the vertical thermal runaway propagation in cylindrical lithium-ion batteries: Effects of spacing and state of charge. Applied Thermal Engineering, 197, 117399. From: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117399

Wei, X., Zhu, B., & Xu, W. (2009). Internal Resistance Identification in Vehicle Power Lithium-Ion Battery and Application in Lifetime Evaluation. Proceedings of the 2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, 388-392. IEEE. From: https://doi.org/10.1109/ICMTMA.2009.468.

Zhai, H., Chi, M., Li, J., Li, D., Huang, Z., Jia, Z., Sun, J., & Wang, Q. (2022). Thermal runaway propagation in large format lithium ion battery modules under inclined ceilings. Journal of Energy Storage, 51, 104477.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดสอบของแบตเตอรี่ในการประจุและคายประจุที่อุณหภูมิบรรยากาศ

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 1 (0.5C)

ค่า / รูปแบบ	ความจุ (mAh)		พลังสะสม (Wh)		พลังงานความร้อน (W)	
	D-CC	C-CV	D-CC	C-CV	D-CC	C-CV
1	2,692	2,689	38.36	41.90	3.082	2.843
2	2,674	2,667	38.23	41.58	2.948	2.551
3	2,685	2,679	38.37	41.82	3.273	3.367
4	2,646	2,624	37.26	41.39	3.469	2.875

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 1 (1C)

ค่า / รูปแบบ	ความจุ (mAh)		พลังสะสม (Wh)		พลังงานความร้อน (W)	
	D-CC	C-CV	D-CC	C-CV	D-CC	C-CV
1	2,689	2,687	37.30	43.18	7.423	7.244
2	2,671	2,668	37.11	42.91	7.538	8.921
3	2,672	2,658	37.06	42.84	7.807	9.591
4	2,674	2,672	36.99	43.01	7.615	8.333

ภาคผนวก ข

ตารางผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน
แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 1

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 1 (0.5C)

ค่า / รูปแบบ	ความจุ (mAh)		พลังสะสม (Wh)		พลังงานความร้อน (W)	
	D-CC	C-CV	D-CC	C-CV	D-CC	C-CV
1	2,692	2,689	38.36	41.90	3.082	2.843
2	2,674	2,667	38.23	41.58	2.948	2.551
3	2,685	2,679	38.37	41.82	3.273	3.367
4	2,646	2,624	37.26	41.39	3.469	2.875

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 1 (1C)

ค่า / รูปแบบ	ความจุ (mAh)		พลังสะสม (Wh)		พลังงานความร้อน (W)	
	D-CC	C-CV	D-CC	C-CV	D-CC	C-CV
1	2,689	2,687	37.30	43.18	7.423	7.244
2	2,671	2,668	37.11	42.91	7.538	8.921
3	2,672	2,658	37.06	42.84	7.807	9.591
4	2,674	2,672	36.99	43.01	7.615	8.333

ภาคผนวก ค

ตารางผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายใน
แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 2

ตารางที่ ค-1 ผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 2 (0.5C)

ค่า / รูปแบบ	ความจุ (mAh)		พลังสะสม (Wh)		พลังงานความร้อน (W)	
	D-CC	C-CV	D-CC	C-CV	D-CC	C-CV
1	2,619	2,619	37.38	41	1.999	2.843
2	2,616	2,612	37.41	40.89	2.978	3.285
3	2,614	2,609	37.28	40.90	3.229	3.854
4	2,627	2,616	37.63	40.95	1.875	2.978

ตารางที่ ค-2 ผลการทดสอบของแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งในการแพคที่อุณหภูมิบรรยากาศแพ็คที่ 2 (1C)

ค่า / รูปแบบ	ความจุ (mAh)		พลังสะสม (Wh)		พลังงานความร้อน (W)	
	D-CC	C-CV	D-CC	C-CV	D-CC	C-CV
1	2,611	2,583	36.21	41.88	6.530	9.081
2	2,602	2,608	36.04	42.11	7.499	9.285
3	2,607	2,597	36.02	42.01	8.256	11.530
4	2,608	2,605	36.18	42.05	6.249	9.361

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายไตรรักษ์ ศรีวิชัย

ชื่อการค้นคว้าอิสระ การศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ขณะใช้งานภายใต้เงื่อนไขความต้านทานภายในแตกต่างกัน

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

ประวัติ

ประถมศึกษา	:	โรงเรียนบ้านสันโค้ง (เชียงรายจรูญราษฎร์)
มัธยมศึกษาตอนต้น	:	โรงเรียนเทศบาล 1 ศรีเกิด
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	:	วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	:	วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย
ปริญญาตรี	:	สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง คณะอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
กำลังศึกษาปริญญาโท	:	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ