



การศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการ
ประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด

นายธีรวัธ ผิวจิตร

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังจากกระบวนการ
ประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลัง
กระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด

โดย นายธีรวัธ ผิวจิตร

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย / หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์)

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

ประธานกรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต้องชนะ ทองทิพย์)

กรรมการ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์)

ชื่อ : นายธีรวิทย์ ธีรจิตร
 ชื่อการค้นคว้าอิสระ : การศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของ
 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดย
 วิธีการเชื่อมจุด
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกลศึกษา
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต้องชนะ ทองทิพย์
 ปีการศึกษา : 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการประกอบแบตเตอรี่โดยใช้วิธีการเชื่อมจุดส่งผลต่อคุณสมบัติคุณภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และตรวจหาค่าอุณหภูมิความร้อนภายหลังกระบวนการเชื่อมจุดส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ผลการวิจัยพบว่าค่าความจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR18650-320 ลดลงจากการทดลองเมื่อเทียบกับมาตรฐานของแบตเตอรี่ แต่เมื่อนำค่าความจุแบตเตอรี่แบบเชื่อมจุดมาเทียบกับค่าความจุแบตเตอรี่ที่ไม่ได้ทำการเชื่อมจุดจะเห็นว่าค่าความจุของแบตเตอรี่มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าค่าที่ความจุของแบตเตอรี่ลดลงอาจเกิดจากคุณภาพประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่เลือกมาทดลอง ไม่ได้เกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมจุดของแบตเตอรี่ ค่าพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR18650-320 ลดลงจากการทดลองเมื่อเทียบกับมาตรฐานของแบตเตอรี่ และเมื่อนำค่าพลังงานแบตเตอรี่แบบเชื่อมจุดมาเทียบกับค่าพลังงานแบตเตอรี่ที่ไม่ได้ทำการเชื่อมจุดจะเห็นว่าค่าพลังงานของแบตเตอรี่มีต่ำกว่า แสดงค่าที่ลดลงความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมจุดของแบตเตอรี่โดยการเชื่อม 2 จุด 4 จุด และ 6 จุด ส่งผลให้การจ่ายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่ลดลงได้จากผลการทดลอง อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการจ่ายประจุและคายประจุที่ 1C และ 1.5C เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิแวดล้อม โดยมีแนวโน้มอุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้นจากการเชื่อมจุด 2 จุด 4 จุด และ 6 จุดตามลำดับ และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่ทำการเชื่อมจุด 6 จุดจะสูงที่สุดของขบวนการจ่ายประจุและอัดประจุที่อัตราการประจุและคายประจุ 1.5C ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่มากกว่าที่อัตรา 1C ซึ่งอาจส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ในระยะยาว ซึ่งจากความร้อนที่เกิดจากการเชื่อมจุดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถในการกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR18650-320 เมื่อเกิดความร้อนที่เกิน 60 °C ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการจ่ายประจุและอัดประจุส่งผลต่อค่าความร้อน

ของแบตเตอรี่ทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความร้อนสะสม ซึ่งอาจนำไปสู่การเสื่อมสภาพของวัสดุภายในและลดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ ในส่วนของการใช้งาน

(มีจำนวนทั้งสิ้น 180 หน้า)

คำสำคัญ : แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR18650, จ่ายประจุ, อัดประจุ, ความจุแบตเตอรี่,
พลังงานแบตเตอรี่

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก



Name : Mr. Thirawut Phiochit
Independent Study Title : Characteristic and thermal effects of lithium-ion
batteries, decisions using spot welding methods.
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

The objectives of this research were to Study the effect of spot welding on the quality characteristics of lithium-ion battery. Investigate the temperature changes after the spot welding process and their impact on the performance of lithium-ion battery. The research findings revealed that the capacity of the INR18650-320 lithium-ion batteries decreased in the experiment compared to the battery standard. However, when comparing the capacity of spot-welded batteries with those that were not spot-welded, the capacity values were similar. This suggests that the reduction in battery capacity might be due to the quality and efficiency of the selected batteries for the experiment, rather than the heat generated from the spot welding process. The energy of the INR18650-320 lithium-ion batteries also decreased in the experiment compared to the battery standard. Furthermore, when comparing the energy of spot-welded batteries with those that were not spot-welded, the energy values of the spot-welded batteries were lower. This indicates that the reduction in energy is likely due to the heat generated during the spot welding of the batteries with 2, 4, and 6 welding points, which affected the charge and discharge capabilities of the battery. The temperature of the batteries during charge and discharge at 1C and 1.5C increased from the ambient temperature. The temperature trend of the batteries increased with 2, 4, and 6 welding points, respectively. The battery with 6 welding points exhibited the

highest temperature during the charge and discharge process at a 1.5C rate. The heat generated within the battery was greater at a 1.5C rate compared to 1C, which may affect the long-term lifespan of the battery. The heat generated from spot welding is a significant factor affecting the energy storage capacity of INR18650-320 lithium-ion batteries. When the temperature exceeds 60 °C, it impacts the charge and discharge efficiency, leading to an increase in battery temperature. However, excessively high temperatures can cause heat accumulation within the battery, potentially leading to the degradation of internal materials and reducing the battery's lifespan. In terms of usage, the English translation is the objectives of this research were to Study the effect of spot welding on the quality characteristics of lithium-ion battery. Investigate the temperature changes after the spot welding process and their impact on the performance of lithium-ion batteries. The research findings revealed that the capacity of the INR18650-320 lithium-ion batteries decreased in the experiment compared to the battery standard. However, when comparing the capacity of spot-welded batteries with those that were not spot-welded, the capacity values were similar. This suggests that the reduction in battery capacity might be due to the quality and efficiency of the selected batteries for the experiment, rather than the heat generated from the spot welding process. The energy of the INR18650-320 lithium-ion batteries also decreased in the experiment compared to the battery standard. Furthermore, when comparing the energy of spot-welded batteries with those that were not spot-welded, the energy values of the spot-welded batteries were lower. This indicates that the reduction in energy is likely due to the heat generated during the spot welding of the batteries with 2, 4, and 6 welding points, which affected the charge and discharge capabilities of the batteries. The temperature of the batteries during charge and discharge at 1C and 1.5C increased from the ambient temperature. The temperature trend of the batteries increased with 2, 4, and 6 welding points, respectively. The battery with 6 welding points exhibited the highest temperature during the charge and discharge process at a 1.5C rate. The heat generated within the battery was greater at a 1.5C

rate compared to 1C, which may affect the long-term lifespan of the battery. The heat generated from spot welding is a significant factor affecting the energy storage capacity of INR18650-320 lithium-ion batteries. When the temperature exceeds 60 °C, it impacts the charge and discharge efficiency, leading to an increase in battery temperature. However, excessively high temperatures can cause heat accumulation within the battery, potentially leading to the degradation of internal materials and reducing the battery's lifespan.

(Total 180 Pages)

Keywords: lithium-ion battery INR18650, Discharge, Charge, Capacity Battery, Energy

Advisor



กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็ด้วยความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือจากผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้มีพระคุณหลายท่านที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ท่านผู้มีพระคุณที่ขอระลึกถึง คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต้องชนะ ทองทิพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อ.ศุภรัตน์ แจ่มสว่าง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและชี้แนะแนวทางที่ถูกต้อง ตั้งแต่เริ่มต้นหัวข้อการวิจัย การวิเคราะห์ผล และอภิปรายผลจนกระทั่งสำเร็จเป็นสารนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยเป็นเกียรติอย่างยิ่งในความกรุณาของท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล ประธานกรรมการสอบสารนิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติวุฒิ ศุภธิวิโรจน์ กรรมการสอบสารนิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงสารนิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ และคณาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกลทุกท่าน รวมทั้งผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำสารนิพนธ์ในครั้งนี้ทั้งให้คำแนะนำเพื่อแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีคุณภาพ และเจ้าหน้าที่ของคณะกรรมการครุศาสตร์อุตสาหกรรมประสานงานและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ แก่ผู้วิจัยเสมอมา นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูล นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำสารนิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารนิพนธ์ฉบับนี้ อาจไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากปราศจากกำลังใจและความช่วยเหลือจากบิดา มารดาและสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่ให้ความช่วยเหลือ ส่งเสริม สนับสนุน และเป็นกำลังใจในการศึกษาด้วยดีตลอดมา คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นสิ่งบูชาพระคุณของบิดา มารดา รวมถึงคุณครู อาจารย์และผู้มีพระคุณของผู้วิจัยทุกท่าน และหวังว่างาน หากมีข้อบกพร่องประการใดในสารนิพนธ์นี้ ผู้วิจัยยินดีน้อมรับคำชี้แนะจากท่านผู้รู้เพื่อปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ต่อไป

ธีรวัธ ผิวจิตร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ.....	๙
สารบัญตาราง.....	๑๑
สารบัญตาราง (ต่อ)	๑๑
สารบัญตาราง (ต่อ)	๑๒
สารบัญตาราง (ต่อ)	๑๓
สารบัญรูปภาพ.....	๑๓
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตในการวิจัย.....	3
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 วิธีกรวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีและเทคโนโลยีแบตเตอรี่	6

2.2 ประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียม	9
2.3 ทฤษฎีและเทคโนโลยีในปัจจุบันหลักการระบายความร้อนของแบตเตอรี่.....	26
2.4 ค่า SOC, DOD ของแบตเตอรี่ลิเทียม	31
2.5 แรงดัน ความต้านทาน และกระแสของแบตเตอรี่ลิเทียม	34
2.6 ทฤษฎีการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ลิเทียม	35
2.7 ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่.....	37
2.8 ผลกระทบของแบตเตอรี่เนื่องจากอุณหภูมิ	38
2.9 การประกอบแบตเตอรี่ลิเทียม	39
2.10 วิธีการประกอบแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า	48
2.11 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger).....	51
2.12 เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester).....	51
2.13 เครื่องวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่.....	52
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	52
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	55
3.1 ศึกษาข้อมูล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	57
3.2 การออกแบบชุดทดลองการหาค่าความร้อนของ แบตเตอรี่ลิเทียม	57
3.3 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ (Heater) เพื่อหาค่า C_p	64
3.5 ดำเนินการทดลองและเก็บผลประสิทธิภาพของแบตเตอรี่	67
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	70
4.1 ดำเนินการทดลองและเก็บผลชุดของการหาค่าความร้อนแบตเตอรี่.....	70
4.2 บันทึกผลการเชื่อมจุดแบตเตอรี่ด้วยแผ่นนิเกิล 1 cell 2 cell และ 3 cell ทำการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะเชื่อมจุดแบตเตอรี่	72
4.3 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่.....	77

4.4 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่.....	83
4.5 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด	89
4.6 การเปรียบเทียบ Q Battery ของแบตเตอรี่.....	95
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	101
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	101
5.2 อภิปรายผล.....	102
5.3 ข้อเสนอแนะ	102
บรรณานุกรม.....	103
ภาคผนวก.....	104
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกผลการทดลองแบตเตอรี่ INR18650-320.....	105
ประวัติผู้เขียน.....	180



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	หน้าที่ขององค์ประกอบในแบตเตอรี่ลิเธียม	8
2-2	ลักษณะของลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์	11
2-3	ลักษณะของลิเธียมแมงกานีสออกไซด์	14
2-4	ลักษณะของลิเธียม निकเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC)	17
2-5	ลักษณะของลิเธียมเหล็กฟอสเฟต	20
2-6	คุณลักษณะของลิเธียม निकเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์	22
2-7	คุณลักษณะของลิเธียมไททาเนต	25
2-8	กฎของโอห์ม (OHM's law)	34
3-1	ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์(Heater)เพื่อหาค่า c_t	64
3-2	ตัวอย่างตารางบันทึกผลดำเนินการทดลองเก็บผลหาค่า CT ถึง Thermostatic chamber	65
3-3	ตัวอย่างตารางบันทึกผล	66
3-4	ตัวอย่างตารางผลการทดลองประสิทธิภาพของแบตเตอรี่	68
4-1	ผลวัดค่าทางไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะเชื่อมจุดแบตเตอรี่ของแบตเตอรี่ 1 Cell	72
4-2	ผลวัดค่าทางไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะเชื่อมจุดแบตเตอรี่ของแบตเตอรี่ 2 Cell	73
4-3	ผลวัดค่าทางไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะเชื่อมจุดแบตเตอรี่ของแบตเตอรี่ 3 Cell	74
4-4	ผลการทดสอบแบตเตอรี่ 1 cell ที่ไม่ทำการ Spot เทียบ Std.	75
4-5	การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 1 Cell	77
4-6	การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 2 Cell	78
4-7	การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 3 Cell	80
4-8	การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 1 Cell	83
4-9	การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 2 Cell	84
4-10	การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 3 Cell	86
4-11	การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell	89
4-12	การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell	90
4-13	การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell	92
4-14	การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell	95
4-15	การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-16	การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell	98
ก-1	บันทึกผลดำเนินการทดลองเก็บผลหาค่า CT ถัง Thermostatic chamber	106
ก-2	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1 C Spot 2 Point	107
ก-3	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1 C Spot 4 Point	109
ก-4	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1 C Spot 6 Point	111
ก-5	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 2 Point	113
ก-6	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 4 Point	115
ก-7	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 6 Point	117
ก-8	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 2 Point	119
ก-9	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 4 Point	121
ก-10	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 6 Point	123
ก-11	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point	125
ก-12	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 4 Point	127
ก-13	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point	129
ก-14	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1 C Spot 2 Point	131
ก-15	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1 C Spot 4 Point	133
ก-16	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1 C Spot 6 Point	135

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก-17	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 2 Point	137
ก-18	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 4 Point	139
ก-19	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 6 Point	141
ก-20	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 2 Point	143
ก-21	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 4 Point	145
ก-22	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 6 Point	147
ก-23	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point	149
ก-24	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 4 Point	151
ก-25	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point	153
ก-26	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1 C Spot 2 Point	155
ก-27	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1 C Spot 4 Point	157
ก-28	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1 C Spot 6 Point	159
ก-29	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 2 Point	161
ก-30	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 4 Point	163
ก-31	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 6 Point	165
ก-32	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 2 Point	167

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก-33	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 4 Point	169
ก-34	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 6 Point	171
ก-35	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point	173
ก-36	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 4 Point	175
ก-37	การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point	177



สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 แผนดำเนินการวิธีการวิจัย	3
2-1 โครงสร้างแบตเตอรี่ลิเทียม a) แบบแท่งกลม	7
2-2 โครงสร้างแบตเตอรี่ลิเทียม b) แบบแท่งเหลี่ยม	7
2-3 โครงสร้างแบตเตอรี่ลิเทียม c) แบบเพาซ์เซลล์	7
2-4 องค์ประกอบของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมและหลักการทำงาน	8
2-5 โครงสร้าง Li-cobalt	9
2-6 แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์	9
2-7 ภาพรวมของแบตเตอรี่ Li-cobalt เฉลี่ย	10
2-8 โครงสร้าง Li-manganese	12
2-9 ภาพรวมของแบตเตอรี่ Li-manganese บริสุทธิ์	13
2-10 แบตเตอรี่ลิเทียมนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์	15
2-11 Snapshot ของ NMC	16
2-12 แบตเตอรี่ลิเทียมเหล็กฟอสเฟต	18
2-13 ภาพรวมของแบตเตอรี่ Li-phosphate ทั่วไป	19
2-14 แบตเตอรี่ลิเทียมนิเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์	21
2-15 Snapshot ของ NCA	22
2-16 แบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนต	23
2-17 ภาพรวมของ Li-titanate	24
2-18 พลังงานเฉพาะของแบตเตอรี่ตะกั่วนิเกิลและลิเทียม	26
2-19 กราฟแรงดันไฟที่ใช้ของแบตเตอรี่	29
2-20 ภาพความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่	30
2-21 การเชื่อมต่อแบบอนุกรมของแบตเตอรี่	40
2-22 การเชื่อมต่อแบบอนุกรมของสี่เซลล์ (4s)	40
2-23 แสดงชุดแบตเตอรี่ที่ "เซลล์ที่ 3" มีแรงดันไฟฟ้าเพียง 2.8V แทนที่จะเป็น 3.6V	41
2-24 การเชื่อมต่อแบบอนุกรมของสี่เซลล์ (4s)	42
2-25 การเชื่อมต่อแบบขนานของแบตเตอรี่	43
2-26 การเชื่อมต่อแบบขนานของสี่เซลล์ (4p)	44
2-27 แสดงการเชื่อมต่อแบบขนานที่มีเซลล์หนึ่งเซลล์ล้มเหลว	44
2-28 การเชื่อมต่อแบบอนุกรม / ขนานของสี่เซลล์ (2s2p)	45
2-29 วิธีการขันน็อต Tighten the bolts & Nuts	48
2-30 วิธีการขันน็อต Tighten the bolts & Nuts	48
2-31 วิธีการบัดกรี soldering	49
2-32 วิธีการประกอบแบตเตอรี่แบบเชื่อมจุด Spot welding	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-33 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ	51
2-34 Battery Tester	51
2-35 เครื่องวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่	52
3-1 แผนการดำเนินงาน	56
3-2 การจัดวางแบตเตอรี่ภายในถัง Thermostatic chamber	57
3-3 รูปแบบการติดตั้งสาย Thermocouple type K ที่ติดกับแบตเตอรี่	57
3-4 รูปแบบวงจรการทดลอง	58
3-5 แบตเตอรี่ Lithium-ion โมเดล INR18650-320	59
3-6 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ Data logger ยี่ห้อ HIOKI รุ่น lr8431-20	59
3-7 Heat sink	60
3-8 Battery Tester	60
3-9 Thermocouple type k	61
3-10 Nickle strip	61
3-11 Mixing Fan and Motor	61
3-12 ถัง Thermostatic chamber	62
3-13 กล้องถ่ายภาพความร้อน Thermal Imaging Camera	62
3-14 เครื่อง Spot แบตเตอรี่ 5000 W	62
4-1 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 1 Cell สถานะ Discharge	77
4-2 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 1 Cell สถานะ Charge	78
4-3 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 2 Cell สถานะ Discharge	79
4-4 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 2 Cell สถานะ Discharge	80
4-5 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 3 Cell สถานะ Discharge	81
4-6 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 3 Cell สถานะ Charge	82
4-7 การเปรียบเทียบแบตเตอรี่ Energy ของแบตเตอรี่ 1 Cell สถานะ discharge	83
4-8 การเปรียบเทียบแบตเตอรี่ Energy ของแบตเตอรี่ 1 Cell สถานะ Charge	84
4-9 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 2 Cell สถานะ discharge	85
4-10 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 2 Cell สถานะ Charge	86
4-11 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 3 Cell สถานะ Discharge	87
4-12 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 3 Cell สถานะ Charge	88
4.13 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell สถานะ Discharge	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-14 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell สถานะ Charge	90
4-15 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell สถานะ Discharge	91
4-16 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell สถานะ Charge	92
4-17 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell สถานะ Discharge	93
4-18 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell สถานะ Charge	94
4-19 การเปรียบเทียบค่าความร้อน ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell สถานะ Discharge	95
4-20 การเปรียบเทียบค่าความร้อน ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell สถานะ Charge	96
4-21 การเปรียบเทียบค่าความร้อน ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell สถานะ Discharge	97
4-22 การเปรียบเทียบค่าความร้อน ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell สถานะ Charge	98
4-23 การเปรียบเทียบค่าความร้อน ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell สถานะ Discharge	99
4-24 การเปรียบเทียบค่าความร้อน ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell สถานะ Discharge	100

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยกำลังก้าวสู่การเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าและชิ้นส่วนที่สำคัญของโลก โดยคณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติ [1] ได้ออกแนวทางการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ตามนโยบาย 30@30 คือ การตั้งเป้าผลิตรถ ZEV (Zero Emission Vehicle) หรือรถยนต์ที่ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ ให้ได้อย่างน้อย 30% ของการผลิตยานยนต์ทั้งหมดในปี ค.ศ. 2030 หรือ พ.ศ. 2573 ถือเป็นอีกหนึ่งกลไกที่จะนำพาประเทศไทยเข้าสู่การเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ (Low-carbon Society) มีการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าและชิ้นส่วน เพื่อให้ไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าและชิ้นส่วน โดยได้มีการกำหนดมาตรฐานให้ครอบคลุมยานยนต์และชิ้นส่วนสำคัญ แผนส่งเสริมผู้ประกอบการรองรับการเปลี่ยนผ่านสู่ยานยนต์ไฟฟ้า และแผนการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบุคลากรและกำลังคน การส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า ทั้งมาตรการทางภาษีและที่ไม่ใช่ภาษี โดยมีมาตรการ Quick win เป็นการส่งเสริมการใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าของธุรกิจขนส่งเชิงพาณิชย์และหน่วยงานรัฐ การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานรองรับยานยนต์ไฟฟ้า ทั้งการส่งเสริมสถานีอัดประจุไฟฟ้า การพัฒนากฎหมายและระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการอัดประจุ และการส่งเสริมเทคโนโลยีสมรรถนะสูง รวมถึงการส่งเสริมให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าและการใช้แบตเตอรี่ที่ผลิตในประเทศ การจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้ว [9] และการพัฒนากำลังคน

ในปัจจุบันประชากรส่วนใหญ่เริ่มหันมาใช้รถยนต์ที่พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ต้นกำลังในการขับเคลื่อนมาจากมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้พลังงานไฟฟ้าชาร์จเก็บในรูปแบบแบตเตอรี่ ซึ่งปัจจุบันแบตเตอรี่นั้นเป็นส่วนประกอบสำคัญในรถยนต์ไฟฟ้า โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 30-40 ของมูลค่ารถยนต์ไฟฟ้า [2] ซึ่งกระแสความต้องการใช้รถยนต์ไฟฟ้ารัฐบาลประเทศไทยด้านการผลักดันให้ความต้องการการใช้รถยนต์ไฟฟ้ามีจำนวนมากขึ้น ทำให้แบตเตอรี่ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยในปัจจุบันแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมนำมาใช้กับรถยนต์ไฟฟ้า [7] ก็คือแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-Ion) ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ประเภทเดียวกับที่ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา คุณสมบัติโดดเด่นของแบตเตอรี่ลิเทียม คือความหนาแน่นพลังงานที่สูง กักเก็บประจุไฟฟ้าได้มาก มีขนาดและน้ำหนักที่น้อยกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรดและแบตเตอรี่นิกเกิล รวมทั้งยังมีอัตราการสูญเสียพลังงานที่ต่ำกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น โดยแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอาจมีส่วนผสมทางเคมีได้หลายรูปแบบ เช่น แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน-ฟอสเฟต (Lithium Iron Phosphate: LFP) และแบตเตอรี่ลิเทียม-นิกเกิล-แมงกานีส-โคบอลต์-ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide: NMC) ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ต่างกันตามการใช้งาน

ซึ่งในการประกอบแบตเตอรี่เป็นปัจจัยหลักในการบอกขนาดรูปทรงพื้นที่ในการจัดวางและค่าความจุมาตรฐานตามที่ได้รับการออกรถยนต์ไฟฟ้ารุ่นนั้นเพื่อให้สอดคล้องเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงผลต่อการประกอบแบตเตอรี่เพื่อให้ได้ตามขนาด

รูปทรงและค่าพลังงานที่ต้องการโดยคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานเป็นหลัก โดยในประกอบนั้น มีหลายวิธี โดยที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี การขึ้นน็อต การบัดกรี และการ Spot welding ซึ่งการ 1) การขึ้นน็อตเป็นอีกวิธีหนึ่งในการเชื่อมต่อเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียม โดยข้อดีของการขึ้นน็อตแบตเตอรี่ลิเทียมมีดังนี้ การขึ้นน็อตให้การเชื่อมต่อที่แข็งแรงและมั่นคง ทำให้การเชื่อมต่อระหว่างเซลล์แบตเตอรี่อยู่ในสภาพดี ไม่หลวมง่ายเมื่อมีการสั่นสะเทือนหรือกระแทก การขึ้นน็อตทำให้การถอดเปลี่ยนเซลล์แบตเตอรี่เป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษหรือการเชื่อมใด ๆ ทำให้ง่ายต่อการซ่อมแซมหรือปรับปรุง การขึ้นน็อตไม่ได้สร้างความร้อนเหมือนการเชื่อมด้วยไฟฟ้า ซึ่งลดความเสี่ยงในการเกิดความร้อนสะสมที่อาจทำให้แบตเตอรี่เสียหาย สามารถปรับแต่งหรือเพิ่มเซลล์แบตเตอรี่ได้ง่าย โดยเพียงแค่คลายน็อตแล้วเพิ่มหรือปรับเซลล์ใหม่ แต่ข้อเสียของการขึ้นน็อต หากน็อตขันไม่แน่นหรือมีการสั่นสะเทือนมาก การเชื่อมต่ออาจหลวม ทำให้เกิดการลัดวงจรหรือการทำงานผิดพลาด การใช้การขึ้นน็อตอาจจำกัดความยืดหยุ่นในการออกแบบการประกอบแบตเตอรี่ เนื่องจากต้องมีพื้นที่สำหรับการติดตั้งน็อตและหมุดยึด ซึ่งอาจไม่เหมาะสำหรับการออกแบบที่มีพื้นที่จำกัด การใช้น็อตและหมุดยึดอาจเพิ่มขนาดและน้ำหนักของการประกอบแบตเตอรี่ ทำให้เป็นเรื่องท้าทายในการออกแบบระบบที่ต้องการความเบาและกะทัดรัด ซึ่งอาจเกิดการกัดกร่อนหรือการเสื่อมสภาพจากการสัมผัสกับสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นหรือการสัมผัสกับสารเคมี ซึ่งอาจลดความทนทานของการเชื่อมต่อ ในบางสภาพแวดล้อมที่รุนแรงหรือการใช้งานที่ต้องการความทนทานสูง การขึ้นน็อตอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากอาจเกิดปัญหาในการยึดติด 2) การประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมด้วยวิธีการบัดกรีเป็นกระบวนการที่ใช้กันวิธีหนึ่ง โดยมีข้อดีคือ การบัดกรีช่วยให้สามารถปรับแต่งการเชื่อมต่อหรือการประกอบแบตเตอรี่ตามความต้องการสำหรับการประกอบเอง แต่ข้อเสียของการบัดกรีแบตเตอรี่ลิเทียมอาจทำให้แบตเตอรี่ร้อนเกินไป ซึ่งสามารถนำไปสู่การระเบิดหรือลุกไหม้ได้หากไม่ทำด้วยความระมัดระวัง การบัดกรีต้องการทักษะและความชำนาญในการทำงาน หากทำไม่ถูกต้อง อาจทำให้การเชื่อมต่อไม่ดีหรือลัดวงจร อาจส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง เนื่องจากความร้อนทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น การบัดกรีสร้างการเชื่อมต่อถาวร ซึ่งทำให้การถอดหรือปรับปรุงแบตเตอรี่ทำได้ยากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ขั้วต่อแบบถอดได้ 3) การ Spot Welding [2] ในการเชื่อมแบตเตอรี่ลิเทียมมีข้อดีหลายประการที่ทำให้เป็นวิธีการที่นิยมใช้ ซึ่งใช้เวลาในการเชื่อมแต่ละจุดเพียงไม่กี่วินาที ทำให้สามารถเชื่อมแบตเตอรี่ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมตำแหน่งและขนาดของจุดเชื่อมได้อย่างแม่นยำ ทำให้การเชื่อมมีคุณภาพสูงและสม่ำเสมอ การ Spot Welding [3] ปลดปล่อยกระแสไฟฟ้าในระยะเวลาสั้น ทำให้เกิดความร้อนสะสมน้อยกว่าการเชื่อมแบบบัดกรี ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงในการทำลายเซลล์แบตเตอรี่ง่าย เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และเหมาะสมสำหรับการเชื่อมแบตเตอรี่ลิเทียม ข้อเสียของการ Spot Welding หากการตั้งค่าเครื่อง Spot Welder ไม่ถูกต้อง เช่น ใช้กระแสไฟฟ้าสูงเกินไปหรือเวลานานเกินไป อาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายภายใน หรือในกรณีร้ายแรงอาจทำให้แบตเตอรี่ระเบิดหรือเกิดไฟไหม้ได้ และหากมีการเชื่อมหลายจุดใกล้กันในระยะเวลานั้นๆ อาจทำให้เกิดความร้อนสะสมที่เป็นอันตรายต่อเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งจากทั้ง 3 วิธี แบตเตอรี่ลิเทียมอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานอยู่ในช่วง $30^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ และไม่ควรเกิน 60°C อาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความร้อนเกินอาจส่งผล

ให้แบตเตอรี่มีอายุสั้นลงและอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ และมีผลต่อค่าความต้านทานของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต่อประสิทธิภาพการชาร์จและการจ่ายไฟลดลง

ดังนั้นจากที่กล่าวมาข้างต้น ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและค้นคว้างานวิจัย ซึ่งได้เห็นว่าบทความวิจัยทางด้านแบตเตอรี่ทางด้านแบตเตอรี่ลิเทียมส่วนใหญ่ๆ เป็นของต่างประเทศ ซึ่งในประเทศไทยนั้นเป็นภูมิภาคที่มีภูมิอากาศที่แตกต่างจากต่างประเทศ อาจทำให้ผลวิจัยอาจมีผลกระทบที่แตกต่างกัน และวิธีการประกอบแบตเตอรี่โดยวิธี spot welding นิยมใช้ในรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากใช้ในแบตเตอรี่ลิเทียมขนาด 18650 ซึ่งเป็นทรงกระบอก ทำให้ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่าควรจะมีการศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด ที่เหมาะสมต่อการประกอบแบตเตอรี่ โดยผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากนักน้อยจากการทำวิจัยในครั้งนี้ในการศึกษาการประกอบแบตเตอรี่โดยการเชื่อม Spot welding

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการประกอบแบตเตอรี่โดยใช้วิธีการเชื่อมจุดส่งผลต่อคุณสมบัติคุณภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

1.2.2 เพื่อตรวจหาค่าอุณหภูมิความร้อนภายหลังกระบวนการเชื่อมจุดส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

1.3 ขอบเขตในการวิจัย

1.3.1 ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650

1.3.2 จัดสร้างชุดระบบควบคุมอุณหภูมิในการทดลอง

1.3.3 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน อยู่ในช่วง 30°C - 40°C ในการทดลอง

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.3.1 ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650

1.3.2 จัดสร้างชุดระบบควบคุมอุณหภูมิในการทดลอง

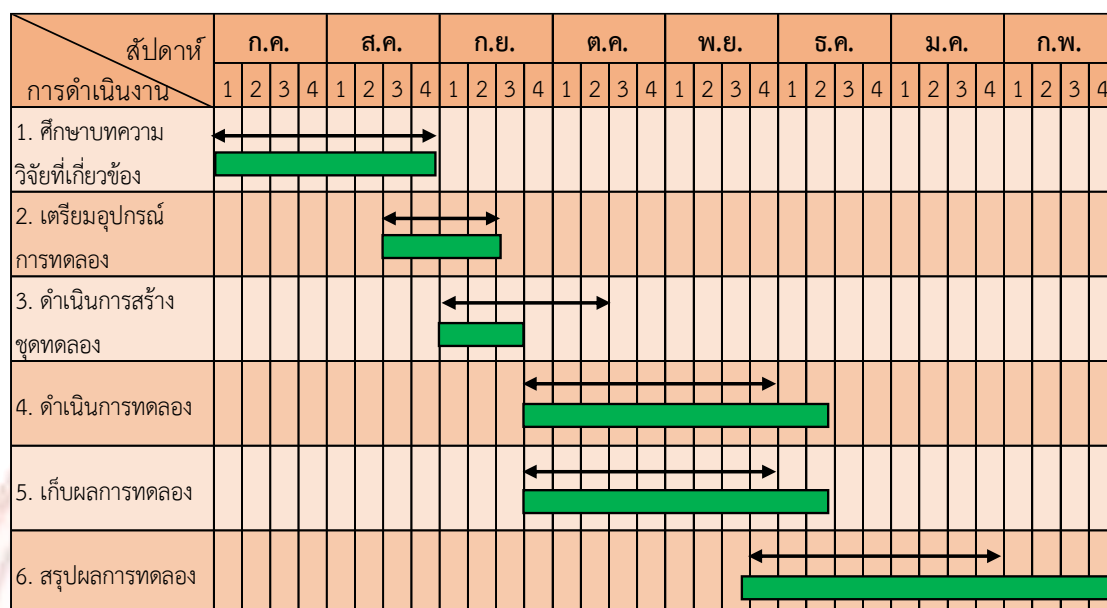
1.3.3 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน อยู่ในช่วง 30°C - 40°C ในการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถเลือกวิธีการประกอบแบตเตอรี่เพื่อที่จะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานได้นานมากยิ่งขึ้น

1.5.2 สามารถเลือกวิธีการประกอบโดยวิธี Spot welding จำนวนจุดเชื่อมให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่

1.6 วิธีการวิจัย



ภาพที่ 1-1 แผนดำเนินการวิธีการวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

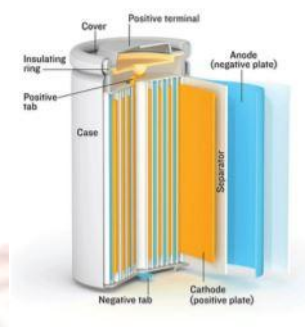
การทำสารนิพนธ์ครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุดผู้จัดทำสารนิพนธ์ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งขั้นตอนดังนี้

- 2.1 ทฤษฎีและเทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเทียม
- 2.2 ประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียม
- 2.3 ทฤษฎีและเทคโนโลยีในปัจจุบันหลักการระบายความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียม
- 2.4 ค่า SOC, DOD ของแบตเตอรี่ลิเทียม
- 2.5 แรงดัน ความต้านทาน และกระแสของแบตเตอรี่ลิเทียม
- 2.6 ทฤษฎีการชาร์จและดิสชาร์จแบตเตอรี่
- 2.7 ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่
- 2.8 ผลกระทบของแบตเตอรี่เนื่องจากอุณหภูมิ
- 2.9 วงจรในการประกอบแบตเตอรี่ลิเทียม
- 2.10 วิธีการประกอบแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า
- 2.11 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger)
- 2.12 เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester)
- 2.13 เครื่องวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่
- 2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและเทคโนโลยีแบตเตอรี่

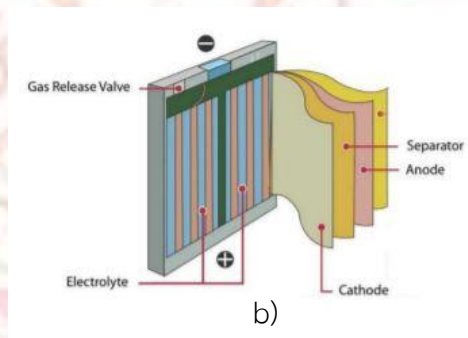
โดยทั่วไป แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม จะประกอบไปด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี (electrochemical cell) ที่ประกอบไปด้วยโครงสร้าง 3 ชั้น ที่ถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุหุ้ม (case) ดังแสดงในภาพที่ 2-3 โครงสร้างหลัก 3 ชั้น ประกอบไปด้วย แผ่น วัสดุแคโทด (อิเล็กโทรดขั้วบวก) แผ่นวัสดุแอโนด (อิเล็กโทรดขั้วลบ) อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งเป็นตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายเกลือของลิเทียม โดยมีแผ่นวัสดุเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (microporous membrane) แยกขั้วทั้งสองออกจากกัน (separator) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจร เซลล์ไฟฟ้าเคมีนี้ถูกประกอบเข้าด้วยกันในกรอบโลหะ (metal case) หรือวัสดุห่อหุ้มอื่น เช่น พลาสติก ตารางที่ 2-1 อธิบายหน้าที่ และประเภทขององค์ประกอบ โดยแต่ละประเภทจะมีรูปแบบการจัดวางของเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิด ของแบตเตอรี่ มีทั้งประเภทที่ประจุไฟใหม่ได้ (rechargeable) และประจุไฟใหม่ไม่ได้ (non-rechargeable) ขั้วอิเล็กโทรดบวก หรือแคโทดจะประกอบไปด้วยสารประกอบลิเทียม ส่วนมากจะเป็นสารประกอบลิเทียมเมทัลออกไซด์ (lithium-metal-oxide) เช่น ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ และลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ เป็นต้น สารประกอบลิเทียมชนิดอื่น ๆ เช่น ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตและลิเทียมไททาเนต เป็นต้น ดังภาพที่ 2-4 ส่วนวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นขั้วแอโนด คือ คาร์บอนชนิดต่างๆ ได้แก่ แกรไฟต์ (graphite) คาร์บอนแข็ง (hard carbon) หรือ แกรฟีน (graphene) นอกจากนี้ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เป็นสารประกอบของ เกลือของลิเทียม ซึ่งจะละลายอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น lithium hexafluorophosphate (LiPF_6) lithium perchlorate (LiClO_4) และ lithium hexafluoro arsenate (LiAsF_6) เป็นต้น ดังตารางที่ 2-1

สรุปหน้าที่ขององค์ประกอบต่างๆ ในแบตเตอรี่ลิเทียม [16-18] ในส่วนของวัสดุหุ้มอาจทำจากโลหะ เช่น อะลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม หรือเป็นชั้นฟิล์มของอะลูมิเนียม-พลาสติก ส่วนแผ่นแยกหรือวัสดุเมมเบรน อาจทำมาจากโพลีพรพิลีน หรือโพลีเอทิลีน เป็นต้น ดังภาพที่ 2-3 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้าง ภายในของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดแท่งกลม – cylindrical แบตเตอรี่ชนิดแท่งเหลี่ยมที่มีวัสดุหุ้มแข็ง prismatic hard case และแบตเตอรี่ชนิดพอนช์เซลล์ pouch cell หรือแบบกระเปาะเหลี่ยมและมีวัสดุหุ้มเป็น อะลูมิเนียมแผ่นฟอยล์ และพลาสติกซึ่งมีความยืดหยุ่นกว่า แบตเตอรี่ 2 ชนิดแรกจะมีแผ่นขั้วอิเล็กโทรดสลับกัน ไปมาวนแบบเจลลี่โรล (jellyroll) ส่วนแบตเตอรี่แบบพาช์เซลล์จะเป็นการประกบแผ่นวัสดุขั้วอิเล็กโทรดแบบ แซนวิช (sandwich) [12]



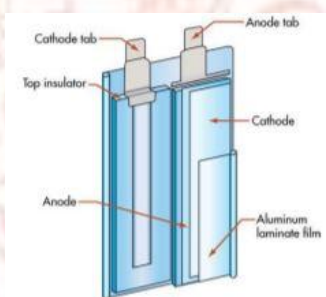
a)

ภาพที่ 2-1 โครงสร้างแบตเตอรี่ลิเธียม a) แบบแท่งกลม [12]



b)

ภาพที่ 2-2 โครงสร้างแบตเตอรี่ลิเธียม b) แบบแท่งเหลี่ยม [12]



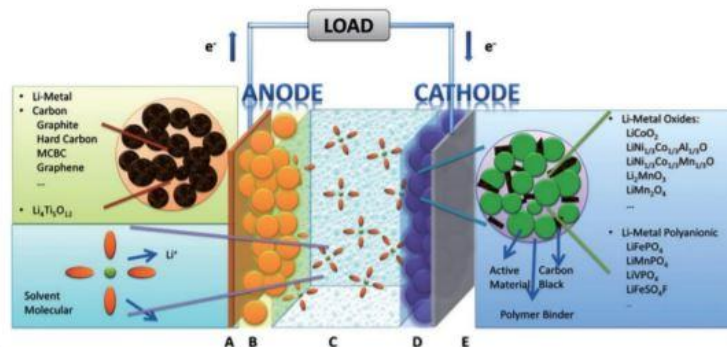
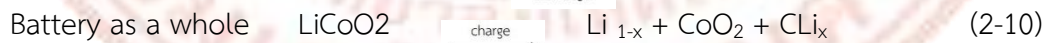
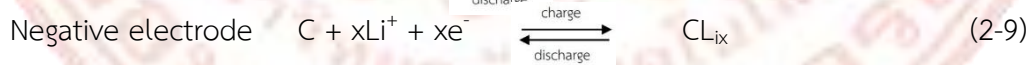
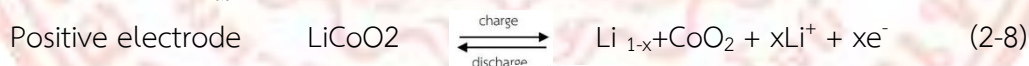
c)

ภาพที่ 2-3 โครงสร้างแบตเตอรี่ลิเธียม c) แบบเพาซ์เซลล์ [12]

ตารางที่ 2-1 หน้าที่ขององค์ประกอบในแบตเตอรี่ลิเทียม [12]

องค์ประกอบ	หน้าที่	วัสดุ
แคโทด	-ปล่อยไอออนของลิเทียมไปยังขั้วแอโนดระหว่าง การคายประจุ -รับไอออนของลิเทียมระหว่างการประจุไฟฟ้าใหม่	ลิเทียมเมทัลออกไซด์/ สารประกอบลิเทียม
แอโนด	-รับไอออนของลิเทียมจากแคโทดระหว่างการคาย ประจุ -ปล่อยไอออนของลิเทียมระหว่างการประจุไฟฟ้า ใหม่	แกรไฟต์สารละลาย/ คาร์บอน/กราฟีน
อิเล็กโทรไลต์	-เป็นตัวกลางให้อิออนของลิเทียมเคลื่อนที่ผ่าน ระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนด	เกลือของลิเทียม/สารละลาย อินทรีย์
แผ่นแยก	-ป้องกันการลัดวงจรระหว่างขั้วแคโทดและ ขั้วแอโนด -ให้อิออนของลิเทียมเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนของตัว เนื้อวัสดุ	โพลีพรพิลีน/โพลีเอทิลีน
ตัวเชื่อมต่อ	-เหนี่ยวนำอิเล็กตรอนไปยังแคโทดและจาก แอโนด	ทองแดง/อะลูมิเนียม

แบตเตอรี่ลิเทียมมีหลักการทำงาน คือ ไอออนของลิเทียมจะเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดไปยังแคโทด ระหว่างการคายประจุ (discharge) ซึ่งทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า และจะเคลื่อนที่กลับในทางตรงข้ามเมื่อมีการ ประจุไฟฟ้าใหม่ (charging) ด้วยหลักการดังกล่าวจึงสามารถให้กระแสไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ เคมีไฟฟ้าดังสมการแสดงด้านล่าง



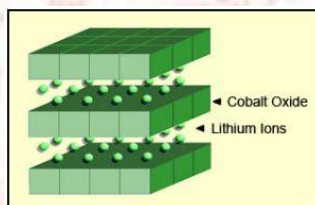
ภาพที่ 2-4 องค์ประกอบของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมและหลักการทำงาน [12]

2.2 ประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียม

แบตเตอรี่ลิเทียมมีหลายประเภทที่ถูกพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ โดยมีการปรับปรุงเคมีของขั้วแอโนดและแคโทดเพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการ เช่น ความจุพลังงาน ความปลอดภัย อายุการใช้งาน และความสามารถในการชาร์จเร็ว ต่อไปนี้เป็นประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียมที่พบได้บ่อย

2.2.1. แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Cobalt Oxide - LCO)

พลังงานเฉพาะสูงทำให้ Li-cobalt เป็นตัวเลือกยอดนิยมสำหรับโทรศัพท์มือถือแล็ปท็อปและกล้องดิจิทัล แบตเตอรี่ประกอบด้วยแคโทดโคบอลต์ออกไซด์และขั้วบวกของคาร์บอนกราไฟท์ แคโทดมีโครงสร้างเป็นชั้น ๆ และในระหว่างการคายประจุลิเทียมไอออนจะย้ายจากขั้วบวกไปยังแคโทด การไหลย้อนกลับเมื่อประจุ ช้อเสียของ Li-cobalt คืออายุการใช้งานที่ค่อนข้างสั้น เสถียรภาพทางความร้อนต่ำและความสามารถในการรับน้ำหนักที่ จำกัด (พลังงานเฉพาะ) ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้าง



ภาพที่ 2-5 โครงสร้าง Li-cobalt

แคโทดมีโครงสร้างเป็นชั้น ในระหว่างที่คายประจุไอออนลิเทียมจะเคลื่อนที่จากขั้วบวกไปยังแคโทด ในการชาร์จกระแสจากแคโทดไปยังขั้วบวก



ภาพที่ 2-6 แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ LCO

1. ขั้วแคโทด (Cathode) โคบอลต์ออกไซด์ (CoO_2)
2. ขั้วแอโนด (Anode) กราไฟท์ (Graphite)
3. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สารละลายเกลือของลิเทียม เช่น ลิเทียมเฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต (LiPF_6)

ข้อดีของแบตเตอรี่ LCO

1. ความหนาแน่นพลังงานสูง แบตเตอรี่ LCO มีความสามารถในการเก็บพลังงานสูงเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมประเภทอื่น ทำให้สามารถใช้งานในอุปกรณ์ที่ต้องการพลังงานมากในขนาดเล็ก
2. ประสิทธิภาพการทำงานดี แบตเตอรี่ LCO มีแรงดันไฟฟ้าสูง (ประมาณ 3.7 โวลต์ต่อเซลล์) ทำให้สามารถจ่ายพลังงานได้อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ

ข้อเสียของแบตเตอรี่ LCO

1. ความปลอดภัยต่ำกว่า แบตเตอรี่ LCO มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้หรือระเบิดหากถูกชาร์จหรือใช้งานผิดวิธี หรือเมื่อเกิดการลัดวงจร
2. อายุการใช้งานสั้นกว่า แบตเตอรี่ LCO มักมีจำนวนรอบการชาร์จและคายประจุ (Cycle Life) ที่น้อยกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมประเภทอื่น ทำให้ต้องเปลี่ยนบ่อยกว่า
3. ต้นทุนสูง เนื่องจากการใช้โคบอลต์ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีราคาสูงและหาได้ยาก ทำให้แบตเตอรี่ LCO มีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าแบตเตอรี่ประเภทอื่น

การใช้งานของแบตเตอรี่ LCO

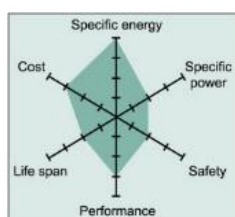
แบตเตอรี่ LCO ถูกใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการความหนาแน่นพลังงานสูงและน้ำหนักเบา เช่น:

1. สมาร์ทโฟน
2. แล็ปท็อป
3. กล้องดิจิทัล
4. แท็บเล็ต
5. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาอื่น ๆ

ข้อควรระวังในการใช้งาน

1. หลีกเลี่ยงการชาร์จแบตเตอรี่เกินขนาดหรือใช้งานในอุณหภูมิที่สูงเกินไป
2. ใช้อุปกรณ์ชาร์จที่ได้มาตรฐานและเหมาะสมกับแบตเตอรี่
3. เก็บแบตเตอรี่ในที่ที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสมและไม่ชื้น

รูปแมงมุมหกเหลี่ยม (ภาพที่ 2-7) สรุปประสิทธิภาพของ Li-cobalt ในแง่ของ พลังงาน หรือความสามารถ เฉพาะ ที่เกี่ยวข้องกับรีนใหม่ พลังงานเฉพาะ หรือความสามารถในการส่งกระแสสูง ความปลอดภัย ประสิทธิภาพ ที่อุณหภูมิร้อนและเย็น ช่วงชีวิตที่ สะท้อนวงจรชีวิตและอายุยืน และ ค่าใช้จ่าย ลักษณะอื่น ๆ ที่น่าสนใจที่ไม่ได้แสดงในใยแมงมุมคือความเป็นพิษความสามารถในการชาร์จอย่างรวดเร็วการปลดปล่อยตัวเองและอายุการเก็บรักษา



ภาพที่ 2-7 ภาพรวมของแบตเตอรี่ Li-cobalt เฉลี่ย

Li-cobalt มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่เฉพาะเจาะจง แต่ให้พลังงานที่มีประสิทธิภาพ ความปลอดภัยและอายุการใช้งานที่พอเหมาะ

แบตเตอรี่ LCO เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับอุปกรณ์พกพาที่ต้องการความจุพลังงานสูงในขนาดเล็ก แต่การใช้งานต้องการการดูแลอย่างเหมาะสมเพื่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพสูงสุด

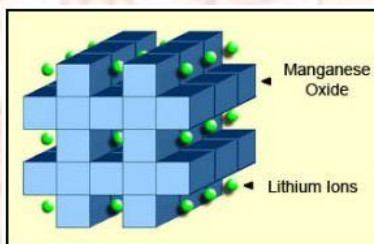
ตารางที่ 2-2 ลักษณะของลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์

ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์: LiCoO_2 แคโทด (~ 60% Co), ขั้วบวกไฟฟ้ แบบสั้น: LCO หรือ Li-cobalt ตั้งแต่พ. ศ. 2534	
แรงดันไฟฟ้า	3.60V เล็กน้อย; ช่วงการทำงานทั่วไป 3.0–4.2V / เซลล์
พลังงานเฉพาะ (ความจุ)	150-200Wh / กก. เซลล์พิเศษให้สูงถึง 240Wh / kg
ค่าใช้จ่าย (อัตรา C)	0.7–1C, ชาร์จได้ถึง 4.20V (เซลล์ส่วนใหญ่); ชาร์จ 3 ชั่วโมงโดยทั่วไป ชาร์จกระแสไฟฟ้าที่สูงกว่า 1C ทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่สั้นลง
ปล่อย (อัตรา C)	1C; 2.50V ตัด ปล่อยกระแสไฟฟ้าที่สูงกว่า 1C จะทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่สั้นลง
วงจรชีวิต	500–1000 เกี่ยวข้องกับความลึกของการไหลเวียนของอิเล็กตรอน
ความร้อนควบคุมไม่	150 ° C (302 ° F) ค่าใช้จ่ายเต็มส่งเสริมการระบายความร้อน
การประยุกต์ใช้งาน	โทรศัพท์มือถือแท็บเล็ตแล็ปท็อปกล้อง
ความคิดเห็น	พลังงานจำเพาะสูงมากพลังงานเฉพาะ จำกัด โคบอลต์มีราคาแพง ทำหน้าที่เป็นเซลล์พลังงาน ส่วนแบ่งการตลาดมีความเสถียร

2.2.2. แบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (Lithium Manganese Oxide - LMO)

Li-ion กับ spinel แมงกานีสได้รับการตีพิมพ์เป็นครั้งแรกใน *Materials Research Bulletin* ในปี 1983 ในปี 1996 Moli Energy ได้ทำการผลิตเซลล์ Li-ion ที่มีลิเทียมแมงกานีสออกไซด์เป็นวัสดุแคโทด สถาปัตยกรรมก่อให้เกิดโครงสร้างสปีเนลสามมิติที่ช่วยเพิ่มการไหลของไอออนบนอิเล็กโทรดซึ่งส่งผลให้ความต้านทานภายในลดลงและปรับปรุงการจัดการกระแสไฟฟ้า ข้อดีอีกอย่างของสปีเนลคือเสถียรภาพทางความร้อนสูงและเพิ่มความปลอดภัย แต่วางจรชีวิตและปฏิทินมีจำกัด

ความต้านทานของเซลล์ภายในต่ำช่วยให้การชาร์จอย่างรวดเร็วและการจ่ายกระแสสูง ในแพ็คเกจ 18650 Li-manganese สามารถถูกปลดปล่อยที่กระแส 20-30A ด้วยการสะสมความร้อนปานกลาง นอกจากนี้ยังสามารถใช้พัลส์โหลดหนึ่งวินาทีสูงสุด 50A ภาระที่สูงอย่างต่อเนื่องที่กระแสนี้จะทำให้เกิดความร้อนสะสมและอุณหภูมิของเซลล์จะต้องไม่เกิน 80 ° C (176 ° F) Li-manganese ใช้สำหรับเครื่องมือไฟฟ้าเครื่องมือทางการแพทย์รวมถึงรถยนต์ไฮบริดและยานพาหนะไฟฟ้า ภาพที่ 2-8 แสดงการก่อตัวของกรอบผลึกสามมิติบนแคโทดของแบตเตอรี่ Li-manganese โครงสร้าง Spinel นี้ซึ่งมักจะประกอบด้วยรูปทรงเพชรที่เชื่อมต่อกับตาข่ายปรากฏขึ้นหลังจากการก่อตัวเริ่มต้น



ภาพที่ 2-8 โครงสร้าง Li-manganese การก่อผลึกแคโทดของลิเทียมแมงกานีสออกไซด์มีโครงสร้างกรอบสามมิติที่ปรากฏขึ้นหลังจากการก่อตัวครั้งแรก

ครั้งแรก Spinel ให้ความต้านทานต่ำ แต่มีพลังงานเฉพาะปานกลางมากกว่าโคบอลต์ การวิจัย Li-ion นั้นมุ่งเน้นไปที่การรวม Li-manganese เข้ากับโคบอลต์นิเกิลแมงกานีสและ / หรืออลูมิเนียมเป็นวัสดุแคโทดที่ใช้กันอยู่ ในสถาปัตยกรรมบางชนิดซิลิคอนจำนวนเล็กน้อยจะถูกเพิ่มเข้าไปในขั้วบวก นี่เป็นการเพิ่มกำลังการผลิต 25 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามอัตราขยายจะสัมพันธ์กับอายุการใช้งานที่สั้นลงเมื่อซิลิคอนเติบโตและหดตัวด้วยประจุและคายประจุทำให้เกิดความเครียดเชิงกล

โลหะแอคทีฟทั้งสามนี้รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของซิลิคอนสามารถเลือกเพื่อเพิ่มพลังงานเฉพาะ (ความจุ) พลังงานเฉพาะหรืออายุการใช้งานที่ยืนยาว ในขณะที่แบตเตอรี่สำหรับผู้บริโภคมีความจุสูงแอปพลิเคชันอุตสาหกรรมต้องการระบบแบตเตอรี่ที่มีความสามารถในการโหลดที่ดีส่งมอบอายุการใช้งานที่ยาวนานและให้บริการที่ปลอดภัยและเชื่อถือได้

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ LMO

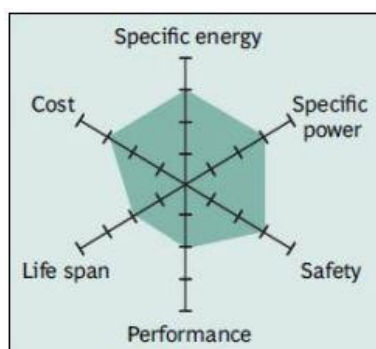
1. ขั้วแคโทด (Cathode) แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2)
2. ขั้วแอโนด (Anode) กราไฟต์ (Graphite)

3. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สารละลายเกลือของลิเทียม เช่น ลิเทียมเฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต (LiPF_6)

ข้อดีของแบตเตอรี่ LMO

1. ความปลอดภัยสูง แบตเตอรี่ LMO มีโครงสร้างที่มีเสถียรภาพทางเคมี ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้หรือระเบิดต่ำกว่าแบตเตอรี่ประเภทอื่น
2. อัตราการคายประจุสูง สามารถจ่ายพลังงานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ทำให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องการพลังงานสูงในช่วงเวลาสั้น
3. ต้นทุนต่ำกว่า แมงกานีสเป็นวัสดุที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย ทำให้แบตเตอรี่ LMO มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า

ภาพที่ 2-9 แสดงใยแมงมุมของแบตเตอรี่ Li-manganese ทั่วไป ลักษณะที่ปรากฏเล็กน้อย แต่การออกแบบใหม่ได้รับการปรับปรุงในแง่ของพลังงานความปลอดภัยและช่วงชีวิตที่เฉพาะเจาะจง แบตเตอรี่ Li-manganese ที่บริษัทไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบันอีกต่อไป อาจใช้สำหรับแอปพลิเคชันพิเศษเท่านั้น



ภาพที่ 2-9 ภาพรวมของแบตเตอรี่ Li-manganese บริษัท

แม้ว่าประสิทธิภาพโดยรวมจะปานกลาง แต่การออกแบบใหม่ของ Li-manganese นำเสนอการปรับปรุงด้านพลังงานความปลอดภัยและอายุการใช้งานที่เฉพาะเจาะจง

ตารางที่ 2-3 ลักษณะของลิเทียมแมงกานีสออกไซด์

ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์: LiMn_2O_4 แคโทด ขั้วบวกของกราไฟท์ แบบสั้น: LMO หรือ Li-manganese (โครงสร้าง spinel) ตั้งแต่ปี 1996	
แรงดันไฟฟ้า	3.70V (3.80V) เล็กน้อย; ช่วงการทำงานทั่วไป 3.0–4.2V / เซลล์
พลังงานเฉพาะ (ความจุ)	100-150Wh / กก.
ค่าใช้จ่าย (อัตรา C)	ทั่วไป 0.7–1C, สูงสุด 3C, ชาร์จได้ถึง 4.20V (เซลล์ส่วนใหญ่)
ปล่อย (อัตรา C)	1C; 10C เป็นไปได้กับบางเซลล์ 30C พัลส์ (5s), 2.50V ตัด
วงจรชีวิต	300–700 (เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงของการไหลอุณหภูมิ)
ความร้อนควบคุมไม่	ทั่วไป 250 ° C (482 ° F) ค่าใช้จ่ายสูงส่งเสริมการระบายความร้อน
การประยุกต์ใช้งาน	เครื่องมือไฟฟ้า, อุปกรณ์ทางการแพทย์, ระบบส่งกำลังไฟฟ้า
ความคิดเห็น	พลังงานสูง แต่ความจุน้อยกว่า ปลอดภัยกว่า Li-cobalt ผสมกันโดยทั่วไปกับ NMC เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ

2.2.3. แบตเตอรี่ลิเทียมนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel

Manganese Cobalt Oxide - NMC)

หนึ่งในระบบ Li-ion ที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดคือการผสมผสานแคโทดของนิเกิล - แมงกานีส - โคบอลต์ (NMC) เช่นเดียวกับ Li-manganese ระบบเหล่านี้สามารถปรับให้เหมาะสมกับการใช้งาน เป็น เซลล์พลังงาน หรือ เซลล์พลังงาน ตัวอย่างเช่น NMC ในเซลล์ 18650 สำหรับสถานะ โหลดปานกลางมีความจุประมาณ 2,800mAh และสามารถส่งมอบ 4A ถึง 5A NMC ในเซลล์เดียวกันได้รับการปรับให้เหมาะสมกับกำลังงานเฉพาะมีความจุเพียง 2,000mAh แต่ให้การปล่อยกระแสอย่างต่อเนื่องที่ 20A ขั้วบวกที่ใช้ซิลิกอนจะไปที่ 4,000mAh และสูงกว่า แต่ที่ ความสามารถในการ โหลดลดลง และอายุการใช้งานที่สั้นลง ซิลิกอนที่เติมลงในกราไฟต์นั้นมีข้อเสียเปรียบที่ขั้วบวกจะเติบโตและหดตัวด้วยประจุและคายประจุทำให้เซลล์ไม่เสถียรทางกลไก



ภาพที่ 2-10 แบตเตอรี่ลิเทียมนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์

ความลับของ NMC อยู่ที่การรวมนิเกิลและแมงกานีส การเปรียบเทียบนี้เป็นเกลือแกงที่ส่วนผสมหลักโซเดียมและคลอไรด์เป็นพิษของพวกเขาเอง แต่การผสมพวกเขาทำหน้าที่เป็นเกลือปรุงรสและสารกันบูดอาหาร นิเกิลมีชื่อเสียงในด้านพลังงานจำเพาะสูง แต่มีความเสถียรต่ำ แมงกานีสมีประโยชน์ในการสร้างโครงสร้างสปิเนลเพื่อให้ได้ความต้านทานภายในต่ำ แต่ให้พลังงานต่ำ การรวมโลหะช่วยเพิ่มความแข็งแกร่งซึ่งกันและกัน

NMC เป็นแบตเตอรี่ตัวเลือกสำหรับเครื่องมือไฟฟ้าอีจกรยานและระบบส่งกำลังไฟฟ้าอื่นๆ โดยทั่วไปแล้วการรวมกันของแคโทดคือนิกเกิลหนึ่งในสามแมงกานีสหนึ่งในสามและโคบอลต์หนึ่งในสามหรือที่รู้จักกันในชื่อ 1-1-1 สิ่งนี้แนะนำการผสมผสานที่เป็นเอกลักษณ์ที่ช่วยลดต้นทุนวัตถุดิบเนื่องจากปริมาณโคบอลต์ลดลง การผสมผสานที่ประสบความสำเร็จอีกอย่างหนึ่งคือ NCM พร้อมนิเกิล 5 ส่วนโคบอลต์ 3 ส่วนและแมงกานีส 2 ส่วน (5-3-2) การผสมอื่น ๆ โดยใช้วัสดุแคโทดในปริมาณต่าง ๆ เป็นไปได้

ผู้ผลิตแบตเตอรี่ขยับออกห่างจากระบบโคบอลต์ไปทางแคโทดนิเกิลเนื่องจากโคบอลต์มีราคาสูง ระบบที่ใช้นิเกิลมีความหนาแน่นของพลังงานสูงกว่าต้นทุนที่ต่ำกว่าและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าเซลล์ที่มีโคบอลต์ แต่มีแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่าเล็กน้อย

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ NMC

1. ขั้วแคโทด (Cathode) นิเกิล (Nickel), แมงกานีส (Manganese), โคบอลต์ (Cobalt) ออกไซด์ (Oxide)
2. ขั้วแอโนด (Anode) กราไฟต์ (Graphite)
3. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สารละลายเกลือของลิเทียม เช่น ลิเทียมเฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต (LiPF₆)

คุณสมบัติและการใช้งานของแบตเตอรี่ NMC

1. ความปลอดภัยสูง NMC เป็นที่นิยมเนื่องจากมีความปลอดภัยสูงกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (LCO) และมีความเสถียรภาพทางเคมีที่ดี
2. ประสิทธิภาพการทำงานดี มีประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานสูง และสามารถทนทานต่อการใช้งานในอุณหภูมิสูงได้ดี

3. อายุการใช้งาน มีรอบการชาร์จและคายประจุ (Cycle Life) ที่ยาวนานกว่าแบตเตอรี่ LCO และ LMO
4. ความหนาแน่นพลังงาน มีความหนาแน่นพลังงานสูง ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์ที่ต้องการพลังงานมากในขนาดเล็ก

การใช้งานของแบตเตอรี่ NMC

แบตเตอรี่ NMC มักถูกใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงาน อาทิ

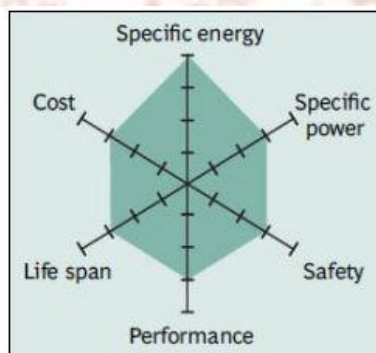
1. รถยนต์ไฟฟ้า
2. รถจักรยานไฟฟ้า
3. สมาร์ทโฟน
4. แท็บเล็ต
5. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพาอื่น ๆ

ข้อควรระวังในการใช้งาน

1. หลีกเลี่ยงการชาร์จแบตเตอรี่เกินขนาดหรือใช้งานในอุณหภูมิที่สูงเกินไป
2. ใช้อุปกรณ์ชาร์จที่ได้มาตรฐานและเหมาะสมกับแบตเตอรี่
3. เก็บแบตเตอรี่ในที่ที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสมและไม่ชื้น

แบตเตอรี่ NMC เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการใช้งานที่ต้องการความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานสูง โดยมีประสิทธิภาพการทำงานและอายุการใช้งานที่ดี

อิเล็กทรอนิกส์และสารเติมแต่งใหม่เปิดใช้งานการชาร์จเป็น 4.4V / เซลล์และสูงกว่าเพื่อเพิ่มความจุ ภาพที่ 2-11 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของ NMC



ภาพที่ 2-11 Snapshot ของ NMC

NMC มีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีและเป็นเลิศด้านพลังงานเฉพาะ แบตเตอรี่นี้เป็นตัวเลือกที่ต้องการสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าและมีอัตราความร้อนต่ำที่สุด

มีการย้ายไปสู่ Li-ion ที่ผสม NMC เนื่องจากสามารถสร้างระบบได้อย่างประหยัดและให้ประสิทธิภาพที่ดี วัสดุที่ใช้งานทั้งสามของนิเกิล, แมงกานีสและโคบอลต์สามารถผสมได้อย่างง่ายดายเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานที่หลากหลายสำหรับยานยนต์และระบบเก็บพลังงาน (EES) ที่ต้องการการปั่นจักรยานบ่อยๆ ครอบคลุม NMC กำลังเติบโตในความหลากหลาย

ตารางที่ 2-4 ลักษณะของลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC)

ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์: LiNiMnCoO_2 แคโทด แบบสั้น: NMC (NCM, CMN, CNM, MNC, MCN คล้ายกับชุดโลหะที่แตกต่าง) ตั้งแต่ปี 2008	
แรงดันไฟฟ้า	3.60V, 3.70V เล็กน้อย; ช่วงการทำงานทั่วไป 3.0–4.2V / เซลล์ หรือสูงกว่า
พลังงานเฉพาะ (ความจุ)	150-220Wh / กก.
ค่าใช้จ่าย (อัตรา C)	0.7–1C, ค่าใช้จ่าย 4.20V, บางส่วนไปที่ 4.30V; ชาร์จ 3 ชั่วโมง โดยทั่วไป ชาร์จกระแสไฟฟ้าที่สูงกว่า 1C ทำให้อายุการใช้งาน แบตเตอรี่สั้นลง
ปล่อย (อัตรา C)	1C; 2C เป็นไปได้ในบางเซลล์ 2.50V ตัด
วงจรชีวิต	1,000–2000 (เกี่ยวข้องกับความลึกของการไหลอุณหภูมิ)
ความร้อนควบคุมไม่	โดยทั่วไป 210 ° C (410 ° F) ค่าใช้จ่ายสูงส่งเสริมการระบายความร้อน
ราคา	ประมาณ \$ 420 ต่อ kWh (ที่มา: RWTH, Aachen)
การประยุกต์ใช้งาน	E-bikes อุปกรณ์การแพทย์ EVs อุตสาหกรรม
ความคิดเห็น	ให้กำลังการผลิตสูงและพลังงานสูง ทำหน้าที่เป็นเซลล์ไฮบริด เคมีที่ ขึ้นชอบสำหรับการใช้งานหลายอย่าง ส่วนแบ่งการตลาดเพิ่มขึ้น

2.2.4. แบตเตอรี่ลิเทียมเหล็กฟอสเฟต (Lithium Iron Phosphate - LFP)

ในปี 1996 มหาวิทยาลัยเท็กซัส (และผู้สนับสนุนคนอื่น ๆ) ค้นพบฟอสเฟตเป็นวัสดุแคโทด สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมที่ชาร์จไฟได้ Li-phosphate ให้ประสิทธิภาพทางเคมีไฟฟ้าที่ดีและมีความต้านทานต่ำ สิ่งนี้เกิดขึ้นได้ด้วยวัสดุแคโทดฟอสเฟตระดับนาโน ประโยชน์ที่สำคัญคือการจัดอันดับในปัจจุบันสูงและมีอายุการใช้งานยาวนานนอกจากความเสถียรทางความร้อนที่ดีเพิ่มความปลอดภัยและความทนทานหากถูกทำร้าย



ภาพที่ 2-12 แบตเตอรี่ลิเทียมเหล็กฟอสเฟต

Li-phosphate นั้นทนทานต่อ เงื่อนไขการชาร์จ เต็ม และเคียดน้อยกว่าระบบลิเทียมไอออนอื่น ๆ หากเก็บไว้ที่แรงดันสูงเป็นเวลานาน (ดู BU-808: วิธียืดอายุแบตเตอรี่ที่ใช้แบตเตอรี่ลิเทียม) ในฐานะที่เป็นทางเลือกเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่าปกติของ 3.2V / เซลล์จะช่วยลดพลังงานเฉพาะด้านล่างของลิเทียมไอออนผสมโคบอลต์ ด้วยแบตเตอรี่ส่วนใหญ่อุณหภูมิความเย็นจะลดประสิทธิภาพและอุณหภูมิในการเก็บสูงขึ้นทำให้อายุการใช้งานสั้นลงและ Li-phosphate ก็ไม่มีข้อยกเว้น Li-phosphate มีการปลดปล่อยตัวเองสูงกว่าแบตเตอรี่ Li-ion อื่น ๆ ซึ่งสามารถทำให้เกิดปัญหาเรื่องความสมดุลเมื่ออายุมากขึ้น สิ่งนี้สามารถลดลงได้โดยการซื้อเซลล์คุณภาพสูงและ / หรือใช้อุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนซึ่งทั้งสองอย่างนี้จะเพิ่มต้นทุนของแพ็ค ความสะอาดในการผลิตมีความสำคัญต่อการมีอายุยืนยาว ไม่มีความทนทานต่อความชื้นเนื่องจากแบตเตอรี่จะส่งได้ 50 รอบเท่านั้น ภาพที่ 2-13 สรุปคุณสมบัติของ Li-phosphate

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ LFP

1. ขั้วแคโทด (Cathode) เหล็กฟอสเฟต (Iron Phosphate)
2. ขั้วแอโนด (Anode) กราไฟต์ (Graphite)
3. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สารละลายเกลือของลิเทียม เช่น ลิเทียมเฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต (LiPF_6)

ข้อดีของแบตเตอรี่ LFP

1. ความปลอดภัยสูง LFP มีโครงสร้างที่เสถียรและน้อยที่จะเกิดการระเบิดหรือไฟไหม้ เมื่อถูกชาร์จหรือใช้งานผิดวิธี
2. อายุการใช้งานยาวนาน มีรอบการชาร์จและคายประจุ (Cycle Life) ที่ยาวนานมากถึง 2,000-5,000 รอบ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการใช้งาน
3. ประสิทธิภาพการทำงาน มีประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานและทนทานต่อการใช้งานในอุณหภูมิสูงได้ดี
4. สภาพแวดล้อม: มีประสิทธิภาพในการทำงานในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงและต่ำได้

ข้อเสียของแบตเตอรี่ LFP

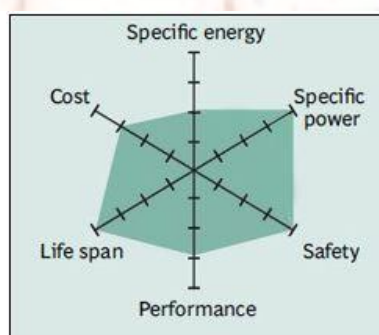
1. ความหนาแน่นพลังงานต่ำกว่า แม้จะมีความปลอดภัยสูงและอายุการใช้งานยาวนาน แต่ LFP มีความหนาแน่นพลังงานที่ต่ำกว่าบางประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียมอื่น ๆ เช่น NMC

2. ค่าใช้จ่ายสูง: มีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าบางประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียม

การใช้งานของแบตเตอรี่ LFP

แบตเตอรี่ LFP มักถูกใช้ในแอปพลิเคชันที่ต้องการความปลอดภัยและอายุการใช้งานที่ยาวนาน เช่น

1. ระบบเก็บพลังงานทดแทน (ESS) สำหรับการใช้พลังงานทดแทน
2. รถไฟฟ้าและรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
3. อุปกรณ์พลังงานทดแทนอื่น ๆ ที่ต้องการความปลอดภัยและความทนทานต่อการใช้งานในอุณหภูมิสูง



ภาพที่ 2-13 ภาพรวมของแบตเตอรี่ Li-phosphate ทั่วไป

Li-phosphate มีความปลอดภัยที่ดีเยี่ยมและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่มีพลังงานเฉพาะปานกลางและปลดปล่อยตัวเองได้ในระดับสูง

Li-phosphate มักถูกใช้เพื่อเปลี่ยนแบตเตอรี่สตาร์ทเตอร์ตะกั่ว สี่เซลล์ในอนุกรมผลิต 12.80V, แรงดันไฟฟ้าที่คล้ายกันกับเซลล์ตะกั่วกรด 2V หกตัวในอนุกรม ยานพาหนะชาร์จกรดตะกั่วถึง 14.40V (2.40V / เซลล์) และรักษาค่าที่อป ค่า topping ถูกนำไปใช้เพื่อรักษาระดับประจุเต็มและป้องกันการเกิด ซัลเฟต ใน แบตเตอรี่กรด

ด้วยเซลล์ Li-phosphate สี่เซลล์ในแต่ละซีรีส์แต่ละเซลล์มีค่าสูงสุดที่ 3.60V ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ประจุเต็มได้อย่างถูกต้อง ณ จุดนี้ค่าใช้จ่ายควรถูกตัดการเชื่อมต่อ แต่ค่าบริการเต็มเงินยังคงดำเนินต่อไปในขณะขับรถ Li-phosphate ทนต่อการคิดราคาแพงเกินไป อย่างไรก็ตามการรักษาระงับไฟฟ้าที่ 14.40V เป็นเวลานานเนื่องจากยานพาหนะส่วนใหญ่ที่เดินทางบนท้องถนนเป็นเวลานานอาจส่งผลกระทบต่อ Li-phosphate เวลาจะบอกว่าความทนทานของ Li-Phosphate นั้นสามารถทดแทนกรดตะกั่วได้อย่างไรด้วยระบบชาร์จรถยนต์ตามปกติ อุณหภูมิเย็นยังลดประสิทธิภาพของ Li-ion และสิ่งนี้อาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการหมุนในกรณีที่รุนแรง

ตารางที่ 2-5 ลักษณะของลิเทียมเหล็กฟอสเฟต

ลิเทียมเหล็กฟอสเฟต: LiFePO_4 แคโทดขั้วบวกกราไฟท์ แบบสั้น: LFP หรือ Li-phosphate ตั้งแต่ปี 1996	
แรงดันไฟฟ้า	3.20, 3.30V เล็กน้อย; ช่วงการทำงานทั่วไป 2.5–3.65V / เซลล์
พลังงานเฉพาะ (ความจุ)	90-120Wh / กก.
ค่าใช้จ่าย (อัตรา C)	1C ทั่วไปค่าใช้จ่าย 3.65V; เวลาในการชาร์จ 3 ชั่วโมงโดยทั่วไป
ปล่อย (อัตรา C)	1C, 25C ในบางเซลล์; 40A พัลส์ (2 วินาที); การตัด 2.50V (ต่ำกว่า 2V ทำให้เกิดความเสียหาย)
วงจรชีวิต	1,000–2000 (เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงของการไหลอุณหภูมิ)
ความร้อนควบคุมไม่	270 ° C (518 ° F) แบตเตอรี่ที่ปลอดภัยมากแม้ว่าจะชาร์จเต็มแล้วก็ตาม
ราคา	ประมาณ \$ 580 ต่อ kWh (ที่มา: RWTH, Aachen)
การประยุกต์ใช้งาน	แบบพกพาและเครื่องเขียนต้องการกระแสโหลดสูงและความอดทน
ความคิดเห็น	เส้นโค้งการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่แบนมาก แต่ความจุต่ำ หนึ่งในที่ปลอดภัยที่สุด Li-ไอออน ใช้สำหรับตลาดพิเศษ เพิ่มระดับการปลดปล่อยตัวเอง

2.2.5. แบตเตอรี่ลิเทียมนิเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์ (Lithium Nickel Cobalt

Aluminum Oxide - NCA)

แบตเตอรี่ลิเทียมนิเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์หรือ NCA นั้นมีมาตั้งแต่ปี 1999 สำหรับการใช้งานพิเศษ มันแบ่งปันความคล้ายคลึงกันกับ NMC โดยแบตเตอรี่ลิเทียมนิเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์ (NCA) เป็นหนึ่งในประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียมที่มีการผสมของโคบอลต์ (Cobalt), นิเกิล (Nickel), และอลูมิเนียม (Aluminum) ในขั้วแคโทด (Cathode) เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดีทั้งในด้านประสิทธิภาพพลังงานและอายุการใช้งาน



ภาพที่ 2-14 แบตเตอรี่ลิเทียมนิเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ NCA

1. ขั้วแคโทด (Cathode) นิเกิล (Nickel), โคบอลต์ (Cobalt), และอลูมิเนียม (Aluminum) ออกไซด์ (Oxide)
2. ขั้วแอโนด (Anode) กราไฟต์ (Graphite)
3. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สารละลายเกลือของลิเทียม เช่น ลิเทียมเฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต (LiPF₆)

คุณสมบัติและการใช้งานของแบตเตอรี่ NCA

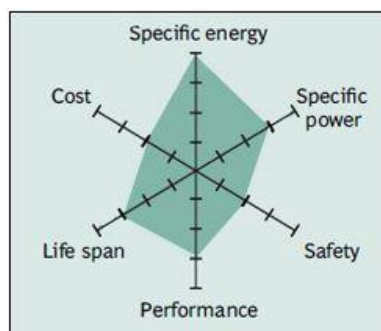
1. ความปลอดภัย NCA มีความปลอดภัยสูงเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (LCO) และมีความเสถียรทางเคมีที่ดี
2. ประสิทธิภาพการทำงาน มีประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานสูงและสามารถทนทานต่อการใช้งานในอุณหภูมิสูงได้ดี
3. อายุการใช้งาน มีรอบการชาร์จและคายประจุ (Cycle Life) ที่ยาวนานมากถึง 1,000-2,000 รอบ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการใช้งาน
4. ความหนาแน่นพลังงาน มีความหนาแน่นพลังงานสูง ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์ที่ต้องการพลังงานมากในขนาดเล็ก

การใช้งานของแบตเตอรี่ NCA

แบตเตอรี่ NCA มักถูกใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงาน อาทิ

1. รถยนต์ไฟฟ้า
2. รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
3. อุปกรณ์พลังงานทดแทนอื่น ๆ ที่ต้องการความปลอดภัยและความทนทานต่อการใช้งานในอุณหภูมิสูง

โดยนำเสนอพลังงานที่เฉพาะเจาะจงสูงพลังงานเฉพาะที่ดีพอสมควรและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ประจบน้อยกว่าความปลอดภัยและค่าใช้จ่าย ภาพที่ 11 สรุปลักษณะสำคัญหกประการ NCA เป็นการพัฒนาเพิ่มเติมของลิเทียมนิเกิลออกไซด์ การเพิ่มอลูมิเนียมทำให้เคมีมีเสถียรภาพมากขึ้น



ภาพที่ 2-15 Snapshot ของ NCA

ความหนาแน่นพลังงานและพลังงานสูงเช่นเดียวกับช่วงชีวิตที่ดีทำให้ NCA เป็นตัวเลือกสำหรับระบบส่งกำลังไฟฟ้า EV ค่าใช้จ่ายสูงและความปลอดภัยเล็กน้อยเป็นเชิงลบ

ตารางที่ 2-6 คุณสมบัติของลิเทียมนิเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์

ลิเทียมนิเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์: LiNiCoAlO_2 แคโทด (~ 9% Co) ขั้วบวกไฟฟ้ แบบสั้น: NCA หรือ Li-aluminium ตั้งแต่ปี 2542	
แรงดันไฟฟ้า	3.60V เล็กน้อย; ช่วงการทำงานทั่วไป 3.0–4.2V / เซลล์
พลังงานเฉพาะ (ความจุ)	200-260Wh / กิโลกรัม คาดการณ์ 300Wh / kg
ค่าใช้จ่าย (อัตรา C)	0.7C, ชาร์จได้ถึง 4.20V (เซลล์ส่วนใหญ่), ชาร์จ 3 ชั่วโมงโดยทั่วไป, สามารถชาร์จได้อย่างรวดเร็วในบางเซลล์
ปล่อย (อัตรา C)	1C ทั่วไป 3.00V ตัด อัตราคายประจุสูงทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง
วงจรชีวิต	500 (เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงของการปล่อยอุณหภูมิ)
ความร้อนควบคุมไม่	โดยทั่วไป 150 ° C (302 ° F) ประจุไฟฟ้าสูงจะระบายความร้อนได้
ราคา	ประมาณ \$ 350 ต่อ kWh (ที่มา: RWTH, Aachen)
การประยุกต์ใช้งาน	อุปกรณ์การแพทย์, อุตสาหกรรม, ระบบส่งกำลังไฟฟ้า (เทสลา)
ความคิดเห็น	แบ่งปันความคล้ายคลึงกันกับ Li-cobalt ทำหน้าที่เป็นเซลล์พลังงาน

2.2.6. แบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนต (Lithium Titanate - LTO)

แบตเตอรี่ที่มีลิเทียมไททาเนตแอโนดเป็นที่รู้จักกันมาตั้งแต่ทศวรรษ 1980 Li-titanate แทนที่กราไฟท์ในขั้วบวกของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนทั่วไปและรูปแบบวัสดุเป็นโครงสร้าง spinel แคโทดสามารถเป็นลิเทียมแมงกานีสออกไซด์หรือ NMC Li-titanate มีแรงดันเซลล์เล็กน้อยที่ 2.40V ซึ่งสามารถชาร์จได้อย่างรวดเร็วและให้กระแสการคายประจุที่สูงถึง 10C หรือ 10 เท่าของความจุที่กำหนด จำนวนรอบนั้นสูงกว่าของ Li-ion ปกติ Li-titanate มีความปลอดภัยมีลักษณะการคายประจุที่อุณหภูมิต่ำที่ยอดเยือกและได้รับความจุ 80 เปอร์เซ็นต์ที่ -30°C (-22°F)



ภาพที่ 2-16 แบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนต

แบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนต (LTO) เป็นแบตเตอรี่ลิเทียมที่มีคุณสมบัติพิเศษเนื่องจากการใช้วัสดุขั้วแคโทดที่ไม่ได้เป็นแกรไฟต์ แต่ใช้ไทเทเนต (Titanate) เป็นหลักซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพในการชาร์จและคายประจุที่เร็วและประสิทธิภาพในการทนทานต่อการใช้งานที่ยาวนาน

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ LTO

1. ขั้วแคโทด (Cathode) ไทเทเนต (Titanate)
2. ขั้วแอโนด (Anode) กราไฟท์ (Graphite) หรือ คาร์บอน (Carbon)
3. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สารละลายเกลือของลิเทียม เช่น ลิเทียมเฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต (LiPF_6)

คุณสมบัติและการใช้งานของแบตเตอรี่ LTO

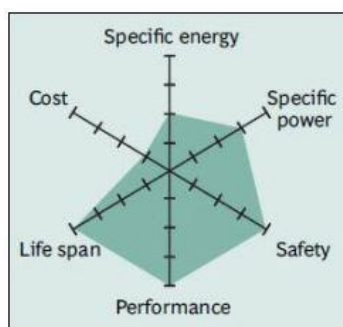
1. ความปลอดภัยสูง LTO มีความปลอดภัยสูงมาก เนื่องจากไม่เกิดการเกิดเสี่ยงจากการชาร์จเกิน หรือการใช้งานผิดวิธี
2. อายุการใช้งานยาวนาน มีรอบการชาร์จและคายประจุ (Cycle Life) ที่ยาวนานมากถึง 20,000 รอบ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการใช้งาน
3. ประสิทธิภาพการทำงาน มีประสิทธิภาพในการทนทานต่อการใช้งานที่มีการชาร์จและคายประจุแบบซ้ำได้สูง
4. การชาร์จและคายประจุเร็ว LTO สามารถชาร์จและคายประจุได้ที่อัตราสูง ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการการชาร์จแบบเร็ว เช่น รถไฟฟ้าและรถบัสไฟฟ้า

การใช้งานของแบตเตอรี่ LTO

1. รถไฟฟ้าและรถบัสไฟฟ้าที่ต้องการประสิทธิภาพการทำงานสูงและการชาร์จแบบเร็ว
2. ระบบเก็บพลังงานแบบจำลอง (ESS) ที่ต้องการความปลอดภัยและอายุการใช้งานที่ยาวนาน

3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการการทนทานต่อการใช้งานในอุณหภูมิสูง

LTO (โดยทั่วไป $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) มีข้อได้เปรียบเหนือ Li-ion แบบโคบอลต์ผสมกับขั้วบวกแบบกราไฟท์โดยการบรรจุคุณสมบัติเป็นศูนย์ความเสี่ยงไม่มีการก่อตัวของฟิล์ม SEI และไม่มีการชุบลิเทียมเมื่อชาร์จและคายอย่างรวดเร็วจนอุณหภูมิต่ำ เสถียรภาพทางความร้อนภายใต้อุณหภูมิสูงนั้นดีกว่าระบบ Li-ion อื่น ๆ อย่างไรก็ดีตามแบตเตอรี่มีราคาแพง ด้วยความเร็วเพียง $65\text{Wh} / \text{kg}$ พลังงานเฉพาะนั้นต่ำซึ่งตรงข้ามกับ NiCd Li-titanate มีค่า $2.80\text{V} / \text{เซลล์}$ และจุดสิ้นสุดของการปลดปล่อยคือ $1.80\text{V} / \text{เซลล์}$ ภาพที่ 13 แสดงคุณสมบัติของแบตเตอรี่ Li-titanate การใช้งานทั่วไปคือระบบส่งกำลังไฟฟ้า, UPS และไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์



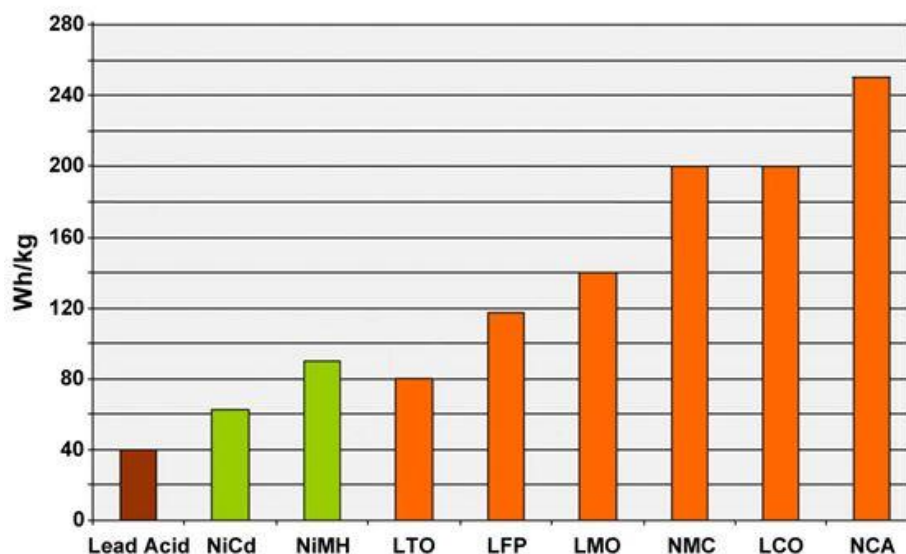
ภาพที่ 2-17 ภาพรวมของ Li-titanate

Li-titanate เก่งในเรื่องความปลอดภัยประสิทธิภาพการทำงานที่อุณหภูมิต่ำและอายุการใช้งาน มีความพยายามในการปรับปรุงพลังงานเฉพาะและลดต้นทุน

ตารางที่ 2-7 คุณสมบัติของลิเทียมไททาเนต

ลิเทียมไททาเนต สามารถเป็นลิเทียมแมงกานีสออกไซด์หรือ NMC $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (ไททาเนต) ชั่วบวกแบบสั้น: LTO หรือ Li-titanate วางตลาดตั้งแต่ปี 2008	
แรงดันไฟฟ้า	2.40V เล็กน้อย; ช่วงการใช้งานทั่วไป 1.8–2.85V / เซลล์
พลังงานเฉพาะ (ความจุ)	50-80Wh / กก.
ค่าใช้จ่าย (อัตรา C)	1C ทั่วไป สูงสุด 5 ค่าไป 2.85V
ปล่อย (อัตรา C)	10C เป็นไปได้, ชีพจร 30C 5s; 1.80V ตัดกับ LCO / LTO
วงจรชีวิต	3,000-7,000
ความร้อนควบคุมไม่	หนึ่งในแบตเตอรี่ Li-ion ที่ปลอดภัยที่สุด
ราคา	ประมาณ \$ 1,005 ต่อ kWh (ที่มา: RWTH, Aachen)
การประยุกต์ใช้งาน	UPS, ระบบส่งกำลังไฟฟ้า (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV), ไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์
ความคิดเห็น	อายุการใช้งานยาวนานชาร์จเร็วช่วงอุณหภูมิกว้าง แต่มีพลังงานจำเพาะต่ำและมีราคาแพง ในบรรดาแบตเตอรี่ Li-ion ที่ปลอดภัยที่สุด

ภาพที่ 2-18 เปรียบเทียบพลังงานเฉพาะของระบบนำ, นิกเกิลและลิเทียม ในขณะที่ Li-aluminium (NCA) เป็นผู้ชนะที่ชัดเจนโดยการจัดเก็บความจุมากกว่าระบบอื่น ๆ แต่จะใช้กับพลังงานเฉพาะเท่านั้น ในแง่ของพลังงานเฉพาะและเสถียรภาพทางความร้อน Li-manganese (LMO) และ Li-phosphate (LFP) นั้นเหนือกว่า Li-titanate (LTO) อาจมีความจุต่ำ แต่สารเคมีนี้มีอายุการใช้งานแบตเตอรี่อื่น ๆ ส่วนใหญ่ในแง่ของอายุการใช้งานและยังมีประสิทธิภาพอุณหภูมิเย็นที่สุด การเคลื่อนที่ไปสู่ระบบส่งกำลังไฟฟ้าความปลอดภัยและวงจรชีวิตจะได้รับความเด่นเหนือความสามารถ (LCO ย่อมาจาก Li-cobalt, Li-ion ดั้งเดิม)



ภาพที่ 2-18 พลังงานเฉพาะของแบตเตอรี่ตะกั่ว นิกเกิลและลิเทียม

NCA สนุกกับพลังงานที่เฉพาะเจาะจงสูงสุด อย่างไรก็ตามแมงกานีสและฟอสเฟตนั้นเหนือกว่าในด้านพลังงานเฉพาะและเสถียรภาพทางความร้อน Li-titanate มีช่วงชีวิตที่ดีที่สุด

การใช้งานและการเลือกประเภทแบตเตอรี่

การเลือกประเภทแบตเตอรี่ลิเทียมที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับความต้องการเฉพาะของการใช้งาน เช่น หากต้องการความปลอดภัยสูงและอายุการใช้งานยาวนาน แบตเตอรี่ LFP หรือ LTO อาจเป็นตัวเลือกที่ดี แต่หากต้องการความหนาแน่นพลังงานสูงสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก แบตเตอรี่ LCO หรือ NMC อาจเหมาะสมกว่า

2.3 ทฤษฎีและเทคโนโลยีในปัจจุบันหลักการระบายความร้อนของแบตเตอรี่

หากมีการใช้งานแพ็คแบตเตอรี่ที่มาจากการอัดประจุ หรือการคายประจุ จะมีความร้อนเกิดขึ้นในตัวแพ็คแบตเตอรี่เสมอ และในการใช้งานของแพ็คแบตเตอรี่ในสภาพอากาศของประเทศไทยที่มีสภาพอากาศค่อนข้างร้อนทำให้การระบายความร้อนออกจากแพ็คแบตเตอรี่ ด้วยตัวเองค่อนข้างทำได้ยาก หากความร้อนที่สะสมภายในแพ็คแบตเตอรี่มากขึ้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ และยังทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง ดังนั้น ระบบการระบายความร้อนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะช่วยให้การทำงานของแพ็คแบตเตอรี่ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการระบายความร้อน และระบบระบายความร้อนที่ใช้ในแพ็คแบตเตอรี่กับยานยนต์ ไฟฟ้าในปัจจุบันรวมถึงแนวความคิดต่างๆที่เป็นไปได้ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการระบายความร้อนในแพ็คแบตเตอรี่

2.1.1 หลักการระบายความร้อนของแบตเตอรี่ ระบบการระบายความร้อนให้แพ็คแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ รูปทรงของแบตเตอรี่ ชนิดของแบตเตอรี่ อัตราการจ่ายไฟและการอัดประจุ รวมถึงขนาดของแบตเตอรี่และ พื้นที่ในการแพ็คแบตเตอรี่ แต่โดยหลักๆ การระบายความร้อน จะเป็นการใช้ประโยชน์จากการนำความร้อน (Conductive Heat Transfer) การพาความร้อน (Convective Heat Transfer) และการดูดซับความร้อนในรูปแบบความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) รวมถึงรูปแบบความร้อนแฝง (Latent Heat) โดยทั้งสองรูปแบบของความร้อน ที่กล่าวมาสามารถดูดซับความร้อนจากแพ็คแบตเตอรี่ได้จากสมการที่ (2-1) โดยที่ผลกระทบของการแผ่รังสีมีค่าน้อยมาก เนื่องจากแพ็คแบตเตอรี่จะถูกประกอบอยู่ ภายในรถยนต์อย่างมิดชิดจึงไม่ได้จำเป็นต้องนำมาคิดในสมการ

$$Q_{Battery} - Q_{Conduction} - Q_{Convection} - Q_{Sensible} - Q_{Latent} = 0 \quad (2-1)$$

$Q_{Battery}$ = ความร้อนที่มาจากการสูญเสีย พลังงานไฟฟ้าขณะใช้งานแบตเตอรี่ จากการจ่ายไฟฟ้า และการอัดประจุไฟฟ้า โดยความร้อนส่วนนี้ประกอบด้วยความร้อนสี่ส่วน คือ ความร้อนเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ (Resistance Loss/Ohmic Loss) ความร้อนเนื่องจากการเคลื่อนตัวของไอออน (Ion Transport Loss) ความร้อนเนื่องปฏิกิริยาทางเคมี (Reaction Rate Loss) ความร้อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (Entropy Heat)

$Q_{Sensible}$ = ความร้อนที่ทำให้วัสดุมีค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป แต่สถานะของสารไม่มีการเปลี่ยนแปลง ถ้าค่าความจุความร้อนของวัสดุ และมีปริมาณมวลที่สูงจะทำให้วัสดุ หรือแบตเตอรี่มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยโดยบางเทคนิคการระบายความร้อนได้ใช้เทคนิคนี้เพื่อรักษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่

Q_{Latent} = ความร้อนที่ทำให้วัสดุเปลี่ยนแปลงสถานะแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกตัวอย่างเช่น ระบบปรับอากาศภายในบ้านหรือรถยนต์ (Air Conditioner System) ท่อนำความร้อน (Heat Pipe) และอื่นๆ

$Q_{Conduction}$ = ความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากตัวแพ็คแบตเตอรี่ โดยผ่านวัสดุนำความร้อนไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ โดยความสามารถในการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ และผลต่างของอุณหภูมิ

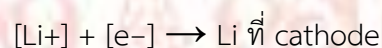
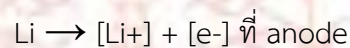
$Q_{Convection}$ = ความร้อนที่ถูกระบายออกหรือถูกพัดพาออกจากตัวแบตเตอรี่โดยมีสารพาความร้อนเคลื่อนที่ โดยความสามารถในการพาความร้อนจะขึ้นอยู่กับค่าการพาความร้อน ปริมาณสารพาความร้อนและ ผลต่างของอุณหภูมิ

2.1.2 ความต้านทานภายใน และการสูญเสียของแบตเตอรี่ โดยในทางทฤษฎีนั้นไม่สามารถใช้งานได้ในระหว่างการใช้งาน เนื่องจากทันทีที่กระแสไฟเริ่มไหลผ่านแบตเตอรี่จะไหลผ่านความต้านทานภายใน (Internal Resistance) ของเซลล์แบตเตอรี่ด้วยการลดลงของแรงดันไฟฟ้า (Voltage

Drops) ทั้งหมดที่ เกิดขึ้นจากความต้านทานภายในเป็นผลมาจากกระบวนการต่างๆที่แตกต่างกัน และผลลัพธ์ของผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกันซึ่ง voltage drops เกิดจากกระบวนการต่างๆดังนี้

1) Concentration polarization เป็นผลที่เกิดจากความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสารตัวทำปฏิกิริยาที่พื้นผิว อิเล็กโทรด โดยขัดขวางการแพร่กระจาย (Diffusion) ของไอออน เรียกว่า การไล่ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น (Concentration Gradient) โดยจะส่งผลให้ความต้านทานภายในสูงขึ้น และเป็นผลให้แรงดันตกภายในเซลล์

2) Charge transfer polarization หรือ Activation polarization เนื่องจากปัจจัยการหน่วง เป็นการเกิด Redox Reaction หรือ Activation Energy ที่ปฏิกิริยา Redox ต้องการ ที่เป็นส่วนหนึ่งของปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ทั้งหมดกล่าวคือกระบวนการเหล่านี้กินพลังงานและทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าลดลง



3) Internal ohmic resistance คือ ความต้านทานของอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เช่นเดียวกับความต้านทานของวัสดุอิเล็กโทรด (Electrode Materials) ขั้ว (Terminals) การเชื่อมต่อระหว่างกัน (Interconnections) พื้นที่ติดต่อกันระหว่างอิเล็กโทรด กับอิเล็กโทรไลต์ และส่วนประกอบอื่นๆ ที่เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ Ohmic voltage drop ลดลงภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมีหรือเรียกว่า IR loss จากผลของทั้งสามกระบวนการที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าลดลงภายในเซลล์แบตเตอรี่สามารถนำมาเขียนได้ดังแสดงในสมการที่ (2-2)

$$V_{ocv} = V_{ccv} - I \times (R_{ohm} + R_{ch} + R_d) \quad (2-2)$$

โดยที่ V_{ocv} = Open circuit voltage (V)

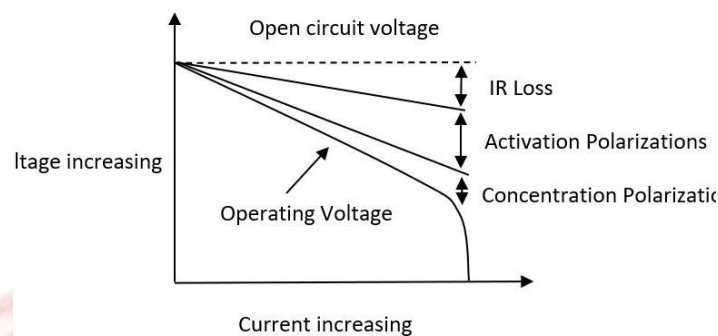
V_{ccv} = Closed circuit voltage (V)

R_{ohm} = Internal ohmic resistance (Ω)

R_{ch} = Charge transfer polarization (Ω)

R_d = Concentration polarization (Ω)

I = Electric current (A)



ภาพที่ 2-19 กราฟแรงดันไฟที่ใช้ของแบตเตอรี่

2.1.3 สมการความร้อนของแบตเตอรี่ สมการความร้อน (Heat Equation) เป็นสมการพื้นฐานในการวิเคราะห์การนำความร้อน เพื่อทราบการกระจายอุณหภูมิภายในเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ดังสมการที่ (2-3)

$$\rho_b c_{pb} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \times (k_b \nabla T) + Q_{battery} \quad (2-3)$$

โดยที่ $Q_{Battery}$ = การสร้างความร้อนของแบตเตอรี่ (W)

ρ_b = ความหนาแน่นของแบตเตอรี่ (kg/m^3)

k_b = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแบตเตอรี่ ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)

c_{pb} = ความจุความร้อนของแบตเตอรี่ ($\text{W/kg}\cdot\text{K}$)

T = อุณหภูมิ (K)

อุณหภูมิของแบตเตอรี่ถูกกำหนดโดยการสร้างความร้อนภายในเซลล์ของแบตเตอรี่ $Q_{Battery}$ แหล่งที่มาของการสร้างความร้อนของแบตเตอรี่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสองส่วนดังแสดงในสมการที่ (2-4)

$$Q_{battery} = Q_{joule} + Q_{entropy} \quad (2-4)$$

โดยที่ Q_{joule} = ผลของการสร้างความร้อนในรูป Joule heating (W)

$Q_{entropy}$ = ผลของการสร้างความร้อนในรูปปฏิกิริยาเคมีที่ Entropy change (W)

การสร้างความร้อนในรูป Entropy change คือ ปฏิกิริยาความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการ ปฏิกิริยาทางเคมีเนื่องจากผลของกระบวนการ Concentration polarization และ Charge transfer polarization สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2-5)

$$Q_{entropy} = -T\Delta S \frac{I}{nF} \quad (2-5)$$

โดยที่ ΔS = เอนโทรปีที่เปลี่ยนแปลงไป (J/K)

N = จำนวนอิเล็กตรอน (mol)

F = ค่าคงที่ของฟาราเดย์ (96,485 C/mol)

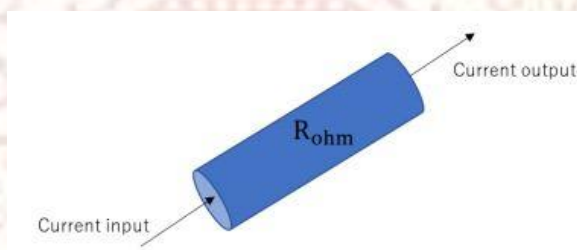
I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน (A)

การสร้างความร้อนในรูป Joule heating ดังภาพที่ 2-2 เกิดจากการถ่ายเท กระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทาน ภายในตัวเซลล์ของแบตเตอรี่ เนื่องจากผลของกระบวนการ Internal ohmic resistance ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (2-6)

$$Q_{joule} = I^2 R \quad (2-6)$$

โดยที่ I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน (A)

R = ความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่ (Ω)



ภาพที่ 2-20 ภาพความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่

การสูญเสียพลังงาน ในช่วงระหว่างการแปลงพลังงานเคมีให้เกิดเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ โดยจะมีผลมาจาก 3 ปัจจัย คือ 1.กระบวนการ Concentration polarization กับ 2.กระบวนการ Charge transfer polarization ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการปฏิกิริยาทางเคมี และ 3.กระบวนการ Internal ohmic resistance ที่เกิดจากความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าของส่วนประกอบภายในเซลล์แบตเตอรี่ โดยผลรวมของความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่จากสามปัจจัยแสดงดังสมการที่ (2-7)

$$R_{int} = R_{ohm} + R_{ch} + R_d \quad (2-7)$$

โดยที่ R_{int} = ความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่ (Ω)

R_{ohm} = (Ohmic resistance) ความต้านทานที่เกิดจากอิเล็กโทรไลต์ อิเล็กโทรด และส่วนประกอบอื่น ๆ ของแบตเตอรี่ ที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านภายใน (Ω)

R_{ch} = (Charge – transfer resistance) ความต้านทานที่เกี่ยวข้องกับ activation reactions เนื่องจาก ในระหว่างกระบวนการไอออนลิเทียมจะแทรกตัวที่อินเตอร์เฟซระหว่างอิเล็กโทรด/อิเล็กโทรไลต์ (Ω)

R_d = (Diffusion resistance) ความต้านทานที่เกิดจากการแพร่ของไอออนภายในอิเล็กโทรไลต์(Ω)

2.4 ค่า SOC, DOD ของแบตเตอรี่ลิเทียม

ค่า SOC (State of Charge) และ DOD (Depth of Discharge) สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมมีความสำคัญอย่างยิ่งในการรักษาประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 ค่า SOC (State of Charge)

ค่า SOC (State of Charge) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการวัดปริมาณพลังงานที่แบตเตอรี่เก็บไว้ได้เมื่อเทียบกับความจุเต็มของแบตเตอรี่ SOC มักจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยสามารถเข้าใจได้ตามรายละเอียดดังนี้

การวัดค่า SOC

1. 0% SOC แบตเตอรี่หมดประจุทั้งหมด ไม่มีพลังงานเหลือ
2. 100% SOC แบตเตอรี่ชาร์จเต็ม มีพลังงานสูงสุดที่สามารถเก็บได้
3. ระหว่าง 0% ถึง 100% แสดงปริมาณพลังงานที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่ในช่วงนั้น ๆ เช่น 50% SOC หมายความว่าแบตเตอรี่เก็บพลังงานได้ครึ่งหนึ่งของความจุเต็ม

ความสำคัญของค่า SOC

1. การจัดการพลังงาน ช่วยให้ผู้ใช้รู้ว่าต้องชาร์จแบตเตอรี่เมื่อใดและยังสามารถใช้พลังงานที่มีอยู่ได้นานเท่าไร
2. การบำรุงรักษา การรักษา SOC ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เช่น การรักษา SOC ในช่วง 20% ถึง 80% สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียม
3. ความปลอดภัย ช่วยป้องกันการชาร์จและการคายประจุเกินขีดจำกัดที่อาจทำให้แบตเตอรี่เสียหายหรือเป็นอันตราย

วิธีการวัดค่า SOC

การวัดค่า SOC สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1. การวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage Measurement) ใช้แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เป็นตัวบ่งชี้ค่า SOC โดยตรง
2. การวัดกระแสไฟฟ้า (Current Measurement) ใช้การวัดกระแสไฟฟ้าที่เข้าและออกจากแบตเตอรี่เพื่อคำนวณปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่
3. เทคโนโลยีอื่น ๆ เช่น การใช้สมาร์ทเซนเซอร์หรือระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System, BMS) ที่มีการคำนวณค่า SOC แบบเรียลไทม์

ตัวอย่างการแสดงค่า SOC

1. อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น สมาร์ทโฟนและแล็ปท็อปที่มีการแสดงสถานะการชาร์จแบตเตอรี่
2. ยานยนต์ไฟฟ้า เช่น รถยนต์ไฟฟ้าที่มีการแสดงผลค่า SOC บนหน้าปัดหรือแอปพลิเคชันเพื่อ
บอกระยะทางที่สามารถวิ่งได้ตามปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่

การเข้าใจและจัดการค่า SOC อย่างถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญในการใช้งานแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2.4.2 ค่า DOD (Depth of Discharge)

ค่า DOD (Depth of Discharge) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการวัดปริมาณพลังงานที่ถูกใช้งานจากแบตเตอรี่เมื่อเทียบกับความจุเต็มของแบตเตอรี่ โดย DOD มักจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) และมีความหมายดังนี้

การวัดค่า DOD

1. 0% DOD แบตเตอรี่เต็มความจุ ไม่มีการคายประจุเลย
2. 100% DOD แบตเตอรี่ถูกคายประจุเต็มที่ ไม่มีพลังงานเหลือ
3. ระหว่าง 0% ถึง 100% แสดงปริมาณพลังงานที่ถูกคายประจุออกไปจากแบตเตอรี่ เช่น 30% DOD หมายความว่าแบตเตอรี่ถูกคายประจุไปแล้ว 30% ของความจุเต็ม (ยังมีพลังงานเหลือ 70%)

ความสำคัญของค่า DOD

1. การจัดการพลังงาน ช่วยให้ผู้ใช้รู้ว่าพลังงานถูกใช้ไปเท่าไรและยังสามารถใช้งานได้อีกเท่าไร
2. การบำรุงรักษา การควบคุมค่า DOD ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เช่น การหลีกเลี่ยงการคายประจุจนถึง 100% อย่างต่อเนื่อง
3. ความปลอดภัย ช่วยป้องกันการคายประจุเกินขีดจำกัดที่อาจทำให้แบตเตอรี่เสียหายหรือเป็นอันตราย

วิธีการวัดค่า DOD

การวัดค่า DOD สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1. การคำนวณจากค่า SOC โดยใช้สูตร $DOD = 100\% - SOC$
2. การวัดกระแสไฟฟ้า (Current Measurement) ใช้การวัดกระแสไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่เพื่อคำนวณปริมาณพลังงานที่ถูกคายประจุไป
3. ระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System, BMS) ใช้ระบบอัจฉริยะที่สามารถคำนวณค่า DOD แบบเรียลไทม์

ตัวอย่างการแสดงค่า DOD

1. อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น สมาร์ทโฟนและแล็ปท็อปที่มีการแสดงสถานะการใช้งานแบตเตอรี่
2. ยานยนต์ไฟฟ้า เช่น รถยนต์ไฟฟ้าที่มีการแสดงผลค่า DOD บนหน้าปัดหรือแอปพลิเคชันเพื่อ
บอกปริมาณพลังงานที่ถูกใช้ไป

การเข้าใจและจัดการค่า DOD อย่างถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญในการใช้งานแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2.4.3 ค่า DOD (Depth of Discharge)

ค่า SOH (State of Health) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการวัดสภาพสุขภาพของแบตเตอรี่ โดยค่า SOH มักจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) และมีความหมายดังนี้

การวัดค่า SOH

1. 0% SOH แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเต็มที่ ไม่สามารถใช้งานได้
2. 100% SOH แบตเตอรี่มีสภาพเหมือนใหม่ ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ
3. ระหว่าง 0% ถึง 100% แสดงถึงสภาพของแบตเตอรี่ในช่วงนั้น เช่น 80% SOH หมายความว่าแบตเตอรี่ยังมีประสิทธิภาพเหลือ 80% ของสภาพใหม่

ความสำคัญของค่า SOH

1. การจัดการพลังงาน ช่วยให้ผู้ใช้รู้ว่าสภาพของแบตเตอรี่เป็นอย่างไร และสามารถวางแผนการใช้งานหรือเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้อย่างเหมาะสม
2. การบำรุงรักษา ค่า SOH ช่วยให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและบำรุงรักษาแบตเตอรี่เพื่อยืดอายุการใช้งานได้
3. การประเมินความเสี่ยง ค่า SOH ช่วยในการประเมินความเสี่ยงของแบตเตอรี่เมื่อเวลาผ่านไป

วิธีการวัดค่า SOH

การวัดค่า SOH สามารถทำได้หลายวิธี เช่น:

1. การเปรียบเทียบความจุ ใช้การวัดความจุปัจจุบันของแบตเตอรี่แล้วเปรียบเทียบกับความจุเต็มที่เมื่อแบตเตอรี่เป็นของใหม่
2. การวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า ใช้การวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในการคำนวณค่า SOH
3. ระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System, BMS): ใช้ระบบอัจฉริยะที่สามารถคำนวณค่า SOH แบบเรียลไทม์

ตัวอย่างการแสดงค่า SOH

1. อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น สมาร์ทโฟนที่มีการแสดงสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ในเมนูการตั้งค่า
2. ยานยนต์ไฟฟ้า เช่น รถยนต์ไฟฟ้าที่มีการแสดงผลค่า SOH บนหน้าปัดหรือแอปพลิเคชันเพื่อบอกสภาพของแบตเตอรี่

การเข้าใจและการจัดการค่า SOH อย่างถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญในการใช้งานแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2.5 แรงดัน ความต้านทาน และกระแสของแบตเตอรี่ลิเทียม

กฎของโอห์ม (OHM's law)

เกออร์ก ซีมอน โอห์ม (Georg Simon Ohm) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ทำการทดลองและพบความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน กระแส และความต้านทาน ว่า “ความเข้มของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำเป็นปริมาณโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าและเป็นปริมาณโดยกลับกับความต้านทานไฟฟ้า”

$$V = IR$$

ตารางที่ 2-7 กฎของโอห์ม (OHM's law)

สัญลักษณ์	ปริมาณทางไฟฟ้า	หน่วย
V	แรงดันทางไฟฟ้า (Voltage)	โวลต์ (V)
I	กระแสไฟฟ้า (Current)	แอมแปร์ (A)
R	ความต้านทาน (Resistance)	โอห์ม (Ω)

แบตเตอรี่ลิเทียมมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามประเภทและการใช้งาน แรงดัน (voltage), ความต้านทาน (resistance), และกระแส (current) เป็นคุณสมบัติสำคัญที่ใช้ในการวัดและประเมินประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียม ดังนี้

แรงดัน (Voltage)

1. แรงดันเซลล์เดียว (Nominal Voltage) แบตเตอรี่ลิเทียมมีแรงดันเซลล์เดียวที่เป็นค่ามาตรฐานประมาณ 3.6V ถึง 3.7V
2. แรงดันเต็ม (Fully Charged Voltage) แรงดันของเซลล์ลิเทียมที่ชาร์จเต็มจะอยู่ที่ประมาณ 4.2V
3. แรงดันที่คายประจุหมด (Cut-off Voltage) แรงดันของเซลล์ลิเทียมที่คายประจุหมดจะอยู่ที่ประมาณ 2.5V ถึง 3.0V ขึ้นอยู่กับประเภทของแบตเตอรี่และการออกแบบระบบ

ความต้านทาน (Resistance)

1. ความต้านทานภายใน (Internal Resistance) ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลิเทียมจะมีผลต่อการสูญเสียพลังงานและการเพิ่มความร้อนเมื่อมีการชาร์จหรือคายประจุ ความต้านทานภายในมักจะอยู่ในช่วงไม่กี่มิลลิโอห์ม ($m\Omega$) ขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของแบตเตอรี่
2. ความต้านทานที่เพิ่มขึ้น เมื่อแบตเตอรี่มีการใช้งานไปนานๆ ความต้านทานภายในอาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเสื่อมสภาพของเซลล์ ทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง

กระแส (Current)

กระแสคายประจุ (Discharge Current) เป็นกระแสที่แบตเตอรี่สามารถปล่อยออกมาใช้งานได้ มักจะมีการกำหนดกระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่สามารถคายประจุได้อย่างปลอดภัย เช่น C-rate (เช่น 1C หมายถึงการคายประจุเต็มภายใน 1 ชั่วโมง)

1. กระแสชาร์จ (Charge Current) เป็นกระแสที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ มักจะมีการกำหนดกระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่สามารถชาร์จได้อย่างปลอดภัย เช่น 0.5C ถึง 1C
2. กระแสพีค (Peak Current) เป็นกระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่สามารถปล่อยออกมาได้ในเวลาสั้นๆ มักใช้ในสถานการณ์ที่ต้องการพลังงานสูงอย่างฉับพลัน เช่น การสตาร์ทรถยนต์

การประเมินและการใช้งาน

1. การประเมินแรงดัน การวัดแรงดันของแบตเตอรี่ช่วยในการตรวจสอบสถานะการชาร์จ (SOC) และสถานะการคายประจุ (DOD) ของแบตเตอรี่
 2. การวัดความต้านทาน การวัดความต้านทานภายในช่วยในการประเมินสุขภาพของแบตเตอรี่ (SOH) และความสามารถในการส่งพลังงาน
 3. การจัดการกระแส การควบคุมและจัดการกระแสที่เข้าและออกจากแบตเตอรี่ช่วยในการรักษาอายุการใช้งานและป้องกันการเกิดความเสียหายหรืออันตราย
- การเข้าใจและจัดการแรงดัน, ความต้านทาน และกระแสของแบตเตอรี่อย่างถูกต้องจะช่วยให้การใช้งานแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากขึ้น

2.6 ทฤษฎีการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ลิเทียม

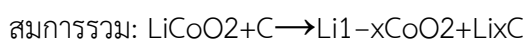
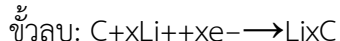
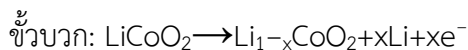
การชาร์จและการคายประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมเป็นกระบวนการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของไอออนลิเทียมระหว่างขั้วบวก (cathode) และขั้วลบ (anode) ของแบตเตอรี่ โดยมีรายละเอียดทฤษฎีดังนี้

ทฤษฎีการชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม

กระบวนการชาร์จ

เมื่อชาร์จแบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งเข้าสู่แบตเตอรี่ ทำให้ไอออนลิเทียม (Li^+) เคลื่อนที่จากขั้วบวก (cathode) ไปยังขั้วลบ (anode) ผ่านทางอิเล็กโทรไลต์ อิเล็กตรอน (e^-) จะเคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอกจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ขั้วลบ (anode) มักทำจากกราไฟต์ (graphite) ซึ่งไอออนลิเทียมจะแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างชั้นของกราไฟต์

สมการเคมีการชาร์จ



กระบวนการการชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียม

การชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมมีขั้นตอนการทำงานดังนี้:

ขั้วบวก (cathode)

ในขั้วบวกขณะชาร์จ, ไอออนลิเทียม (Li^+) จะถูกยึดตัวไว้ในโครงสร้างของขั้วบวก (เช่น LiCoO_2) อิเล็กตรอน (e^-) จะถูกดึงเข้าไปในขั้วบวกผ่านทางวงจรภายนอก

ขั้วลบ (anode)

ในขั้วลบขณะชาร์จ, ไอออนลิเทียมที่ได้รับพลังงานจากกระแสไฟฟ้าจะกลับเคลื่อนที่เข้ามาแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของกราไฟต์ (หรืออื่น ๆ ที่ใช้ในขั้วลบ) อิเล็กตรอนจะถูกคายปล่อยจากขั้วลบผ่านวงจรภายนอกเพื่อกลับไปยังขั้วบวก

ส่วนที่สำคัญในกระบวนการชาร์จ

อัตราการชาร์จ (Charging Rate) การระบุอัตราการชาร์จที่เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพโดยไม่จำเป็น

ความปลอดภัย การควบคุมอุณหภูมิและความสะอาดของกระแสไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดเหตุอันตราย

การเข้าใจทฤษฎีการชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมจะช่วยให้สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยในขณะเดียวกัน

ทฤษฎีการคายประจุแบตเตอรี่ลิเทียม

1. กระบวนการคายประจุ

- เมื่อคายประจุแบตเตอรี่, ไอออนลิเทียม (Li^+) จะเคลื่อนที่จากขั้วลบ (anode) กลับไปยังขั้วบวก (cathode) ผ่านทางอิเล็กโทรไลต์
- อิเล็กตรอน (e^-) จะเคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอกจากขั้วลบไปยังขั้วบวกเพื่อให้พลังงานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า
- ขั้วบวกจะรับไอออนลิเทียมกลับมาและสร้างโครงสร้างทางเคมีเดิม

2. สมการเคมีที่เกี่ยวข้องกับการคายประจุ

- ขั้วบวก: $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + x\text{Li}^+ + xe^- \rightarrow \text{LiCoO}_2$
- ขั้วลบ: $\text{Li}_x\text{C} \rightarrow \text{C} + x\text{Li}^+ + xe^-$
- สมการรวม: $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + \text{Li}_x\text{C} \rightarrow \text{LiCoO}_2 + \text{C}$

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการชาร์จและคายประจุ

- อัตราการชาร์จและคายประจุ (C-rate) การชาร์จหรือคายประจุที่อัตรา C-rate สูงสามารถทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้นและสร้างความร้อนมากขึ้น
- อุณหภูมิ อุณหภูมิสูงเกินไปหรือต่ำเกินไปสามารถทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ลดลงและส่งผลต่ออายุการใช้งาน
- ความลึกของการคายประจุ (Depth of Discharge, DOD) การคายประจุจนถึงระดับ DOD สูงอย่างต่อเนื่องสามารถลดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่
- การเสื่อมสภาพของขั้วไฟฟ้า การเสื่อมสภาพของขั้วไฟฟ้าทั้งสองสามารถทำให้ความจุและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง

การเข้าใจพฤติกรรมการชาร์จและการคายประจุของแบตเตอรี่ลิเธียมจะช่วยให้สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย รวมทั้งสามารถดูแลรักษาแบตเตอรี่ให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

2.7 ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่

ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่อาจเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญในการพิจารณาด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการทำงานของแบตเตอรี่ โดยเฉพาะในแบตเตอรี่ลิเธียม ความร้อนที่เกิดขึ้นอาจมาจากกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้

ปัจจัยที่ทำให้เกิดความร้อนในแบตเตอรี่

1. การชาร์จและการคายประจุ (Charging and Discharging)

- กระบวนการชาร์จและคายประจุจะมีการเคลื่อนที่ของไอออนลิเธียมและอิเล็กตรอน ซึ่งจะเกิดการสูญเสียพลังงานในรูปแบบของความร้อนในระหว่างกระบวนการนี้
- หากกระแสชาร์จหรือคายประจุสูงเกินไป อาจทำให้เกิดความร้อนมากขึ้น

2. ความต้านทานภายใน (Internal Resistance)

- ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลิเธียมจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปแบบของความร้อน
- ความต้านทานภายในสูงจะทำให้แบตเตอรี่ร้อนขึ้นมากเมื่อมีการชาร์จหรือคายประจุ

3. ปฏิกิริยาเคมีไม่สมบูรณ์ (Side Reactions)

- ปฏิกิริยาเคมีที่ไม่สมบูรณ์ภายในเซลล์แบตเตอรี่สามารถทำให้เกิดความร้อนได้ เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอิเล็กโทรไลต์

4. อุณหภูมิแวดล้อม (Ambient Temperature)

- การใช้งานแบตเตอรี่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำมาก อาจทำให้เกิดความร้อนภายในแบตเตอรี่มากขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ของวัสดุภายในแบตเตอรี่

5. การชาร์จเกิน (Overcharging) และการคายประจุเกิน (Over-discharging)

- การชาร์จแบตเตอรี่เกินขีดจำกัดจะทำให้เกิดการสะสมของพลังงานภายในที่ไม่สามารถควบคุมได้ และทำให้เกิดความร้อนมากขึ้น
- การคายประจุเกินขีดจำกัดจะทำให้แรงดันไฟฟ้าต่ำลงและอาจทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างวัสดุภายในแบตเตอรี่

ผลกระทบของความร้อนที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่

1. การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ (Battery Degradation)

- ความร้อนที่เกิดขึ้นอาจทำให้วัสดุภายในแบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น และลดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2. การเกิดความเสียหายทางเคมี (Chemical Damage)

- อุณหภูมิสูงสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีไม่พึงประสงค์และอาจทำให้เซลล์แบตเตอรี่เสียหาย

3. ความปลอดภัย (Safety)

- ความร้อนที่สูงมากอาจทำให้แบตเตอรี่เกิดการระเบิดหรือไฟไหม้ได้ ซึ่งเป็นปัญหาความปลอดภัยที่สำคัญ

การจัดการและป้องกันความร้อนในแบตเตอรี่

1. การควบคุมอัตราการชาร์จและคายประจุ (Charge and Discharge Rates)

- ควรใช้กระแสชาร์จและคายประจุที่เหมาะสมตามคำแนะนำของผู้ผลิตเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความร้อนเกินไป

2. การใช้งานในอุณหภูมิที่เหมาะสม (Operating Temperature)

- ควรหลีกเลี่ยงการใช้งานแบตเตอรี่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป

3. การระบายความร้อน (Cooling Systems)

- ในการใช้งานที่มีการใช้กระแสสูงหรือในอุปกรณ์ที่มีการใช้แบตเตอรี่มาก ควรมีระบบระบายความร้อนเพื่อช่วยลดความร้อนภายในแบตเตอรี่

4. การตรวจสอบและบำรุงรักษา (Monitoring and Maintenance)

- ใช้ระบบตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่ (Battery Management System, BMS

เพื่อควบคุมและตรวจสอบอุณหภูมิและการทำงานของแบตเตอรี่ให้เหมาะสม การจัดการความร้อนในแบตเตอรี่เป็นสิ่งสำคัญในการรักษาประสิทธิภาพและความปลอดภัยของการใช้งานแบตเตอรี่ให้มีอายุการใช้งานยาวนานและปลอดภัย

2.8 ผลกระทบของแบตเตอรี่เนื่องจากอุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลกระทบอย่างมากต่อแบตเตอรี่ โดยเฉพาะแบตเตอรี่ลิเทียม อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมสามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้อย่างมาก ผลกระทบจากอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมมีดังนี้

ผลกระทบของอุณหภูมิสูง

1. การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ (Battery Degradation) อุณหภูมิสูงสามารถทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุภายในเซลล์แบตเตอรี่ เช่น การเสื่อมสภาพของอิเล็กโทรไลต์และขั้วไฟฟ้า ทำให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลงเร็วขึ้น
2. การเกิดปฏิกิริยาเคมีไม่พึงประสงค์ (Undesired Chemical Reactions) อุณหภูมิสูงสามารถกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีไม่พึงประสงค์ภายในแบตเตอรี่ เช่น การเกิดปฏิกิริยาระหว่างอิเล็กโทรไลต์กับขั้วไฟฟ้า ทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นและสารเคมีที่ไม่เสถียร
3. การเพิ่มความต้านทานภายใน (Increased Internal Resistance) อุณหภูมิสูงสามารถทำให้ความต้านทานภายในแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปแบบของความร้อนมากขึ้นในระหว่างการชาร์จและคายประจุ
4. ความปลอดภัย (Safety Risks) อุณหภูมิสูงอาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความร้อนสูงเกินไป (thermal runaway) ซึ่งอาจนำไปสู่การระเบิดหรือไฟไหม้ได้

ผลกระทบของอุณหภูมิต่ำ

1. การลดประสิทธิภาพการทำงาน (Reduced Performance) อุณหภูมิต่ำสามารถทำให้การเคลื่อนที่ของไอออนลิเธียมช้าลง ทำให้ความจุที่มีประสิทธิภาพลดลงและแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลดลง
2. การเพิ่มความต้านทานภายใน (Increased Internal Resistance) ที่อุณหภูมิต่ำ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้น ทำให้แบตเตอรี่มีประสิทธิภาพการส่งพลังงานลดลงและเกิดความร้อนภายในมากขึ้นเมื่อใช้งาน
3. ความเสียหายจากการชาร์จที่อุณหภูมิต่ำ (Damage from Charging at Low Temperatures) การชาร์จแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิต่ำมากสามารถทำให้เกิดการตกผลึกของลิเธียมบนขั้วลบ (lithium plating) ซึ่งอาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายและลดอายุการใช้งาน
4. การลดประสิทธิภาพของอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Performance) ที่อุณหภูมิต่ำ อิเล็กโทรไลต์อาจหนืดขึ้นหรือแข็งตัว ทำให้การเคลื่อนที่ของไอออนลิเธียมยากขึ้น และลดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

การจัดการอุณหภูมิของแบตเตอรี่

เพื่อรักษาประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแบตเตอรี่ ควรมีการจัดการอุณหภูมิอย่างเหมาะสมโดย

1. การควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control) ใช้ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System, BMS) ที่มีการตรวจสอบและควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้เหมาะสม
2. การออกแบบระบายความร้อน (Thermal Management) ใช้ระบบระบายความร้อนเช่น การใช้พัดลม หรือระบบระบายความร้อนด้วยของเหลวในกรณีที่มีการใช้งานแบตเตอรี่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง
3. การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (Proper Environmental Use) หลีกเลี่ยงการใช้งานแบตเตอรี่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปการจัดการอุณหภูมิอย่างเหมาะสมจะช่วยรักษาประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ยาวนานขึ้น

2.9 การประกอบแบตเตอรี่ลิเธียม

2.9.1 แบบอนุกรม (Series Circuit)

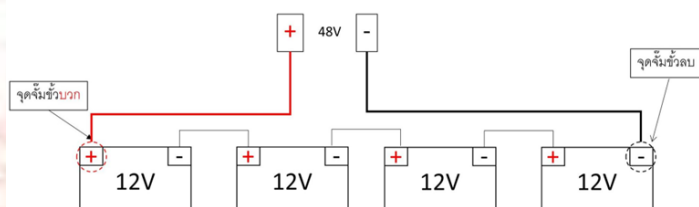
แบบอนุกรม (Series Circuit) หมายถึง เป็นการนำเอาเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือโหลดหลายๆ อันมาต่อเรียงกันไปเหมือนลูกโซ่ กล่าวคือ ปลายของเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวที่ 1 นำไปต่อกับต้นของเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวที่ 2 และต่อเรียงกันไปเรื่อย ๆ จนหมด แล้วนำไปต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดการต่อวงจรแบบอนุกรมจะมีทางเดินของกระแสไฟฟ้าได้ทางเดียวเท่านั้น ถ้าเกิดเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวใดตัวหนึ่งเปิดวงจรหรือขาด จะทำให้วงจรทั้งหมดไม่ทำงาน

คุณสมบัติที่สำคัญของวงจรอนุกรม

1. กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านเท่ากันและมีทิศทางเดียวกันตลอดทั้งวงจร
2. ความต้านทานรวมของวงจรจะมีค่าเท่ากับผลรวมของความต้านทานแต่ละตัวในวงจรรวมกัน
3. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมส่วนต่างๆ ของวงจร เมื่อนำมารวมกันแล้วจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิด

การเชื่อมต่อแบตเตอรี่วงจรแบบอนุกรม (Serial Connection)

การเชื่อมต่อแบตเตอรี่วงจรแบบอนุกรม หมายถึง วงจรที่มีโหนดตั้งแต่สองตัวมาต่อเรียงกันไป โดยนำปลาย ด้านหนึ่งของโหนดตัวแรกต่อกับปลายด้านหนึ่งของโหนดตัวที่สอง และปลายอีกด้านหนึ่งของโหนดตัวที่สองต่อกับปลายด้านหนึ่งของโหนดตัวที่สามและต่อถัดกันไปเรื่อย ๆ มีแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย ไฟฟ้าป้อนให้กับโหนดที่ต่อเรียงกัน



ภาพที่ 2-21 การเชื่อมต่อแบบอนุกรมของแบตเตอรี่

อุปกรณ์พกพาที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นให้เชื่อมต่อชุดแบตเตอรี่ที่มีสองเซลล์ขึ้นไปแบบอนุกรม ภาพที่ 2 แสดงชุดแบตเตอรี่ที่มีเซลล์ Li-ion 3.6V สี่ชุดต่อกันแบบอนุกรม หรือที่เรียกว่า 4S เพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าปกติ 14.4V



ภาพที่ 2-22 การเชื่อมต่อแบบอนุกรมของสี่เซลล์ (4s)

การเพิ่มเซลล์ในชุดจะเพิ่มแรงดันไฟฟ้า โดยความจุไฟฟ้ายังคงเหมือนเดิม หากคุณต้องการแรงดันไฟฟ้าเป็นเลขคี่ เช่น 9.50 โวลต์ ท่านสามารถทำได้ด้วยการเชื่อมต่อแบบอนุกรมเซลล์แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ห้าเซลล์ หากใช้เซลล์ NiMH หรือ NiCd ท่านต้องใช้จำนวน แบตเซลล์ หรือ Li-ion จำนวนสามเซลล์ แรงดันไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องตรงตามนั้นพอดี มันใช้ได้ตราบที่แรงดันไฟฟารวมที่ได้สูงกว่าที่อุปกรณ์ระบุ แหล่งจ่ายไฟ 12V อาจใช้แทน 9.50V อุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่ส่วนใหญ่สามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าเกินได้ อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าที่จุดสิ้นสุดตอนท้ายประจุด้วย

รถยนต์ mild hybrid บางรุ่นใช้ Li-ion 48V และใช้การแปลง DC-DC เป็น 12V สำหรับใช้ในระบบไฟฟ้า การสตาร์ทเครื่องยนต์มักจะทำโดยแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 12V ที่แยกต่างหาก รถยนต์

ไฮบริดยุคแรกใช้แบตเตอรี่ 148V โดยทั่วไปรถยนต์ไฟฟ้าจะใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 450–500V แบตเตอรี่ดังกล่าวต้องการใช้เซลล์ Li-ion มากกว่า 100 เซลล์เชื่อมต่อแบบอนุกรม

แบตเตอรี่แรงดันสูงต้องการการการจับคู่เซลล์อย่างระมัดระวังโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องใช้งานหนักหรือเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิเย็น ด้วยการเชื่อมต่อเซลล์หลายเซลล์ในแถวจึงมีความเป็นไปได้ที่เซลล์หนึ่งอาจล้มเหลว และอาจทำให้เกิดความล้มเหลวทั้งหมด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นสวิตช์ solid state ในแบตเตอรี่แพ็คเกจขนาดใหญ่บางแบบจะข้ามเซลล์ที่ล้มเหลวเพื่อให้กระแสไหลต่อเนื่องแม้ว่าจะมีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าที่กำหนดก็ตาม

การจับคู่เซลล์เป็นความท้าทายเมื่อมีการเปลี่ยนเซลล์ทดแทนเซลล์ที่ชำรุดในแบตเตอรี่แพ็คเกจที่อายุมาก เซลล์ใหม่มีความจุไฟฟ้าสูงกว่าเซลล์อื่นๆจึงเป็นสาเหตุของความไม่สมดุล การเชื่อมต่อประสานระหว่างขั้วเซลล์เป็นงานที่ซับซ้อน มันจึงเป็นสาเหตุอีกอันหนึ่งที่ทำให้การเปลี่ยนเซลล์มักจะเปลี่ยนทั้งชุดแบตเตอรี่แพ็คเกจ

แบตเตอรี่แรงดันสูงในรถยนต์ไฟฟ้า แบ่งแบตเตอรี่แพ็คเกจเป็นโมดูล แต่ละโมดูลจะประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่จำนวนหนึ่ง หากเซลล์ใดเซลล์หนึ่งเสีย โมดูลที่เกี่ยวข้องจะถูกเปลี่ยน ความไม่สมดุลของเซลล์จะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



ภาพที่ 2-23 แสดงชุดแบตเตอรี่ที่ "เซลล์ที่ 3" มีแรงดันไฟฟ้าเพียง 2.8V แทนที่จะเป็น 3.6V ตามปกติ ด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำแบตเตอรี่นี้จะถึงจุดสิ้นสุดการคายประจุเร็วกว่าก่อนปกติ แรงดันไฟฟ้าลดลงและอุปกรณ์ไฟฟ้าจะปิดตัวเอง พร้อมข้อความ "แบตเตอรี่ต่ำ"

การดักต่อไฟฟ้า (tapping) จากการเชื่อมต่อแบบอนุกรม

บางครั้งระบบมีความจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าที่มีแรงดันต่ำเพื่อทำงาน มีวิธีปฏิบัติทั่วไปในการแตะเข้าไปในชุดแบตเตอรี่อนุกรมของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่า แบตเตอรี่ขนาด 24V. ใช้สำหรับอุปกรณ์งานหนัก แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าช่วย(auxiliary)อาจต้องใช้แหล่งจ่ายไฟ 12V. สำหรับการทำงานเสริมและแรงดันไฟฟ้านี้สามารถใช้ได้อย่างสะดวกที่จุดครึ่งทางของชุดการต่ออนุกรม

การดักต่อไฟฟ้านั้นไม่แนะนำให้ทำเนื่องจากจะสร้างความไม่สมดุลของเซลล์เนื่องจากด้านหนึ่งของแบตเตอรี่จะได้รับโหลดมากกว่าอีกด้านหนึ่ง ยกเว้นจะมีเครื่องชาร์จพิเศษที่สามารถแก้ไขความแตกต่างได้ ผลข้างเคียงของการ tapping คืออายุการใช้งานแบตเตอรี่สั้นลง

การ tapping เป็นเรื่องปกติสำหรับแบตเตอรี่ Li-ion และแบตเตอรี่นิกเกิล ผลลัพธ์จะคล้ายกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด นั่นคืออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง

รถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์ไฮบริดมักใช้แบตเตอรี่แรงดันต่ำแยกต่างหากสำหรับป้อนให้ระบบ auxiliary

อุปกรณ์พกพาที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นให้เชื่อมต่อชุดแบตเตอรี่ที่มีสองเซลล์ขึ้นไปแบบอนุกรม ภาพที่ 2-24 แสดงชุดแบตเตอรี่ที่มีเซลล์ Li-ion 3.6V สี่ชุดต่อกันแบบอนุกรม หรือที่เรียกว่า 4S เพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าปกติ 14.4V



ภาพที่ 2-24 การเชื่อมต่อแบบอนุกรมของสี่เซลล์ (4s)

การเพิ่มเซลล์ในชุดจะเพิ่มแรงดันไฟฟ้า โดยความจุไฟฟ้ายังคงเหมือนเดิม หากคุณต้องการแรงดันไฟฟ้าเป็นเลขคี่ เช่น 9.50 โวลต์ ท่านสามารถทำได้ด้วยการเชื่อมต่อแบบอนุกรมเซลล์แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ห้าเซลล์ หากใช้เซลล์ NiMH หรือ NiCd ท่านต้องใช้จำนวน แบตเตอรี่ หรือ Li-ion จำนวนสามเซลล์ แรงดันไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องตรงตามนั้นพอดี มันใช้ได้ราบที่แรงดันไฟฟารวมที่ได้สูงกว่าที่อุปกรณ์ระบุ แหล่งจ่ายไฟ 12V อาจใช้แทน 9.50V อุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่ส่วนใหญ่สามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าเกินได้ อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าที่จุดสิ้นสุดตอนท้ายประจูด้วย

รถยนต์ mild hybrid บางรุ่นใช้ Li-ion 48V และใช้การแปลง DC-DC เป็น 12V สำหรับใช้ในระบบไฟฟ้า การสตาร์ทเครื่องยนต์มักจะทำโดยแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 12V ที่แยกต่างหาก รถยนต์ไฮบริดยุคแรกใช้แบตเตอรี่ 148V โดยทั่วไปรถยนต์ไฟฟ้าจะใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 450–500V แบตเตอรี่ดังกล่าวต้องการใช้เซลล์ Li-ion มากกว่า 100 เซลล์เชื่อมต่อแบบอนุกรม

แบตเตอรี่แรงดันสูงต้องการการจับคู่เซลล์อย่างระมัดระวังโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องใช้งานหนักหรือเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิเย็น ด้วยการเชื่อมต่อเซลล์หลายเซลล์ในแถวจึงมีความเป็นไปได้ที่เซลล์หนึ่งอาจล้นเหลว และอาจทำให้เกิดความล้มเหลวทั้งหมด เพื่อป้องกันไม่ให้นี้เกิดขึ้นสวิตช์ solid state ในแบตเตอรี่แพ็คเกจขนาดใหญ่บางแบบจะข้ามเซลล์ที่ล้นเหลวเพื่อให้กระแสไหลต่อเนื่องแม้ว่าจะมีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าที่กำหนดก็ตาม

การจับคู่เซลล์เป็นความท้าทายเมื่อมีการเปลี่ยนเซลล์ทดแทนเซลล์ที่ชำรุดในแบตเตอรี่แพ็คเกจ อายุมาก เซลล์ใหม่มีความจุไฟฟ้าสูงกว่าเซลล์อื่นๆจึงเป็นสาเหตุของความไม่สมดุลย์ การเชื่อมประสานระหว่างขั้วเซลล์เป็นงานที่ซับซ้อน มันจึงเป็นสาเหตุอีกอันหนึ่งที่ทำให้การเปลี่ยนเซลล์มักจะเปลี่ยนทั้งชุดแบตเตอรี่แพ็คเกจ

2.9.2 วงจรแบบขนาน (Parallel Circuit)

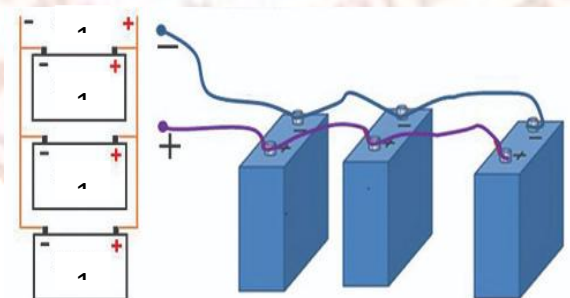
วงจรแบบขนาน (Parallel Circuit) คือ เป็นการนำเอาต้นของเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกๆ ตัวมาต่อรวมกัน และต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดที่จุดหนึ่ง นำปลายสายของทุกๆ ตัวมาต่อรวมกันและนำไปต่อกับแหล่งกำเนิดอีกจุดหนึ่งที่เหลือซึ่งเมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละอันต่อเรียบร้อยแล้วจะกลายเป็นวงจรย่อย กระแสไฟฟ้าที่ไหลจะสามารถไหลได้หลายทางขึ้นอยู่กับตัวของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาต่อขนานกัน ถ้าเกิดในวงจรมีเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวหนึ่งขาดหรือเปิดวงจรเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เหลือก็ยังสามารถทำงานได้ ในบ้านเรือนที่อยู่อาศัยปัจจุบันจะเป็นการต่อวงจรแบบนี้ทั้งสิ้น

คุณสมบัติที่สำคัญของวงจรขนาน

1. กระแสไฟฟ้ารวมของวงจรขนาน จะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าย่อยที่ไหลในแต่ละสาขาของวงจรรวมกัน
2. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมส่วนต่างๆ ของวงจร จะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิด
3. ความต้านทานรวมของวงจร จะมีค่าน้อยกว่าความต้านทานตัวที่น้อยที่สุดที่ต่ออยู่ในวงจร

การเชื่อมต่อแบตเตอรี่วงจรแบบขนาน (Parallel Connection)

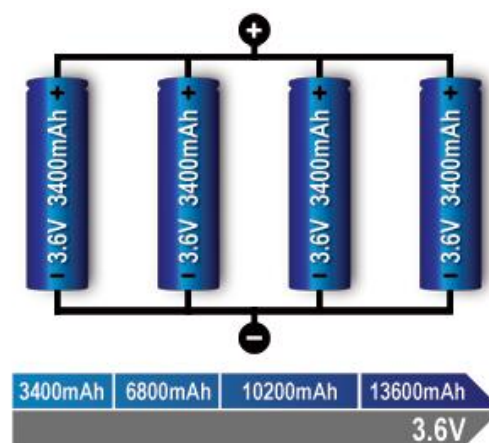
การเชื่อมต่อแบตเตอรี่วงจรแบบขนาน หมายถึง ในกรณีนี้ขั้วบวกทั้งหมดจะเชื่อมต่อกับตัวนำทั่วไปหนึ่งตัวและขั้วบวกทั้งหมดเป็นขั้วลบของแบตเตอรี่ที่เชื่อมต่อ วงจรนี้จะใช้เมื่อต้องการจำนวนแอมแปร์ที่เพิ่มขึ้นของแบตเตอรี่สะสมความจุรวม (กระแสที่ไหลมา) ของชุดประกอบที่เกิดขึ้นเท่ากับผลรวมของความจุ (กระแสที่ผ่าน) ของแหล่งพลังงานที่เชื่อมต่อ แรงดันไฟฟ้าจะเท่ากับแรงดันขององค์ประกอบที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดและจะเหมือนกันในทุกแหล่งที่มาของแบตเตอรี่ที่ได้



ภาพที่ 2-25 การเชื่อมต่อแบบขนานของแบตเตอรี่

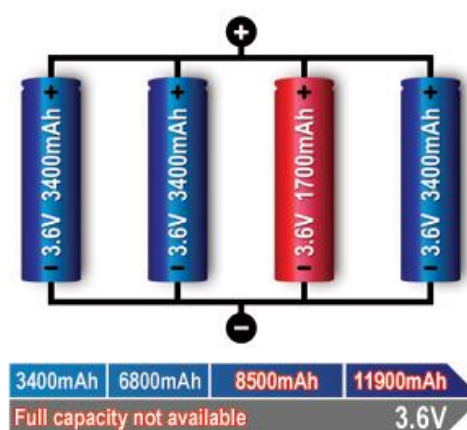
หากต้องการกระแสที่สูงขึ้นและเซลล์ขนาดใหญ่ไม่มีให้ใช้งานหรือไม่เหมาะสมกับข้อจำกัดของการออกแบบ เราสามารถใช้การเชื่อมต่อเซลล์แบบขนานได้ แบตเตอรี่ทุกชนิดส่วนใหญ่สามารถต่อกัน

แบบขนานได้โดยมีผลข้างเคียงเพียงเล็กน้อย ภาพที่ 2-26 แสดงเซลล์จำนวนสี่เซลล์เชื่อมต่อกันแบบขนานในการจัดเรียง 4P แรงดันไฟฟ้าปกติของชุดแบตเตอรี่ยังคงอยู่ที่ 3.60V แต่ความจุ (Ah) และเวลาใช้งานเพิ่มขึ้นสี่เท่า



ภาพที่ 2-26 การเชื่อมต่อแบบขนานของสี่เซลล์ (4p)

เซลล์ที่มีความต้านทานสูงหรือล้าในกระบวนการเชื่อมต่อแบบขนาน ก่อให้เกิดความเสียหายน้อยกว่าการต่อแบบอนุกรม แต่เซลล์ที่ล้าจะลดความสามารถในการรับโหลดทั้งหมด เปรียบเสมือนเครื่องยนต์ที่ทำงานเพียงสามสูบแทนที่จะทำงานได้ครบสี่สูบ ในทางกลับกันเซลล์ที่ขอร์ทันร้ายแรงกว่าเนื่องจากเซลล์ที่ทำงานผิดพลาดดึงพลังงานจากเซลล์อื่นทำให้เกิดอันตรายจากไฟไหม้ ชุดแบตเตอรี่มักจะมีฟิวส์ที่ตัดการเชื่อมต่อเซลล์ที่ล้าออกจากวงจรขนานถ้าเซลล์นั้นเกิดการขอร์ทัน ภาพที่ 2-27 แสดงการเชื่อมต่อแบบขนานที่มีเซลล์หนึ่งเซลล์ล้า



ภาพที่ 2-27 แสดงการเชื่อมต่อแบบขนานที่มีเซลล์หนึ่งเซลล์ล้า

2.9.3 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่วงจรแบบผสม (Series-Parallel Connection)

การเชื่อมต่อแบตเตอรี่วงจรแบบผสม (Series-Parallel Connection) คือการนำแบตเตอรี่หลายก้อนมาเชื่อมต่อกันทั้งแบบอนุกรม (Series) และแบบขนาน (Parallel) เพื่อให้ได้ทั้งแรงดันไฟฟ้าและความจุที่ต้องการ

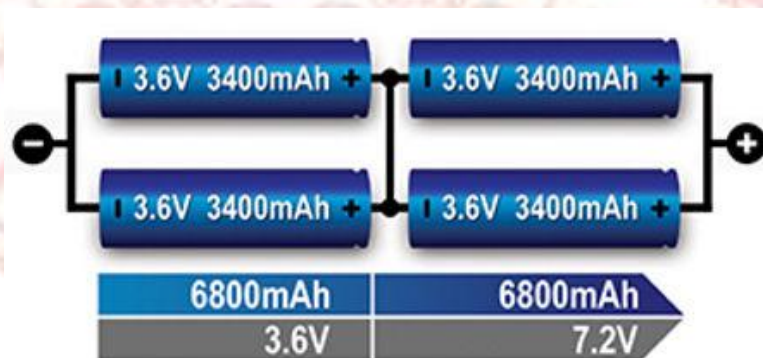
หลักการทำงาน

การเชื่อมต่อแบบผสมจะแบ่งแบตเตอรี่ออกเป็นกลุ่มย่อย โดยแต่ละกลุ่มอาจจะเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมหรือแบบขนาน จากนั้นจึงนำกลุ่มย่อยเหล่านั้นมาเชื่อมต่อกันในลักษณะที่แตกต่างออกไป

ลักษณะสำคัญของการเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบผสม

- แรงดันไฟฟ้า (Voltage): แรงดันไฟฟ้ารวมของวงจรจะขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อมต่อแบบอนุกรมในแต่ละกลุ่มย่อย
- กระแสไฟฟ้า (Current): กระแสไฟฟ้ารวมของวงจรจะขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อมต่อแบบขนานระหว่างกลุ่มย่อย
- ความจุ (Capacity): ความจุรวมของวงจรจะขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อมต่อแบบขนานระหว่างกลุ่มย่อย

การต่อแบบผสมที่แสดงในภาพที่ 5 ทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการออกแบบเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสที่ต้องการด้วยขนาดเซลล์มาตรฐาน กำลังไฟฟ้าทั้งหมดคือผลรวมของแรงดันไฟฟ้าคูณกระแสไฟฟ้า เซลล์ 3.6V (ปกติ) คุณด้วย 3,400mAh ให้กำลังไฟฟ้า 12.24Wh เซลล์แบบ 18650 ขนาด 3,400 mAh จำนวน 4 เซลล์สามารถต่อแบบอนุกรมและขนานตามรูปเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าปกติ 7.2V และกำลังไฟฟ้า 48.96 Wh หากรวมกัน 8 เซลล์จะให้พลังงาน 97.92Wh ซึ่งเป็นขีด จำกัด ที่อนุญาตสำหรับการนำขึ้นเครื่องบินหรือขนส่งโดยไม่มีวัตถุอันตราย Class 9 เซลล์เล็กๆช่วยให้ออกแบบแบตเตอรี่แพ็คได้อย่างยืดหยุ่น แต่จำเป็นต้องมีวงจรป้องกัน



ภาพที่ 2-28 การเชื่อมต่อแบบอนุกรม / ขนานของสี่เซลล์ (2s2p)

Li-ion สามารถนำมาต่อแบบอนุกรม / ขนาน ได้ แต่เซลล์ต้องมีวงจรตรวจสอบเพื่อให้แรงดันและกระแสอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด IC เฉพาะสำหรับการต่อเซลล์ Li-ion สามารถควบคุมเซลล์ได้ถึง 13 เซลล์ แพ็คขนาดใหญ่ต้องใช้วงจรเฉพาะที่กำหนดเองและใช้งานกับแบตเตอรี่ e-bike รถยนต์ไฮบริด

และ Tesla Model S85 ที่ใช้เซลล์แบบ 18650 มากกว่า 7,000 เซลล์เพื่อสร้างแบตเตอรี่แพ็คที่ให้กำลังถึงขนาด 90kWh

ข้อดีของการเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบผสม

- สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าและความจุได้ตามต้องการ ทำให้มีความยืดหยุ่นในการออกแบบระบบไฟฟ้า
 - เพิ่มความน่าเชื่อถือ หากแบตเตอรี่ก้อนใดก้อนหนึ่งในกลุ่มขนานมีปัญหา วงจรโดยรวมยังสามารถทำงานต่อไปได้ (แต่ประสิทธิภาพอาจลดลง)
- ข้อเสียของการเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบผสม
- มีความซับซ้อนในการเชื่อมต่อ ต้องวางแผนและเชื่อมต่ออย่างระมัดระวัง
 - ต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน เพื่อให้การทำงานของวงจรมีประสิทธิภาพและป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้น

ข้อควรระวังในการเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบผสม

- ใช้แบตเตอรี่ที่มีชนิด, แรงดันไฟฟ้า, และความจุเท่ากัน เพื่อป้องกันการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไม่สมดุลระหว่างแบตเตอรี่
- ตรวจสอบขั้วให้ถูกต้องก่อนทำการเชื่อมต่อ การเชื่อมต่อขั้วผิดอาจทำให้แบตเตอรี่เสียหายหรือเกิดอันตรายได้
- ควรมีระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System - BMS) โดยเฉพาะในระบบที่ใช้แบตเตอรี่จำนวนมาก เพื่อควบคุมการชาร์จและการคายประจุของแบตเตอรี่แต่ละก้อนให้สมดุล และป้องกันความเสียหาย

ข้อควรระวังในการเชื่อมต่อ

ด้วยวิธีการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ทั้งหมดจะต้องปฏิบัติตามข้อควรระวังจำนวนหนึ่ง

1. ปฏิบัติตามมาตรการความปลอดภัยสำหรับการทำงานของการทำงานของติดตั้งระบบไฟฟ้าเพื่อไม่รวมไฟฟ้าช็อต (สิ่งสำคัญคือไม่ต้องสร้างเส้นทางปัจจุบันผ่านร่างกายมนุษย์)
2. สังเกตขั้วของการเชื่อมต่อ
3. อย่าสร้างวงจรสั้น
4. เมื่อประกอบแบตเตอรี่ให้ปลดการะจากพวกเขา
5. เชื่อมต่อเครื่องชาร์จกับแบตเตอรี่เมื่อถูกตัดการเชื่อมต่อจากเครือข่าย
6. ควรทำงานในชุดฉนวนและรองเท้าที่เหมาะสมโดยไม่มีวัตถุที่เป็นโลหะซึ่งอาจทำให้การสัมผัสและลัดวงจร
7. อย่าสัมผัสขั้วแบตเตอรี่ด้วยมือของคุณโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้วยสองมือที่เสถียร ๆ (ซึ่งเป็นอันตรายอย่างยิ่งกับแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพด้วยแรงดันสูง)
8. ใช้เครื่องมือพิเศษที่มีชิ้นส่วนฉนวน
9. คำนึงถึงกระแสที่ไหลผ่านแบตเตอรี่สะสมและโหลดและตัวนำที่เหมาะสมสำหรับการตัดขวาง

10. เมื่อเชื่อมต่อองค์ประกอบเข้ากับแบตเตอรี่หนึ่งก้อนให้แน่ใจว่าได้สัมผัสและไว้วางใจได้จากอิทธิพลภายนอก

11. เพื่อให้การป้องกันที่เชื่อถือได้ของแบตเตอรี่สำเร็จรูปจากไฟฟ้าลัดวงจรและความชื้น

12. ตรวจสอบแบตเตอรี่ที่ประกอบอย่างระมัดระวังเพื่อหาข้อผิดพลาดในการแลกเปลี่ยน

สิ่งนี้อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดเมื่อเชื่อมต่อแบตเตอรี่

1. เพื่อกำจัดข้อผิดพลาดเมื่อเชื่อมต่อแบตเตอรี่ขอแนะนำให้ใช้ตัวเชื่อมต่อพิเศษที่กำจัดข้อผิดพลาดในการสลับแผ่นอะแดปเตอร์ T-Plug หากเชื่อมต่อแบตเตอรี่อย่างไม่ถูกต้องในชุดประกอบเดียวกันอาจมีข้อผิดพลาดที่อาจทำให้เกิดผลกระทบร้ายแรง

2. เมื่อมีการเชื่อมต่อแบบขนานวงจรลัดวงจรจะเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีที่รุนแรงจะเกิดขึ้นในแบตเตอรี่ซึ่งจะนำไปสู่การรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์การเสียรูปของไฟไหม้หรือแม้กระทั่งการระเบิด

3. ด้วยการลัดวงจรที่ยาวนานของแบตเตอรี่หนึ่งหรือหลายก้อนการจุดระเบิดของฉนวนการละลายของตัวนำปฏิกิริยารุนแรงภายในแบตเตอรี่การรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ความผิดปกติของตัวเรือนไฟหรือการระเบิดเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

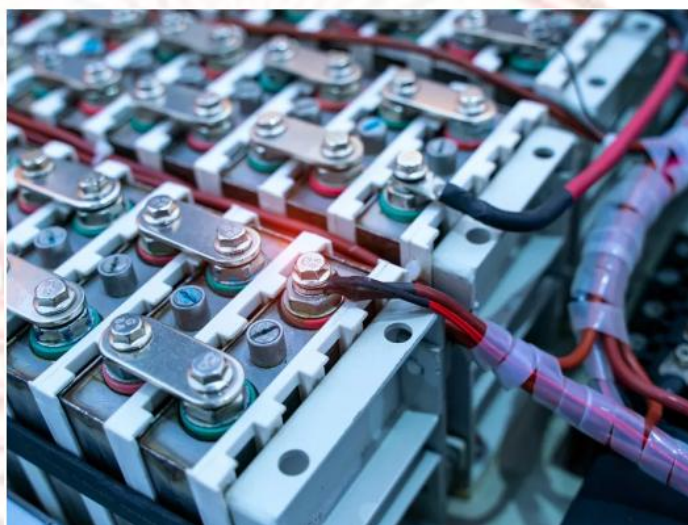
4. เมื่อมีการลัดวงจรของหน้าสัมผัสแบตเตอรี่จะยังคงใช้งานได้ แต่สถานะของขั้วไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่เสื่อมสภาพอาจทำให้ความจุลดลง

5. เมื่อใช้ตัวนำที่ไม่ได้ออกแบบมาสำหรับกระแสนพวกเขาจะร้อนมากเกินไปจนของพวกเขาจะละลายซึ่งอาจนำไปสู่การลัดวงจรและผลที่ตามมา

2.10 วิธีการประกอบแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า

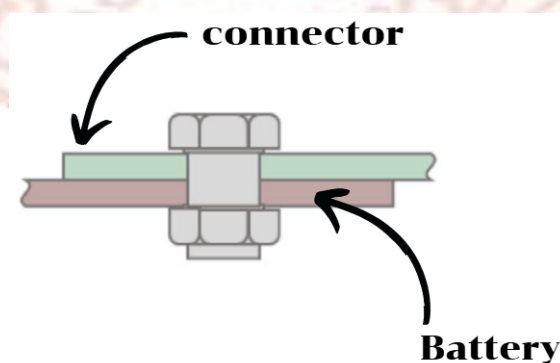
ซึ่งในการประกอบแบตเตอรี่เป็นปัจจัยหลักในการบอกขนาดรูปทรงพื้นที่ในการจัดวางและค่าความจุมาตรฐานตามที่ได้รับการออกรถยนต์ไฟฟ้ารุ่นนั้นเพื่อให้สอดคล้องเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงผลต่อการประกอบแบตเตอรี่เพื่อให้ได้ตามขนาดรูปทรงและค่าพลังงานที่ต้องการโดยคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานเป็นหลัก โดยในประกอบนั้นมีหลายวิธี โดยที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันมี การขันน็อต การบัดกรี และการ Spot welding

2.10.1 วิธีการประกอบแบตเตอรี่แบบขันน็อต Tighten the bolts & Nuts



ภาพที่ 2-28 วิธีการขันน็อต Tighten the bolts & Nuts

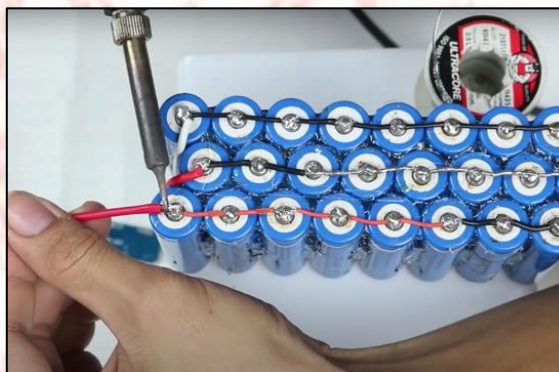
การขันน็อตเป็นอีกวิธีหนึ่งในการเชื่อมต่อเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียม โดยข้อดีของการขันน็อตแบตเตอรี่ลิเธียมมีดังนี้ การขันน็อตให้การเชื่อมต่อที่แข็งแรงและมั่นคง ทำให้การเชื่อมต่อระหว่างเซลล์แบตเตอรี่อยู่ในสภาพดี ไม่หลวมง่ายเมื่อมีการสั่นสะเทือนหรือกระแทก การขันน็อตทำให้การถอดเปลี่ยนเซลล์แบตเตอรี่เป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษหรือการเชื่อมใด ๆ ทำให้ง่ายต่อการซ่อมแซมหรือปรับปรุง การขันน็อตไม่ได้สร้างความร้อนเหมือนการเชื่อมด้วยไฟฟ้า ซึ่งลดความเสี่ยงในการเกิดความร้อนสะสมที่อาจทำให้แบตเตอรี่เสียหาย สามารถปรับแต่งหรือเพิ่มเซลล์แบตเตอรี่ได้ง่าย โดยเพียงแค่คลายน็อตแล้วเพิ่มหรือปรับเซลล์ใหม่



ภาพที่ 2-29 วิธีการขันน็อต Tighten the bolts & Nuts

แต่ข้อเสียของการขันน็อต หากน็อตขันไม่แน่นหรือมีการสั่นสะเทือนมาก การเชื่อมต่ออาจหลวม ทำให้เกิดการลัดวงจรหรือการทำงานผิดพลาด การใช้การขันน็อตอาจจำกัดความยืดหยุ่นในการออกแบบการประกอบแบตเตอรี่ เนื่องจากต้องมีพื้นที่สำหรับการติดตั้งน็อตและหมุดยึด ซึ่งอาจไม่เหมาะสำหรับการออกแบบที่มีพื้นที่จำกัด การใช้น็อตและหมุดยึดอาจเพิ่มขนาดและน้ำหนักของการประกอบแบตเตอรี่ ทำให้เป็นเรื่องท้าทายในการออกแบบระบบที่ต้องการความเบาและกะทัดรัด ซึ่งอาจเกิดการกัดกร่อนหรือการเสื่อมสภาพจากการสัมผัสกับสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นหรือการสัมผัสกับสารเคมี ซึ่งอาจลดความทนทานของการเชื่อมต่อ ในบางสภาพแวดล้อมที่รุนแรงหรือการใช้งานที่ต้องการความทนทานสูง การขันน็อตอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากอาจเกิดปัญหาในการยึดติด

2.10.2 วิธีการประกอบแบตเตอรี่แบบบัดกรี soldering

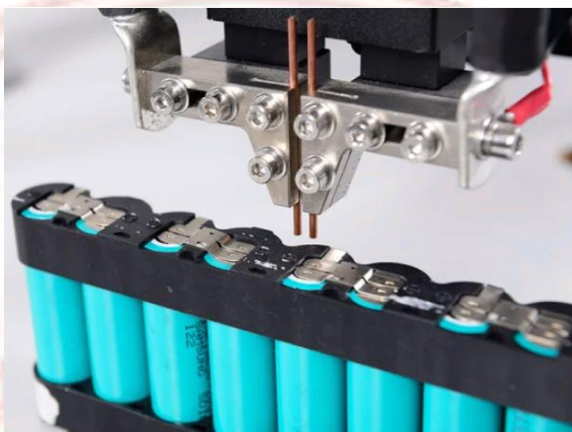


ภาพที่ 2-30 วิธีการบัดกรี soldering

การเชื่อมต่อแบบบัดกรีสำหรับเซลล์แบตเตอรี่โดยการ เส้นทางของกระแสไฟฟ้าจึงแตกต่างจากการเชื่อมต่อแบบเชื่อม มีการใช้เครื่องมือความต้านทานและการจำลองแบบจำลององค์ประกอบไฟไนต์ (FEM) เพื่อทำความเข้าใจเส้นทางของกระแสไฟฟ้าเหล่านี้ สำหรับสถานการณ์การทดสอบที่เลือก การจำลองจะทำนายการลดลงของความต้านทานการเชื่อมต่อทั้งหมดโดยชั้นบัดกรี สำหรับการบัดกรีเหล็กบนเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน อุณหภูมิของเหลวของตะกั่วบัดกรีควรต่ำกว่าประมาณ 150 องศาเซลเซียส เทคนิคการให้ความร้อนแบบอื่น เช่น การบัดกรีด้วยเลเซอร์ ดูเหมือนจะมีแนวโน้มดีกว่า เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นรวดเร็วและเกิดขึ้นเฉพาะจุด

การประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมด้วยวิธีการบัดกรีเป็นกระบวนการที่ใช้กันวิธีหนึ่ง โดยมีข้อดีคือการบัดกรีช่วยให้สามารถปรับแต่งการเชื่อมต่อหรือการประกอบแบตเตอรี่ตามความต้องการสำหรับการประกอบเอง แต่ข้อเสียของการบัดกรีแบตเตอรี่ลิเทียมอาจทำให้แบตเตอรี่ร้อนเกินไป ซึ่งสามารถนำไปสู่การระเบิดหรือลุกไหม้ได้หากไม่ทำด้วยความระมัดระวัง การบัดกรีต้องการทักษะและความชำนาญในการทำงาน หากทำไม่ถูกต้องอาจทำให้การเชื่อมต่อไม่ดีหรือลัดวงจร อาจส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง เนื่องจากความร้อนทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น การบัดกรีสร้างการเชื่อมต่อถาวร ซึ่งทำให้การถอดหรือปรับปรุงแบตเตอรี่ทำได้ยากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ขั้วต่อแบบถอดได้

2.10.3 วิธีการประกอบแบตเตอรี่แบบเชื่อมจุด Spot welding



ภาพที่ 2-30 วิธีการประกอบแบตเตอรี่แบบเชื่อมจุด Spot welding

การ Spot Welding [2] ในการเชื่อมแบตเตอรี่ลิเธียมมีข้อดีหลายประการที่ทำให้เป็นวิธีการที่นิยมใช้ ซึ่งใช้เวลาในการเชื่อมแต่ละจุดเพียงไม่กี่วินาที ทำให้สามารถเชื่อมแบตเตอรี่ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมตำแหน่งและขนาดของจุดเชื่อมได้อย่างแม่นยำ ทำให้การเชื่อมมีคุณภาพสูงและสม่ำเสมอ การ Spot Welding [3] ปลดปล่อยกระแสไฟฟ้าในระยะเวลาสั้น ทำให้เกิดความร้อนสะสมน้อยกว่าการเชื่อมแบบบัดกรี ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงในการทำลายเซลล์แบตเตอรี่ง่าย เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และเหมาะสมสำหรับการเชื่อมแบตเตอรี่ลิเธียม ข้อเสียของการ Spot Welding หากการตั้งค่าเครื่อง Spot Welder ไม่ถูกต้อง เช่น ใช้กระแสไฟฟ้าสูงเกินไปหรือเวลานานเกินไป อาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายภายใน หรือในกรณีร้ายแรงอาจทำให้แบตเตอรี่ระเบิดหรือเกิดไฟไหม้ได้ และหากมีการเชื่อมหลายจุดใกล้กันในระยะเวลาสั้นๆ อาจทำให้เกิดความร้อนสะสมที่เป็นอันตรายต่อเซลล์แบตเตอรี่

2.11 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger)

เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับวัดค่า และ บันทึกข้อมูลในรูปแบบสัญญาณชนิดต่างๆ โดยมีเซ็นเซอร์รับค่าในรูปแบบของอนุาล็อก และ ส่งผ่านเครื่องแปลงสัญญาณ (Signal Converter) ให้กลายเป็นดิจิตอล และ นำไปเก็บในหน่วยความจำของเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิเพื่อการนำไปใช้ต่อไป หรือ นำมาแสดงผลบนหน้าปัดของเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ หรือ บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้โดยการนำเสนอข้อมูลที่ได้จากเครื่องบันทึกค่า อุณหภูมิมี 3 รูปแบบ คือ รูปแบบตาราง รูปแบบกราฟ และ ใช้โปรแกรมในการนำเสนอ (Excel) [10]



ภาพที่ 2-29 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ [10]

2.12 เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester)

เครื่องวัดแบตเตอรี่ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสถานะของแบตเตอรี่ เครื่องวัดแบตเตอรี่ สำหรับการทดสอบประจุที่มีอยู่ในเซลล์และแรงดันไฟฟ้า (Voltage output) เครื่องวัดแบตเตอรี่ และการทดสอบสภาพแบตเตอรี่ที่ครอบคลุมมากขึ้น ได้แก่ การทดสอบความสามารถในการสะสมประจุ และข้อบกพร่องที่มีผลต่อประสิทธิภาพ และ ความปลอดภัยของแบตเตอรี่



ภาพที่ 2-30 Battery Tester

2.13 เครื่องวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

เครื่องวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ โดยทั่วไปเรียกว่า เครื่องวัดค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ หรืออาจเรียกว่า เครื่องทดสอบความต้านทานภายในแบตเตอรี่ ในภาษาอังกฤษมักจะเรียกว่า "Battery Internal Resistance Tester" หรือบางครั้งก็เรียกว่า "Battery Impedance Meter" ความต้านทานภายใน (Internal Resistance of Battery) หรือ เรียกสั้นๆว่า IR เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความสามารถของแบตเตอรี่ในการรับกระแสไฟฟ้า เมื่อค่าความต้านทานภายในต่ำ แบตเตอรี่จะสามารถรับกระแสไฟได้มาก ในทางกลับกัน แบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในสูงจะจ่ายกระแสไฟได้น้อยลง



ภาพที่ 2-30 เครื่องวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภาคภูมิ และ ไพศาล (พ.ศ.2564) ทดลองเกี่ยวกับการการระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า โดยใช้ของไหลเฟอร์โร (Ferrofluid)เป็นของไหลหล่อเย็นจากการทดลอง พบว่าของไหลเฟอร์โรที่ความเข้มข้น 0.015% เมื่อเปรียบเทียบกับของเหลวชนิดอื่น ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่าของไหลชนิดอื่น 20-30%

Abu Raihan (2564) ทดลองเกี่ยวกับชุดแบตเตอรี่ในการระบายความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก โดยสร้างภาระการทำความเย็นด้วยการจ่ายไฟให้กับ ฮีตเตอร์ที่ติดอยู่กับเซลล์ในการจำลองก้อนแบตเตอรี่ ในสภาพแวดล้อม เพื่อการจัดการอุณหภูมิจากการทดลอง มีขีดจำกัดของระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกอุณหภูมิของแบตเตอรี่ต้องไม่เกิน 30°C ในการทดสอบฮีตเตอร์ 30 V

นันทรัตน์ (2556) การศึกษาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมีแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้ลิเทียมไอรอนฟลูออโรฟอสเฟตเป็นขั้วแคโทด โดยสังเคราะห์ผง $LiFePO_4F$ ด้วยวิธี Solid-state แล้วนำมาผ่านกระบวนการทางความร้อน จากนั้นนำไปวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของผงอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด นำผงไปขึ้นรูปเป็นขั้วแคโทดและประกอบเซลล์แบตเตอรี่ จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วยเครื่อง Charge-Discharge โดยผลที่ได้พบว่าการสังเคราะห์ผง $LiFePO_4F$ ด้วยวิธี Solid-state มีโครงสร้างผลึกแบบ Triclinic P1 และลักษณะ

โครงสร้างเป็นแบบ Tavorite ที่มีขนาดของอนุภาคในระดับนาโนเมตรเฉลี่ยประมาณ 700 นาโนเมตร โดยโครงสร้างภายในผลึกของแบตเตอรี่ที่ผ่านการชาร์จและดิสชาร์จเป็นจำนวน 30 รอบ จะมีระนาบผลึกที่เปลี่ยนแปลงไป โดยจะส่งผลโดยตรงต่อ Capacity loss ที่เกิดขึ้นในตอนชาร์จเนื่องจากลิเทียมไอออนมีการเคลื่อนที่ออกจากโครงสร้างขั้วแคโทด อย่างรวดเร็วจำทำให้ระนาบผลึกมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ขนาดของอนุภาค ขนาดของผลึกและปริมาตรหน่วยเซลล์ เปลี่ยนแปลงไปด้วยและจะส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยตรง ซึ่งแบตเตอรี่ที่ผ่านการทดสอบการชาร์จแบบใช้กระแสคงที่ที่อัตราการชาร์จ 0.5C และ 2C จะมีความจุแบตเตอรี่ในตอนชาร์จครั้งแรกที่ 129 mAh/g และ 102 mAh/g เมื่อผ่านการทดสอบเป็นจำนวน 30 รอบพบว่าเหลือความจุแบตเตอรี่ 114 mAh/g และ 63 mAh/g หรือเหลือความจุเพียง 88 เปอร์เซ็นต์ และ 61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สรารุณี และคณะ (2564) ได้ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า ด้วยโมดูลการทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับการใช้ของไหลเพอร์โรเป็นของไหลหล่อเย็น ในการออกแบบการ ทดลองจะศึกษาตัวแปรตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ ใช้น้ำและของไหลเพอร์โรเป็นของไหลหล่อเย็น อัตราการไหลของของไหลหล่อเย็น ความเข้มข้นของอนุภาคเพอร์โรต่อน้ำที่อัตราส่วน 0.005% และ 0.015% โดยปริมาตร เพื่อออกแบบและทำนายคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของของไหลและเพื่อหา ลักษณะการไหลที่ เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตของไหลหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อน ส่วนภาระทางความร้อนจะเป็นชุดแบตเตอรี่ที่ใช้เซลล์ แบตเตอรี่ทรงกลมชนิด 18650 ขนาดแรงดัน 3.7 – 4.2 โวลต์และ ความจุขนาด 3.4 แอมป์ต่อชั่วโมง จะต่อเข้าด้วยกัน แบบอนุกรมและขนาน โดยต่อแบบอนุกรม 6 ก้อนและต่อแบบขนาน 10 แพค เพื่อให้ได้แรงดันระหว่าง 22.2 – 25.2 โวลต์ ที่ความจุ 34,000 แอมป์ต่อชั่วโมง จากการทดลองพบว่า ของไหลเพอร์โรที่ความเข้มข้น 0.015% เป็นของไหลหล่อเย็นประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่าของไหลเพอร์โรความเข้มข้น 0.005% และ น้ำประมาณ 20% และ 30% ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองดังกล่าวนี้จะสามารถผลิตน้ำเย็นก่อนไหลเข้าสู่ชุดแบตเตอรี่ จากผลการทดลองนี้ สามารถนำไปใช้พัฒนาระบบระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าได้ในอนาคต

S. Wiriyasart และคณะ (2563) ได้ทำการวิจัยเลือกวิธีการทำความเย็นที่เหมาะสมกับรถไฟฟ้าโมดูลแบตเตอรี่รถยนต์เพื่อรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและทำการวิเคราะห์เชิงคำนวณ โดยพบว่า ความหนาแน่นพลังงานสูงของก้อนแบตเตอรี่จำเป็นต้องมีการพัฒนาการถ่ายเทความร้อน เพื่อกระจายความร้อนที่ออกจากก้อนแบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอเพื่อรักษาประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และอายุใช้งานของแบตเตอรี่ เนื่องจากพื้นที่จำกัด และความสามารถในการทำความเย็นของระบบทำความเย็นที่ติดตั้งในรถยนต์ไฟฟ้า จึงมีการพัฒนาประสิทธิภาพการทำความเย็นที่เหมาะสมที่สุด ผลลัพธ์เชิงตัวเลขของนาโนฟลูอิดที่ไหลผ่านช่องลูกฟูกขนาดเล็กของโมดูลทำความเย็น

แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าได้ถูกนำเสนอ ผลกระทบของทิศทางขาเข้าและการไหลของน้ำหล่อเย็นที่มี อัตราการไหลของมวลน้ำและนาโนฟลูอิดต่างๆ ถูกนำเสนอ ความจุของการกระจายความร้อนจะ เพิ่มขึ้นในตอนแรกที่ต้นน้ำ และลดลงตามปลายน้ำ พบว่าแบบจำลองที่เสนอ สอง มีค่าอุณหภูมิสูงสุด ของอุณหภูมิพื้นผิวแบตเตอรี่ลดลง 27.59% เมื่อเทียบกับโมดูลทำความเย็นทั่วไปรุ่นแรก นอกจากนี้ การเคลื่อนที่ของอนุภาคนาโนที่แขวนลอยในของเหลวพื้นฐานมีผลอย่างมากต่อการทำความเย็น ซึ่ง ส่งผลให้อุณหภูมิแบตเตอรี่สูงสุดลดลงสำหรับความเข้มข้นของนาโนฟลูอิดที่สูงขึ้น แบบจำลองที่เสนอนี้ สามารถปรับระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่ให้เหมาะสมสำหรับโมดูลทำความเย็น แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า

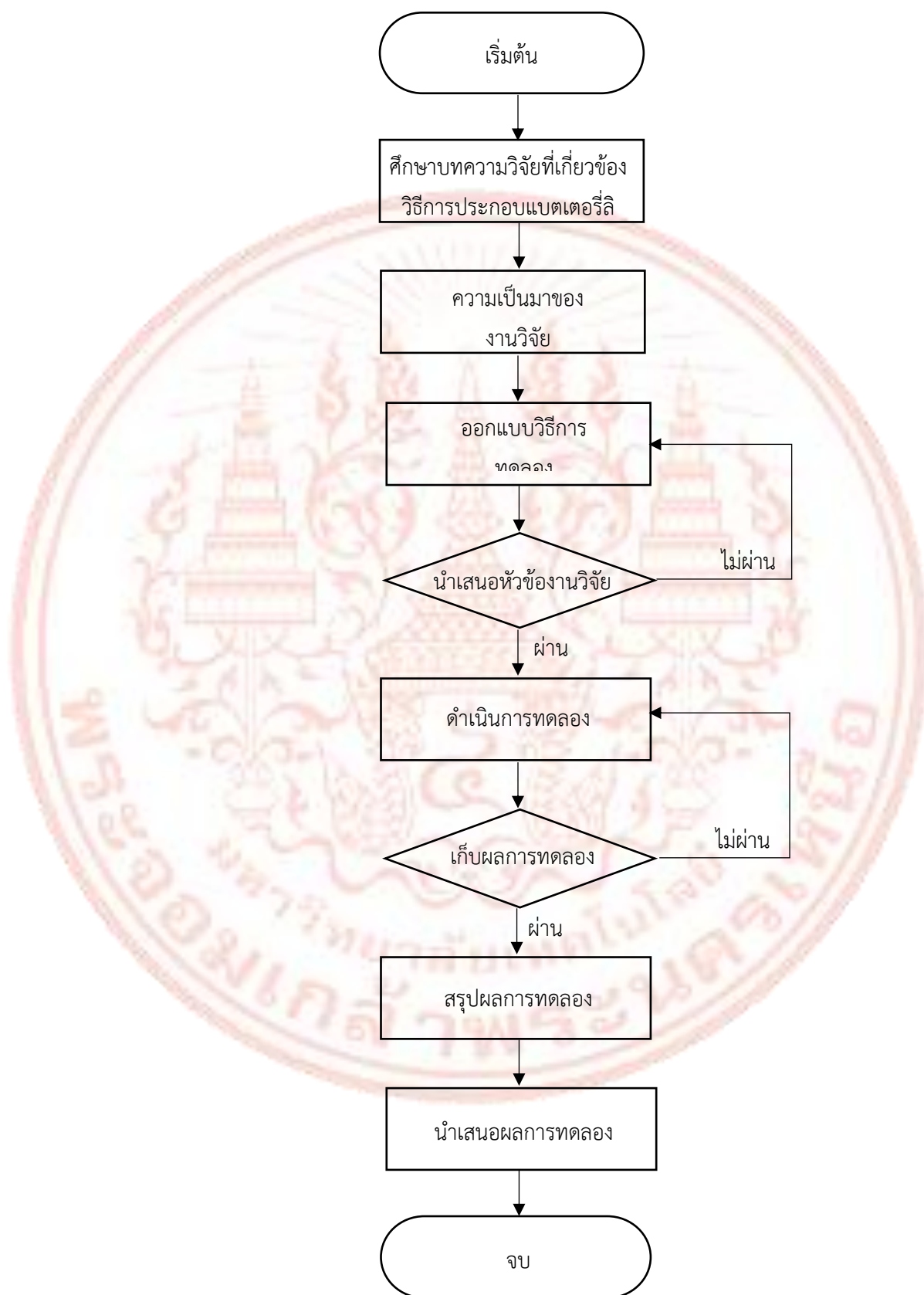


บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด ที่เหมาะสมต่อการประกอบแบตเตอรี่ อาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความร้อนเกินอาจส่งผลให้แบตเตอรี่มีอายุสั้นลงและอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ และมีผลต่อค่าความต้านทานของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต่อประสิทธิภาพการชาร์จและการจ่ายไฟลดลง และทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยจะมีวิธีการดำเนินงานดังนี้

- 3.1 ศึกษาข้อมูล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของ
- 3.2 การออกแบบชุดทดลองการหาค่าความร้อนของ แบตเตอรี่ลิเทียม
- 3.3 ผลการจำลองโมดูลแบตเตอรี่
- 3.4 ออกแบบสร้างชุดการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่
- 3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.6 ดำเนินการทดลอง และเก็บผล



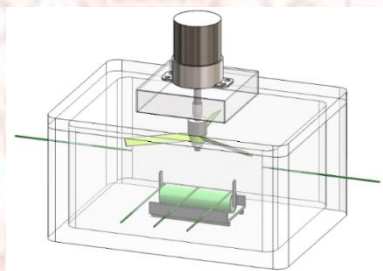
ภาพที่ 3-1 แผนการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาข้อมูล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

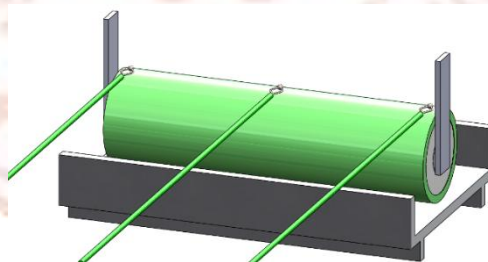
3.1.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด ในปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นรวมถึงการศึกษาหาข้อมูลที่ใช้ทำให้แบตเตอรี่เกิดความร้อนจนทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง โดยศึกษาจากการอ่านงานวิจัย หนังสือที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการหาข้อมูลในอินเทอร์เน็ต

3.2 การออกแบบชุดทดลองการหาค่าความร้อนของ แบตเตอรี่ลิเทียม

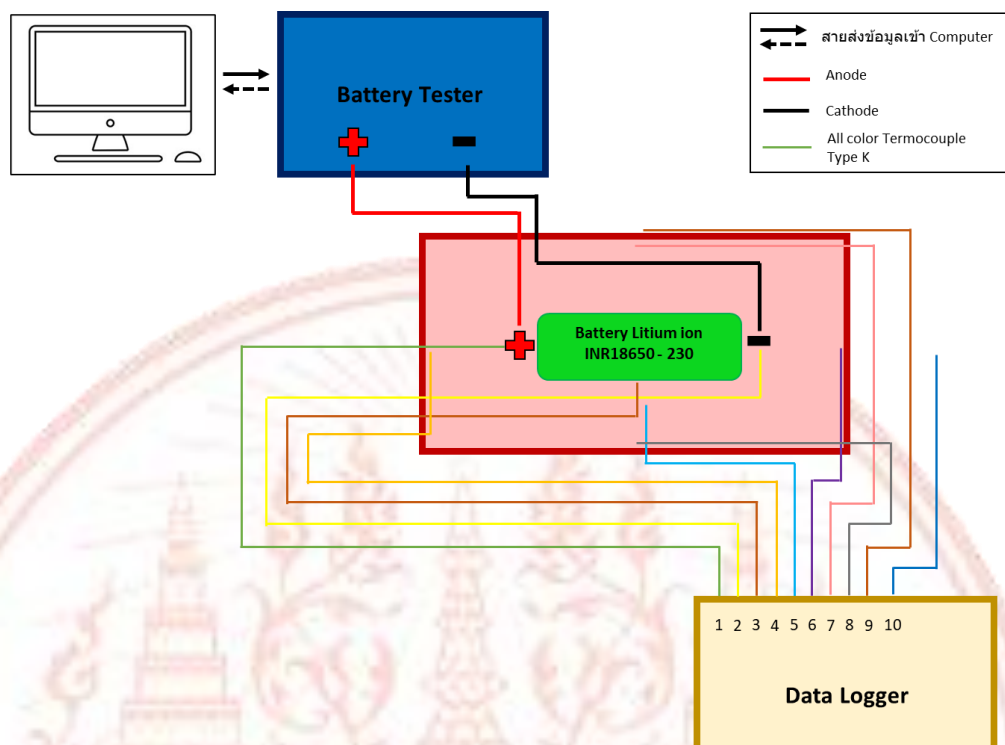
ออกแบบชุดทดลองขึ้นเพื่อต้องการหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมเพื่อทำการหาค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่เพื่อที่จะนำค่าความร้อนไปออกแบบตัวอุปกรณ์ Evaporator โดยแบบชุดทดลองจะเริ่มใช้แบตเตอรี่ลิเทียม 1 ก้อน ขนาด 3.7V 3400mAh จากนั้นทำการทดสอบโดยเครื่อง Battery Tester เพื่อให้แบตเตอรี่เกิดความร้อน และใช้กล่องโฟมทำการเจาะรูใส่ Fan and Motor เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิจากนั้นทำการวัดค่า โดยใช้ Thermocouple type K ทำการวัดจุดแต่ละจุดของแบตเตอรี่รวมถึง Fan and Motor เพื่อทำการพล็อตกราฟ และ วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ความเย็นชนิดไหนในการทำให้แบตเตอรี่ไม่เกิดความร้อนมากเกินไป



ภาพที่ 3-2 การจัดวางแบตเตอรี่ภายในกล่องโฟม



ภาพที่ 3-3 รูปแบบการติดตั้งสาย Thermocouple type K ที่ติดกับแบตเตอรี่



ภาพที่ 3-4 รูปแบบวงจรการทดลอง

โดย Thermocouple type K ที่ใช้จะติดตั้งทั้งหมด 10 จุดดังนี้

หมายเลข 1 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ด้านซ้าย

หมายเลข 2 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ด้านขวา

หมายเลข 3 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ตรงกลาง

หมายเลข 4 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านซ้าย ฝาผนังภายในถัง Thermostatic chamber

หมายเลข 5 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับตรงกลาง ฝาผนังภายในถัง Thermostatic chamber

หมายเลข 6 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านขวา ฝาผนังภายในถัง Thermostatic

หมายเลข 7 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านบน ภายในถัง Thermostatic

หมายเลข 8 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านล่าง ภายในถัง Thermostatic

หมายเลข 9 คือสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านนอกถัง Thermostatic

หมายเลข 10 คือสายที่ต่อจาก Data Logger วัดอุณหภูมิบรรยากาศ

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาค่าความร้อนของ แบตเตอรี่ลิเทียมผ่านการเชื่อมจุด

1. แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ชนิด Lithium-ion ใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการประจุไฟ และการคายประจุ



ภาพที่ 3-5 แบตเตอรี่ Lithium-ion โมเดล INR18650-320

2. เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ

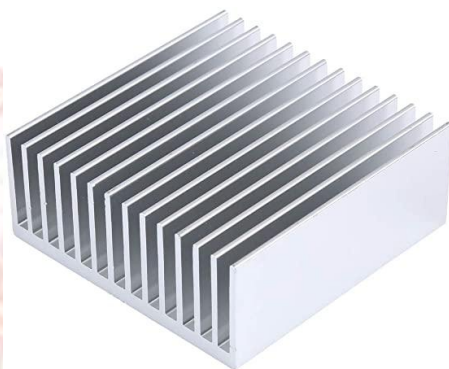
ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิและเก็บผลซึ่งผลที่ทำการบันทึกซึ่งจะทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ซึ่งผลที่ได้ออกมาจะอยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล และสามารถนำมาแปลงเปลี่ยนเป็นรูปแบบกราฟ หรือตารางได้



ภาพที่ 3-6 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ Data logger ยี่ห้อ HIOKI รุ่น LR8431-20

3. Heat sink

ใช้ในการระบายความร้อนที่ส่งออกมาจากแบตเตอรี่ขณะทำการทดสอบเพื่อไม่ให้แบตเตอรี่มีความร้อนสะสม



ภาพที่ 3-7 Heat sink

4. Battery Tester

ใช้ในการทดสอบความสามารถในการสะสมประจุ และความสามารถในการคายประจุของแบตเตอรี่โดยจะมีการบันทึกผลเป็นในรูปแบบของกราฟ



ภาพที่ 3-8 Battery Tester

5. เซ็นเซอร์อุณหภูมิ

เซ็นเซอร์อุณหภูมิใช้ในการเก็บค่าอุณหภูมิความร้อนของตัวแบตเตอรี่ Lithium-ion และ ค่าอุณหภูมิความร้อนของอากาศโดยรอบภายในบรรจุภัณฑ์



ภาพที่ 3-9 Thermocouple type k

6. Nickle strip

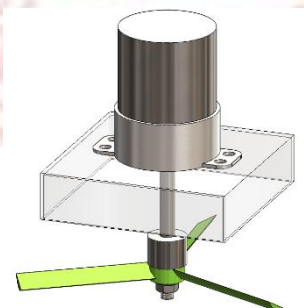
ใช้ในการต่อขั้วแบตเตอรี่เพื่อใช้คืบตัวของเครื่องทดสอบแบตเตอรี่



ภาพที่ 3-10 Nickle strip

7. Mixing Fan and Motor

ใช้ในการกวนหรือหมุนวนอุณหภูมิอากาศภายในโดยรอบของวงจรเพื่อให้อุณหภูมิโดยรอบมีอุณหภูมิเท่ากัน



ภาพที่ 3-11 Mixing Fan and Motor

8. ถัง Thermostatic chamber



ภาพที่ 3-12 ถัง Thermostatic chamber

9. กล้องถ่ายภาพความร้อน Thermal Imaging Camera



ภาพที่ 3-13 กล้องถ่ายภาพความร้อน Thermal Imaging Camera

10. เครื่อง Spot แบตเตอรี่ 5000 W



ภาพที่ 3-14 เครื่อง Spot แบตเตอรี่ 5000 W

3.2.2 การคำนวณหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่

การหาค่าความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ ต้องมีการเก็บค่าความร้อนจากก้อน แบตเตอรี่ลิเทียมเพื่อหา ค่าความร้อนจากสมการ

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

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

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C)

ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ (°C)

T = เวลาในการทดลอง (s)

m = มวล (kg)

โดย m หาได้จากสมการ

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

เมื่อ ρ = ค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m³)

V = ปริมาตรของกล่องสี่เหลี่ยม (m³)

เนื่องด้วยมอเตอร์อาจจะกวนอากาศไม่หมดจึงทำให้การทดสอบหาความร้อนแต่ละครั้ง อาจจะไม่เท่ากัน และ จากสมการข้างต้นไม่สามารถหาค่า c_p จึงทำการเปรียบเทียบจากสิ่งที่มีนำไปสู่ การหาตัวแปรทำไม่ทราบค่า โดยการนำแท่ง Heater ที่มาพร้อมกับ Dimmer เพื่อจำลองการเกิด ความร้อนของแบตเตอรี่แทนโดยจะได้ตัวแปรสมมุติ ค่าความร้อนจำเพาะใหม่ c_t ซึ่งเป็นตัวแปรที่ยุบ มาจาก m และ c_p โดยจะมีรูปสมการดังนี้

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

เมื่อ Q_{heater} = ค่าความร้อนที่เกิดจากแท่ง Heater

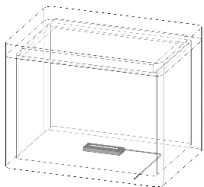
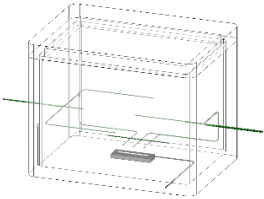
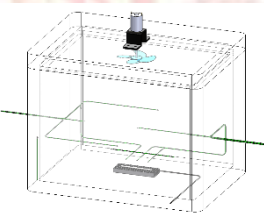
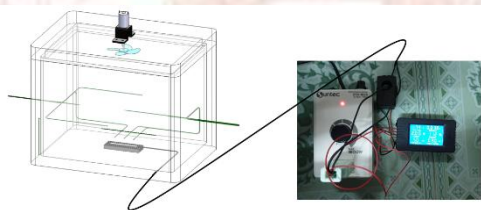
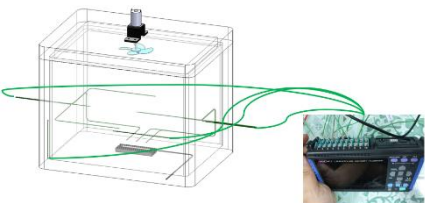
c_t = ตัวแปรสมมุติที่มาจาก m และ c_p

เมื่อได้ค่า c_t ก็นำไปให้คำนวณหา $Q_{battery}$ เพื่อที่จะใช้วิเคราะห์ในการออกแบบ Evaporator ต่อไป

จากที่กล่าวมาข้างต้นทางทีมวิจัยได้ทำการทดสอบเพื่อหาค่า c_t ตามขั้นตอนการติดตั้ง อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลองที่สรุปไว้ในตารางที่ 3-1 และ 3-3 ตามลำดับ

3.3 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ (Heater) เพื่อหาค่า C_t

ตารางที่ 3-1 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์(Heater)เพื่อหาค่า C_t

ลำดับที่	รูปภาพ	คำอธิบาย
1		วางฮีตเตอร์ไวบน Heat sink ภายใน ถัง Thermostatic chamber
2		ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมด
3		ติดตั้งมอเตอร์และพัดลมกวนอากาศ
4		ติดตั้งวัตต์มิเตอร์และติเมอร์
5		ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับ Data logger

3.4 ขั้นตอนการเตรียมแบตเตอรี่ทดลองและเก็บผลเก็บเตอร์

ทำการเก็บค่าแบตเตอรี่โดยทำการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ก่อนทำการ Spot แบตเตอรี่ และทำการทำการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ โดยมีขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) ทำการวัดแบตเตอรี่ที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ การบันทึกค่าที่ได้ลงในตารางบันทึกผล
- 2) นำแบตเตอรี่ที่ผ่านการตรวจวัดค่าทำการจัดเรียงแบตเตอรี่ 1 ก้อน จำนวน 3 ชุด 2 ก้อน จำนวน 3 ชุด และ 3 ก้อน จำนวน 3 ชุด
- 3) นำแบตเตอรี่ที่ผ่านการตรวจวัดค่าทำการจัดเรียงแบตเตอรี่และจัดเป็นชุดนำมาทำการเชื่อมจุดโดยแบ่งเป็นการเชื่อม 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยตั้งกระแสไฟที่ตำแหน่ง 7 ของเครื่อง Spot c แบตเตอรี่ 5000W ตามรูปที่ 3-14
- 4) ขณะ Spot แบตเตอรี่ใช้เครื่องกล้องถ่ายภาพความร้อน Thermal Imaging Camera ทำการ Scan อุณหภูมิที่สูงที่สุดขณะ Spot
- 5) ทำการวัดแบตเตอรี่ที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่หลังจากทำการ Spot Nikel ให้ติดกับแบตเตอรี่ ทำการบันทึกค่าที่ได้ลงในตารางบันทึกผล

ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างตารางบันทึกผล

[illegible]

3.5 ดำเนินการทดลองและเก็บผลประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ทำการทดลองโดยการควบคุมให้อุณหภูมิของถัง Thermostatic chamber และตู้จำลองสภาพอากาศให้คงที่ ซึ่งอุณหภูมิของถัง Thermostatic chamber ต้องมีค่าอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ 25°C ต้องมีค่าอุณหภูมิคงที่อยู่ที่โดยการทดลองนำแบตเตอรี่ที่เตรียมไว้ทำการทดสอบ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 นำแบตเตอรี่เชื่อมจุดแบตเตอรี่ด้วยแผ่นนิเกิล 1 cell 2 cell และ 3 cell ทำการทดลอง ในถัง Thermostatic chamber โดยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องและถังอยู่ที่ 25°C

3.5.2 นำแบตเตอรี่วางบนแผ่น Heat sink ที่อยู่ภายในกล่องแบตเตอรี่

3.5.3 นำสาย Thermocouple ที่พ่วงมาจากเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิมาติดที่บริเวณแบตเตอรี่

3.5.4 คีบสายพ่วงจากเครื่อง Battery Tester เข้าที่ขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่

3.5.5 เปิดเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิเพื่อตั้งค่าเตรียมเก็บผล

3.5.6 เสียบปลั๊กเครื่อง Battery Tester และเปิดเครื่อง

3.5.7 นำสาย USB ที่พ่วงกับ Battery Tester ประจุที่ 1C, 1.5C ตามลำดับ

จากนั้นทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปภายในถัง Thermostatic chamber ของแต่ละช่วงเวลาทั้งขณะที่ประจุ และจ่ายประจุ โดยจะทำจนครบทั้ง 2 รูปแบบและนำค่าในลงในตารางบันทึกผลแต่ละรูปแบบมาพล็อตกราฟ ตามตารางที่ 3-3 และตามตารางที่ 3-4

โดย

Time	คือ	ระยะเวลาในการเก็บผลการทดลอง
Cur	คือ	กระแสไฟในการทดสอบ
Vol	คือ	แรงดันไฟฟ้าในการทดสอบ
Capacity	คือ	ความจุของแบตเตอรี่
Energy	คือ	พลังงานของแบตเตอรี่
CH1	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ด้านซ้าย
CH2	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ด้านขวา
CH3	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ตรงกลาง
CH4	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านซ้าย ฝาผนังภายในถัง Thermostatic chamber
CH5	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับตรงกลาง ฝาผนังภายในถัง Thermostatic chamber
CH6	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านขวา ฝาผนังภายในถัง Thermostatic
CH7	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านบน ภายในถัง Thermostatic
CH8	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านล่าง ภายในถัง Thermostatic
CH9	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านนอกถัง Thermostatic
CH10	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger วัดอุณหภูมิบรรยากาศ
AVG. Temp	คือ	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของแบตเตอรี่
C_T	คือ	อุณหภูมิที่วัดได้จากห้องโดยสาร
Q	คือ	ค่าความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ขณะทดลอง
Q_{MAX}	คือ	ค่าความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ขณะทดลองสูงสุด

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

การศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุดนั้น ได้ดำเนินการตามขั้นตอนการดำเนินงานโดยการทดลอง คือ ทำการเตรียมแบตเตอรี่ INR18650-230 โดยวิธีการเชื่อมจุด 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยต่อแบตเตอรี่ วงจรขนาน 1 ก้อน 2 ก้อน 3 ก้อน 4 ก้อน ควบคุมให้อุณหภูมิโดยใช้ถัง Thermostatic chamber จำลองสภาพอากาศให้คงที่ เพื่อคำนวณหาค่าความร้อน ซึ่งผลทั้งหมดมีดังนี้

4.1 ดำเนินการทดลองและเก็บผลชุดของการหาค่าความร้อนแบตเตอรี่

โดยการทดลองจะทำการทดลองภายในถัง Thermostatic chamber ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศา ซึ่งจะควบคุมการประจุและจ่าย

4.1.1 เชื่อมจุดแบตเตอรี่ด้วยแผ่นนิเกิล 1 cell 2 cell และ 3 cell ทำการตรวจวัดอุณหภูมิ ขณะเชื่อมจุดแบตเตอรี่

4.1.2 นำแบตเตอรี่วางบนแผ่น Heat sink ที่อยู่ภายในกล่องแบตเตอรี่

4.1.3 นำสาย Thermocouple ที่พ่วงมาจากเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิมาติดที่บริเวณ แบตเตอรี่

4.1.4 คีบสายพ่วงจากเครื่อง Battery Tester เข้าที่ขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่

4.1.5 เปิดเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิเพื่อตั้งค่าเตรียมเก็บผล

4.1.6 เสียบปลั๊กเครื่อง Battery Tester และเปิดเครื่อง

4.1.7 นำสาย USB ที่พ่วงกับ Battery Tester ประจุที่ 1C, 1.5C ตามลำดับจากนั้นทำการ บันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปภายในถัง Thermostatic chamber ของแต่ละช่วงเวลาทั้งขณะที่ ประจุ และจ่ายประจุ โดยจะทำจนครบทั้ง 2 รูปแบบและนำค่าในแต่ละรูปแบบมาพล็อตกราฟโดยจะมีขั้นตอนการทดลองต่อไปดังนี้

4.1.1 ทำการตรวจวัดแบตเตอรี่ก่อนประกอบพร้อมบันทึกค่า แรงดัน ความต้านทาน ของแบตเตอรี่ และวัดอุณหภูมิในขณะทำการเข้ากับ Computer

4.1.8 ปิดโปรแกรม EB Tester Software

4.1.9 ตั้งค่ากระแสที่ใช้ประจุ และจ่ายประจุ

4.1.10 ปิดฝาถัง Thermostatic chamber และเปิดพัดลมวนอากาศ

4.1.11 กดเริ่มทำการทดลองที่เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิและ Computer พร้อมกัน

4.1.12 ค่าที่ได้จากโปรแกรมจะออกมาเป็นค่ากราฟที่บ่งบอกถึงค่าการประจุดังภาพที่ 3-13

4.1.13 ค่าที่ได้จากโปรแกรมจะออกมาเป็นค่ากราฟที่บ่งบอกถึงค่าการจ่ายประจุภาพที่ 3-14

4.4.14 นำค่าที่ได้จากเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิเข้าสู่ Computer และทำการคำนวณเพื่อหาค่าความร้อนภายในกล่องและที่แบตเตอรี่ขณะทำการทดลอง และบันทึกผล

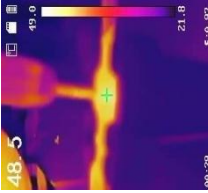
4.4.15 นำค่าที่ได้จากการทดลองมาพล็อตเป็นกราฟในโปรแกรม Microsoft excel



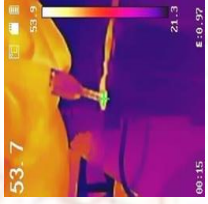
4.2 บันทึกผลการเชื่อมจุดแบตเตอรี่ด้วยแผ่นนิเกิล 1 cell 2 cell และ 3 cell ทำการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะเชื่อมจุดแบตเตอรี่

4.2.1 ผลวัดค่าทางไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะเชื่อมจุดแบตเตอรี่ของแบตเตอรี่ 1 Cell

ตารางที่ 4-1 ผลวัดค่าทางไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะเชื่อมจุดแบตเตอรี่ของแบตเตอรี่ 1 Cell

No.	condition	Point spot (Point)	Capacity battery (mAh)	Check Battery before Test				Thermal Battery	
				For Battery		For Nikel		Picture	Temperature °C
				V (V)	R (mΩ)	V (V)	R (mΩ)		
1	1 ก่อน	2	3200	3.625	25.300	3.637	31.180		50.30
2	1 ก่อน	4	3200	3.621	25.900	3.621	31.350		48.50
3	1 ก่อน	6	3200	3.628	25.600	3.623	30.850		54.70

4.2.2 ผลวัดค่าทางไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะเชื่อมจุดแบบเตอริ์ของแบตเตอรี่ 2 Cell
 ตารางที่ 4-2 ผลวัดค่าทางไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะเชื่อมจุดแบบเตอริ์ของแบตเตอรี่ 2 Cell

No.	condition	Point spot (Point)	Capacity battery (mAh)	Check Battery before Test				Thermal Battery	
				For Battery		For Nikel		Picture	Temperature °C
				V (V)	R (mΩ)	V (V)	R (mΩ)		
1	2 ก่อน	2	6400	3.624	25.200	3.631	19.280		83.00
				3.621	25.200				
2	2 ก่อน	4	6400	3.624	25.200	3.635	18.107		53.70
				3.426	25.300				
3	2 ก่อน	6	6400	3.624	25.300	3.631	18.860		84.10
				3.621	25.200				

4.2.3 ผลวัดค่าทางไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะเชื่อมจุดแบบเตอริ์ของแบตเตอรี่ 3 Cell
 ตารางที่ 4-3 ผลวัดค่าทางไฟฟ้าและอุณหภูมิขณะเชื่อมจุดแบบเตอริ์ของแบตเตอรี่ 3 Cell

No.	condition	Point spot (Point)	Capacity battery (mAh)	Check Battery before Test				Thermal Battery	
				For Battery		For Nikel		Picture	Temperature °C
				V (V)	R (mΩ)	V (V)	R (mΩ)		
1	3 ก่อน	2	9600	3.623	24.210	3.629	15.670		89.60
				3.622	24.760				
				3.625	24.760				
2	3 ก่อน	4	9600	3.629	24.280	3.635	15.614		50.30
				3.625	24.400				
				3.624	24.790				
3	3 ก่อน	6	9600	3.626	24.350	3.633	15.580		54.70
				3.624	24.190				
				3.624	24.360				

4.2.4 ผลการทดสอบแบบเตอรี 1 cell ที่ไม่ทำการ Spot เทียบ Std.
 ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบแบบเตอรี 1 cell ที่ไม่ทำการ Spot เทียบ Std.

Data Battery not spot								หมายเหตุ
Spot point	Std. Capacity (mAh)	Capacity (mAh)	ค่าเฉลี่ย Capacity (mAh)	Std. Energy (Wh)	Energy (Wh)	ค่าเฉลี่ย Energy (Wh)		
1 Cell	Discharge 1.0C	3,200	2,730	2,683	11.84	9.45	8.92	Test
	Discharge 1.5 C		2,618			8.40		
	Charge 1.0C		2,706			10.78	10.90	
	Charge 1.5C		2,676			11.01		
2 Cell	Discharge 1.0C	6,400	5,460	5,365	23.68	18.91	17.85	Calculate
	Discharge 1.5 C		5,236			16.79		
	Charge 1.0C		5,412			21.56	21.79	
	Charge 1.5C		5,352			22.02		
3 Cell	Discharge 1.0C	9,600	8,190	8,004	35.52	28.36	26.77	Calculate
	Discharge 1.5 C		7,854			25.19		
	Charge 1.0C		7,854			32.34	32.69	
	Charge 1.5C		8,118			33.03		

จากตารางที่ 4-4 เป็นการทดลองภายใต้เงื่อนไขการศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด ทำการทดลองผลแบตเตอรี่ INR18650-320 ที่ไม่ทำการเชื่อมจุดเพื่อเปรียบเทียบกับ Std. INR18650-320 มีผลการทดลอง Capacity ของแบตเตอรี่ 1 Cell ที่ไม่ทำการการ spot ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C หาค่า Capacity ของแบตเตอรี่ 1 Cell ทำโดยเทียบกับค่า Capacity Std. Battery INR18650-320 เท่ากับ 3,200 mAh. โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราการจ่ายประจุ 1.0C : Capacity เท่ากับ 2,730 mAh., อัตราจ่ายประจุ 1.5C Capacity เท่ากับ 2,618 mAh., อัตราอัดประจุ 1.0C Capacity เท่ากับ 2,706 mAh. อัตราอัดประจุ 1.5C Capacity เท่ากับ 2,678 mAh. ซึ่งมีค่าเฉลี่ย และหาค่า Energy ของแบตเตอรี่ 1 Cell ทำโดยเทียบกับค่า Energy Std. Battery INR18650-320 เท่ากับ 11.84 Wh. โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราการจ่ายประจุ 1.0C : Energy เท่ากับ 9.42 Wh., อัตราจ่ายประจุ 1.5C Energy เท่ากับ 8.4 mAh., อัตราอัดประจุ 1.0C Energy เท่ากับ 10.78 mAh. อัตราอัดประจุ 1.5C Energy เท่ากับ 11.01 mAh. ซึ่งมีค่าเฉลี่ย จะเห็นว่าจากตารางผลของแบตเตอรี่ที่ยังไม่ Spot จะต่ำกว่า Std. อาจเกิดจากคุณภาพของแบตเตอรี่

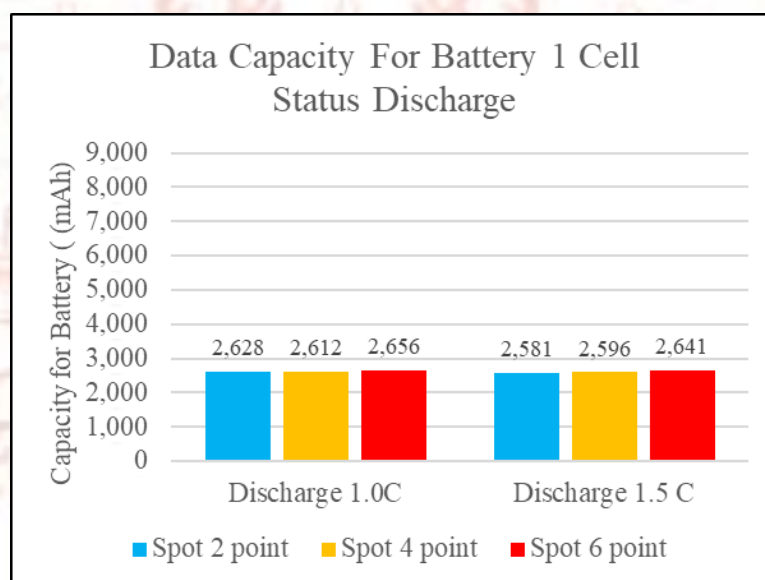


4.3 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่

4.3.1 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 1 Cell

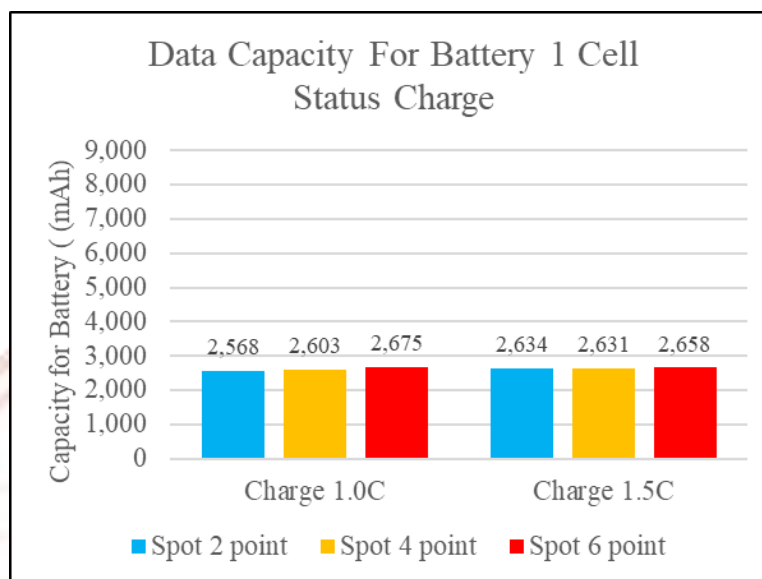
ตารางที่ 4-5 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 1 Cell

Data Capacity for Battery 1 Cell (mAh)				
Spot point	Discharge 1.0C	Discharge 1.5 C	Charge 1.0C	Charge 1.5C
Spot 2 point	2,628	2,581	2,568	2,634
Spot 4 point	2,612	2,596	2,603	2,631
Spot 6 point	2,656	2,641	2,675	2,658



ภาพที่ 4-1 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 1 Cell สถานะ Discharge

จากตารางที่ 4-1 ภาพที่ 4-1 เป็นการทดลองภายใต้เงื่อนไขการศึกษาลักษณะทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายใต้กระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด มีผลการทดลอง Capacity ของแบตเตอรี่ 1 Cell ที่ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จะว่า Capacity ของแบตเตอรี่ 1 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยเทียบกับค่า Capacity Std. Battery INR18650-320 เท่ากับ 3,200 mAh. Capacity Test 2,683 mAh. ตามตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่า Battery Capacity ต่ำกว่ามาตรฐาน 16% จากการทดลองพบว่าเมื่อกระแสไหลผ่านแบตเตอรี่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C ของ Capacity for Battery ของแบตเตอรี่ 1 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราการจ่ายประจุ 1.0C : Capacity ของ spot 2 จุด เท่ากับ 2,628 mAh., Capacity ของ spot 4 จุด เท่ากับ 2,612 mAh., Capacity ของ spot 6 จุด เท่ากับ 2,656 mAh.



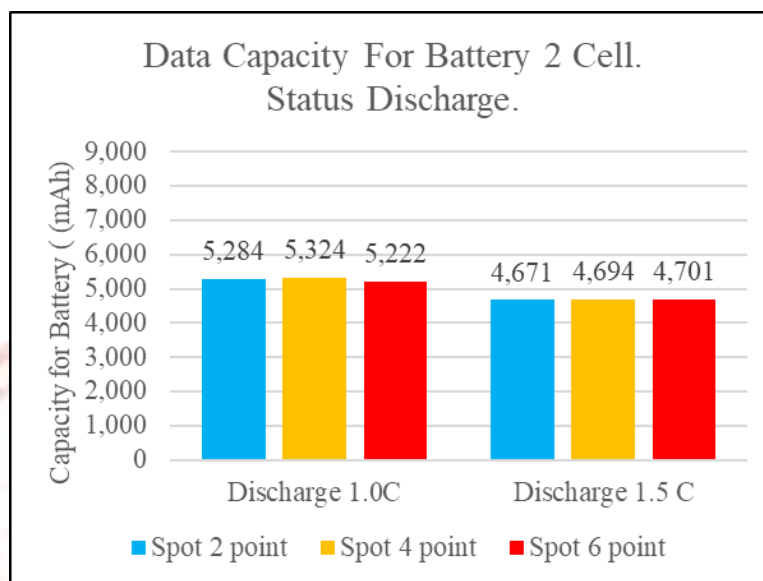
ภาพที่ 4-2 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 1 Cell สถานะ Charge

จากตารางที่ 4-5 ภาพที่ 4-2 อัตราจ่ายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Capacity ของ 2 จุด เท่ากับ 2,605 mAh., Capacity ของ spot 4 จุด เท่ากับ 2,596mAh., Capacity ของ spot 6 จุด เท่ากับ 2,641 mAh. อัตราอัดประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Capacity ของ spot 2 จุด เท่ากับ 2,620 mAh., Capacity ของ spot 4 จุด เท่ากับ 2,603 mAh., Capacity ของ spot 6 จุด เท่ากับ 2,675 mAh. และอัตราอัดประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Capacity ของ spot 2 จุด เท่ากับ 2,622 mAh., Capacity ของ spot 4 จุด เท่ากับ 2,631 mAh., Capacity ของ spot 6 จุด เท่ากับ 2,658 mAh., จากผลการทดลองจะเห็นว่า Capacity หลังการทดลองน้อยกว่า 572 mAh. หรือ คิดเป็น 18 % เทียบกับ Capacity Std. น้อยกว่า 59 mAh. หรือ คิดเป็น 2 % เทียบกับ Capacity Test ซึ่งจากผลการทดลองแบตเตอรี่ 1 cell ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมจุดแบตเตอรี่ไม่ส่งผลให้ Capacity ของแบตเตอรี่ลดลง

4.3.2 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 2 Cell

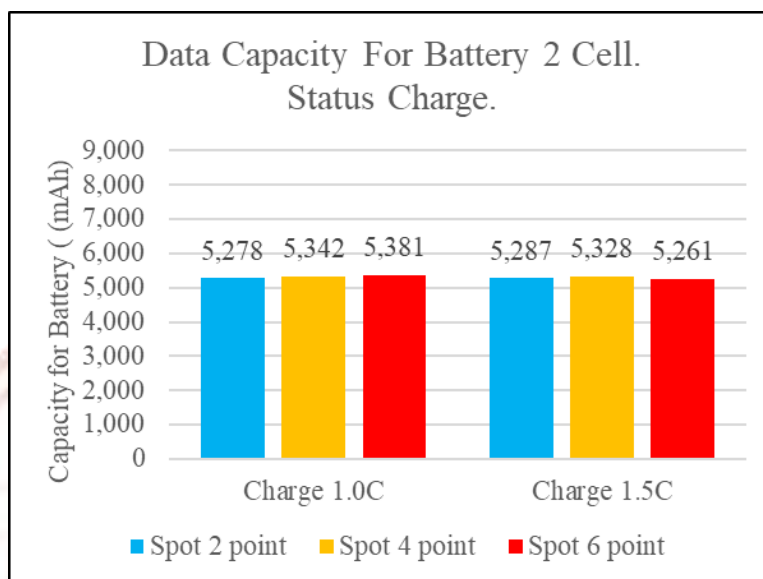
ตารางที่ 4-6 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 2 Cell

Data Capacity for Battery 2 Cell (mAh)				
Spot point	Discharge 1.0C	Discharge 1.5 C	Charge 1.0C	Charge 1.5C
Spot 2 point	5,284	4,671	5,278	5,287
Spot 4 point	5,324	4,694	5,342	5,328
Spot 6 point	5,222	4,701	5,381	5,261



ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 2 Cell สถานะ Discharge

จากตารางที่ 4-6 ภาพที่ 4-3 เป็นการทดลองภายใต้เงื่อนไขการศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด มีผลการทดลอง Capacity ของแบตเตอรี่ 2 Cell ที่ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จะว่า Capacity ของแบตเตอรี่ 2 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยเทียบกับค่า Capacity Std. Battery INR18650-320 เท่ากับ 6,400 mAh. Capacity Test 5,363 mAh. ตามตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่า Battery Capacity ต่ำกว่ามาตรฐาน 16% จากการทดลองพบว่าเมื่อกระแสไหลผ่านแบตเตอรี่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C ของ Capacity for Battery ของแบตเตอรี่ 2 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราจ่ายประจุ 1.0C : Capacity ของ spot 2 จุด เท่ากับ 5,284 mAh., Capacity ของ spot 4 จุด เท่ากับ 5,324 mAh., Capacity ของ spot 6 จุด เท่ากับ 5,222 mAh. อัตราจ่ายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Capacity ของ 2 จุด เท่ากับ 4,671 mAh., Capacity ของ spot 4 จุด เท่ากับ 4,694 mAh., Capacity ของ spot 6 จุด เท่ากับ 4,701 mAh.



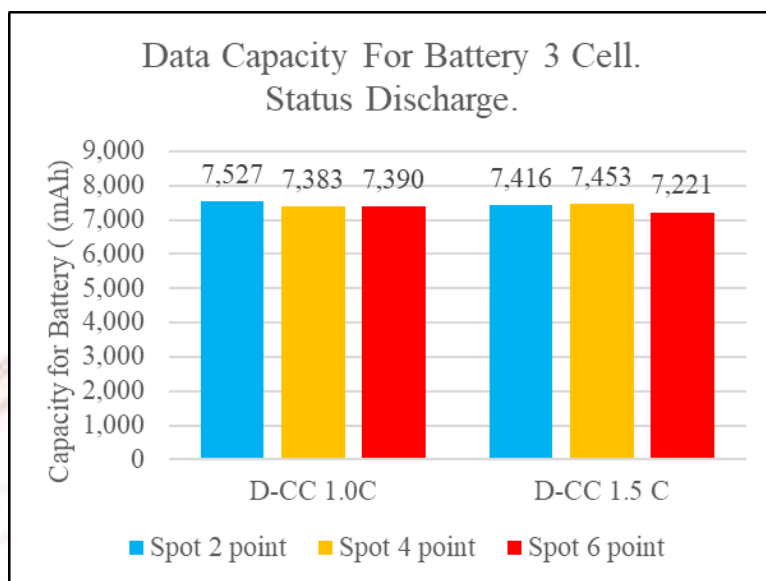
ภาพที่ 4-4 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 2 Cell สถานะ Discharge

จากตารางที่ 4-6 ภาพที่ 4-4 อัตราอัดประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Capacity ของ spot 2 จุด เท่ากับ 5,278 mAh., Capacity ของ spot 4 จุด เท่ากับ 5,342 mAh., Capacity ของ spot 6 จุด เท่ากับ 5,381 mAh. และอัตราอัดประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Capacity ของ spot 2 จุด เท่ากับ 5,287 mAh., Capacity ของ spot 4 จุด เท่ากับ 5,342 mAh., Capacity ของ spot 6 จุด เท่ากับ 5,381 mAh., จากผลการทดลองจะเห็นว่า Capacity หลังการทดลองน้อยกว่า 1,252 mAh. หรือ คิดเป็น 20 % เทียบกับ Capacity Std. น้อยกว่า 215 mAh. หรือ คิดเป็น 4 % เทียบกับ Capacity Test ซึ่งจากผลการทดลองแบตเตอรี่ 2 cell ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมจุดแบตเตอรี่ไม่ส่งผลให้ Capacity ของแบตเตอรี่ลดลง

4.3.3 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 3 Cell

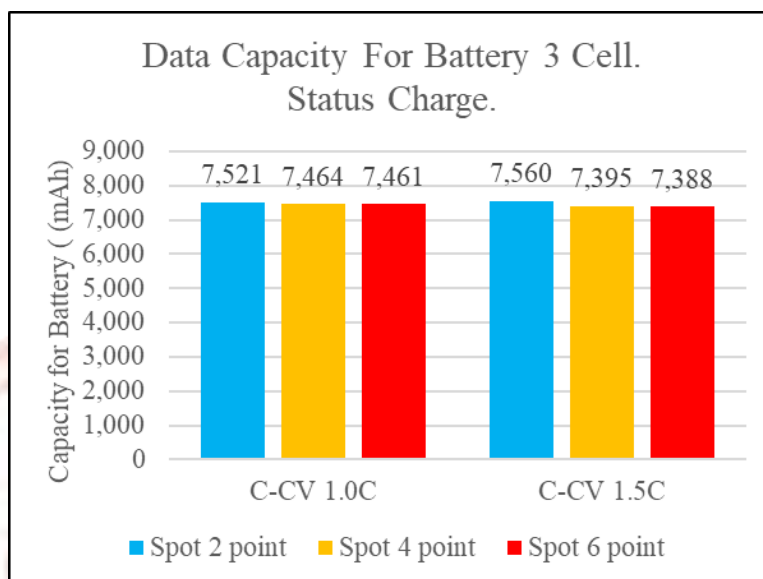
ตารางที่ 4-7 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 3 Cell

Data Capacity for Battery 3 Cell (mAh)				
Spot point	D-CC 1.0C	D-CC 1.5 C	C-CV 1.0C	C-CV 1.5C
Spot 2 point	7,527	7,416	7,521	7,560
Spot 4 point	7,383	7,453	7,464	7,395
Spot 6 point	7,390	7,221	7,461	7,388



ภาพที่ 4-5 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 3 Cell สถานะ Discharge

จากตารางที่ 4-7 ภาพที่ 4-5 เป็นการทดลองภายใต้เงื่อนไขการศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด มีผลการทดลอง Capacity ของแบตเตอรี่ 3 Cell ที่ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จะว่า Capacity ของแบตเตอรี่ 3 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยเทียบกับค่า Capacity Std. Battery INR18650-320 เท่ากับ 9,600 mAh. Capacity Test 8,004 mAh. ตามตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่า Battery Capacity ต่ำกว่ามาตรฐาน 15% จากการทดลองพบว่าเมื่อกระแสไหลผ่านแบตเตอรี่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C ของ Capacity for Battery ของแบตเตอรี่ 3 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราจ่ายประจุ 1.0C : Capacity ของ spot 2 จุด เท่ากับ 7,527 mAh., Capacity ของ spot 4 จุด เท่ากับ 7,383 mAh., Capacity ของ spot 6 จุด เท่ากับ 7,390 mAh. อัตราจ่ายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Capacity ของ 2 จุด เท่ากับ 7,416 mAh., Capacity ของ spot 4 จุด เท่ากับ 7,453 mAh., Capacity ของ spot 6 จุด เท่ากับ 7,221 mAh.



ภาพที่ 4-6 การเปรียบเทียบ Capacity ของแบตเตอรี่ 3 Cell สถานะ Charge

จากตารางที่ 4-7 ภาพที่ 4-6 อัตราอัดประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Capacity ของ spot 2 จุด เท่ากับ 7,521 mAh., Capacity ของ spot 4 จุด เท่ากับ 7,464 mAh., Capacity ของ spot 6 จุด เท่ากับ 7,461 mAh. และอัตราอัดประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Capacity ของ spot 2 จุด เท่ากับ 7,560 mAh., Capacity ของ spot 4 จุด เท่ากับ 7,395 mAh., Capacity ของ spot 6 จุด เท่ากับ 7,388 mAh., จากผลการทดลองจะเห็นว่า Capacity หลังการทดลองน้อยกว่า 1,968 mAh. หรือ คิดเป็น 21 % เทียบกับ Capacity Std. น้อยกว่า 570 mAh. หรือ คิดเป็น 6 % เทียบกับ Capacity Test ซึ่งจากผลการทดลองแบตเตอรี่ 2 cell ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมจุดแบตเตอรี่ไม่ส่งผลให้ Capacity ของแบตเตอรี่ลดลง

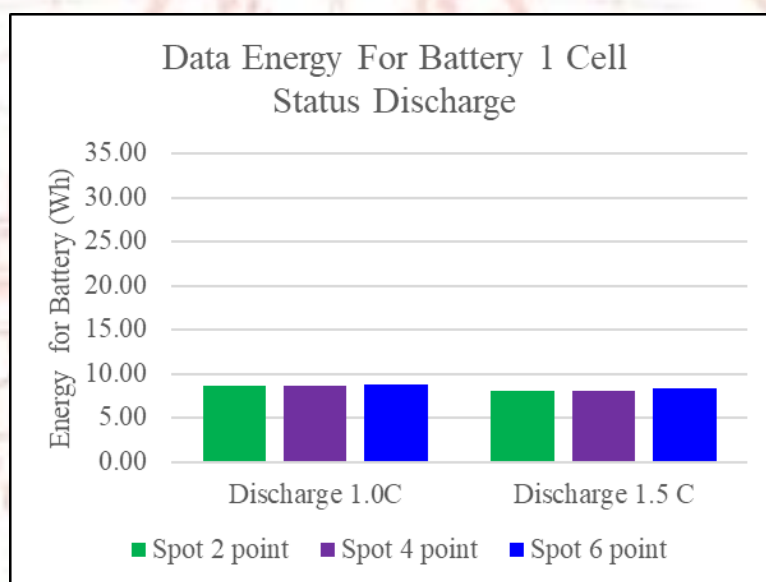
สรุปจากผลการทดลองความร้อนที่เกิดจากการ Spot Battery ไม่ส่งผลกระทบต่อ Capacity ของแบตเตอรี่ INR18650-320 ซึ่งค่าที่ต่ำกว่า Std. อาจเกิดจากคุณภาพประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในการทดลอง

4.4 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่

4.4.1 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 1 Cell

ตารางที่ 4-8 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 1 Cell

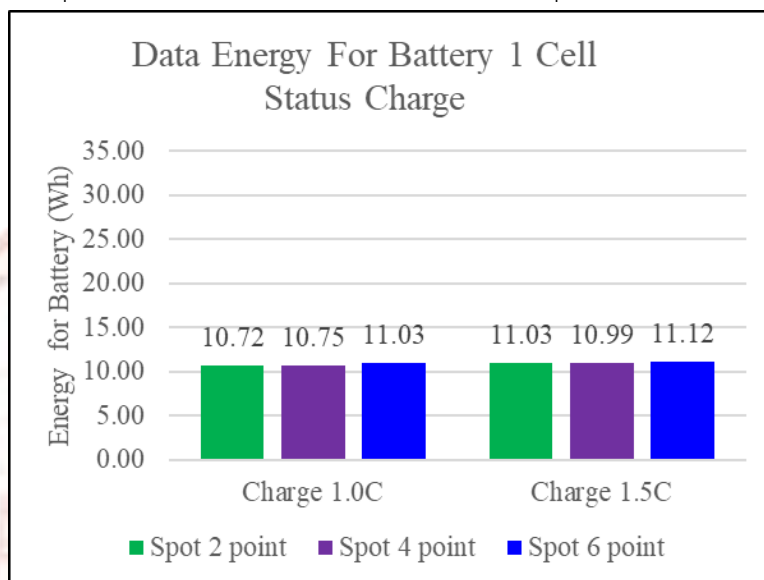
Data Energy for Battery 1 Cell (Wh)				
Spot point	Discharge 1.0C	Discharge 1.5 C	Charge 1.0C	Charge 1.5C
Spot 2 point	8.70	8.08	10.72	11.03
Spot 4 point	8.66	8.08	10.75	10.99
Spot 6 point	8.81	8.29	11.03	11.12



ภาพที่ 4-7 การเปรียบเทียบแบตเตอรี่ Energy ของแบตเตอรี่ 1 Cell สถานะ discharge

จากตารางที่ 4-8 ภาพที่ 4-7 เป็นการทดลองภายใต้เงื่อนไขการศึกษามลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายใต้กระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด มีผลการทดลอง Energy ของแบตเตอรี่ 1 Cell ที่ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จะว่า Energy ของแบตเตอรี่ 1 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยเทียบกับค่า Energy Std. Battery INR18650-320 เท่ากับ 11.84 Wh. Energy Test หลังจ่ายประจุ เท่ากับ 8.92 Wh. ตามตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่า Battery Energy ต่ำกว่ามาตรฐาน 25 % หลังจ่ายประจุ เท่ากับ 10.90 Wh. ตามตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่า Battery Energy ต่ำกว่ามาตรฐาน 8 % จากการทดลองพบว่าเมื่อกระแสไหลผ่านแบตเตอรี่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C ของ Energy for Battery ของแบตเตอรี่ 1 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราจ่ายประจุ 1.0C : Energy ของ spot 2 จุด เท่ากับ 8.70 Wh., Energy ของ spot 4 จุด เท่ากับ 8.66 Wh., Energy ของ spot 6 จุด เท่ากับ

8.81 Wh. อัตราจ่ายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Energy ของ 2 จุด เท่ากับ 8.08 Wh., Energy ของ spot 4 จุด เท่ากับ 8.08 Wh., Energy ของ spot 6 จุด เท่ากับ 8.29 Wh.



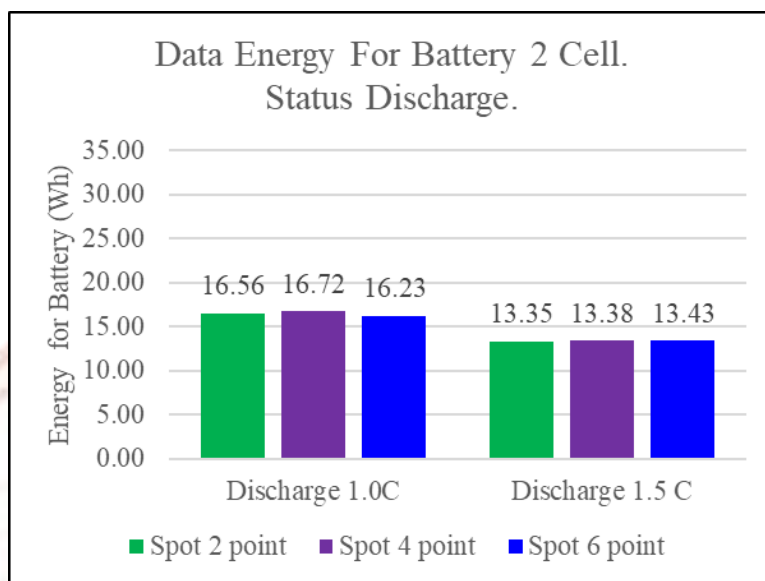
ภาพที่ 4-8 การเปรียบเทียบแบตเตอรี่ Energy ของแบตเตอรี่ 1 Cell สถานะ Charge

จากตารางที่ 4-8 ภาพที่ 4-8 อัตราอัดประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Energy ของ spot 2 จุด เท่ากับ 10.72 Wh., Energy ของ spot 4 จุด เท่ากับ 10.75 Wh., Energy ของ spot 6 จุด เท่ากับ 11.03 Wh. และอัตราอัดประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Energy ของ spot 2 จุด เท่ากับ 11.03 Wh., Energy ของ spot 4 จุด เท่ากับ 10.99 Wh., Energy ของ spot 6 จุด เท่ากับ 11.12 Wh., จากผลการทดลองจะเห็นว่า Energy การจ่ายประจุหลังการทดลองน้อยกว่า Std. 3.40 Wh. คิดเป็น 32.17 % ค่าการอัดประจุน้อยกว่า Std. 0.9 Wh. คิดเป็น 8 % จากผลการทดลองจะเห็นว่า Energy หลังการจ่ายประจุเทียบกับ Energy Test น้อยกว่า 0.48 Wh. หรือ คิดเป็น 5 % เทียบกับ Energy Test และค่าการอัดประจุเทียบกับ Energy Test น้อยกว่า 0 Wh. หรือ คิดเป็น 0 % เทียบกับ Energy Test ซึ่งจากผลการทดลองแบตเตอรี่ 1 cell ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมจุดแบตเตอรี่ไม่ส่งผลให้ Energy ของแบตเตอรี่ลดลง

4.4.2 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 2 Cell

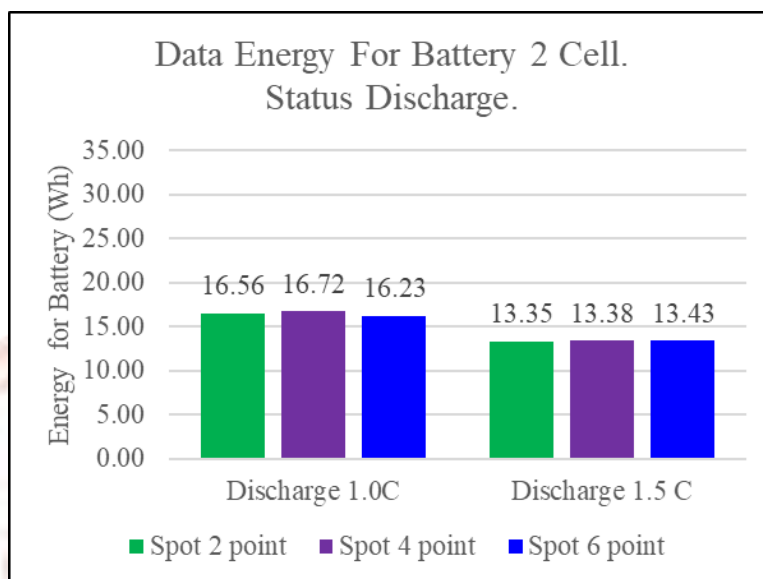
ตารางที่ 4-9 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 2 Cell

Data Energy for Battery 2 Cell (Wh)				
Spot point	Discharge 1.0C	Discharge 1.5 C	Charge 1.0C	Charge 1.5C
Spot 2 point	16.56	13.35	22.15	22.20
Spot 4 point	16.72	13.38	22.33	22.38
Spot 6 point	16.23	13.43	22.60	22.09



ภาพที่ 4-9 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 2 Cell สถานะ discharge

จากตารางที่ 4-9 ภาพที่ 4-9 เป็นการทดลองภายใต้เงื่อนไขการศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนภายหลังจากกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด มีผลการทดลอง Energy ของแบตเตอรี่ 2 Cell ที่ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จะว่า Energy ของแบตเตอรี่ 2 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยเทียบกับค่า Energy Std. Battery INR18650-320 เท่ากับ 23.68 Wh. Energy Test หลังจ่ายประจุ เท่ากับ 17.85 Wh. ตามตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่า Battery Energy ต่ำกว่ามาตรฐาน 25% หลังอัดประจุ เท่ากับ 21.79 Wh. ตามตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่า Battery Energy ต่ำกว่ามาตรฐาน 8% จากการทดลองพบว่าเมื่อกระแสไหลผ่านแบตเตอรี่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C ของ Energy for Battery ของแบตเตอรี่ 2 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราจ่ายประจุ 1.0C : Energy ของ spot 2 จุด เท่ากับ 16.56 Wh., Energy ของ spot 4 จุด เท่ากับ 16.72 Wh., Energy ของ spot 6 จุด เท่ากับ 16.23 Wh. อัตราจ่ายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Energy ของ 2 จุด เท่ากับ 13.35 Wh., Energy ของ spot 4 จุด เท่ากับ 13.38 Wh., Energy ของ spot 6 จุด เท่ากับ 13.43 Wh.



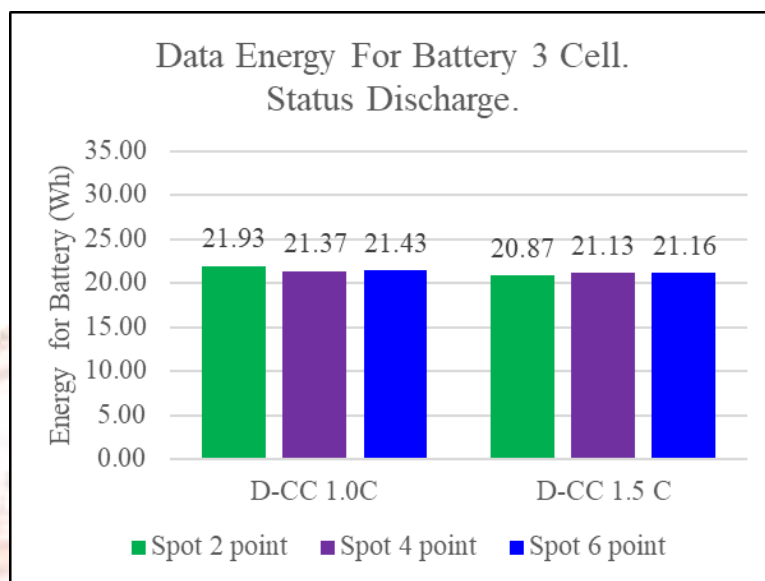
ภาพที่ 4-10 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 2 Cell สถานะ Charge

จากตารางที่ 4-9 ภาพที่ 4-10 อัตราอัดประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Energy ของ spot 2 จุด เท่ากับ 22.15 Wh., Energy ของ spot 4 จุด เท่ากับ 22.33 Wh., Energy ของ spot 6 จุด เท่ากับ 22.60 Wh. และอัตราอัดประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Energy ของ spot 2 จุด เท่ากับ 22.20 Wh., Energy ของ spot 4 จุด เท่ากับ 22.38 Wh., Energy ของ spot 6 จุด เท่ากับ 22.09 Wh., จากผลการทดลองจะเห็นว่า Energy การจ่ายประจุหลังการทดลองน้อยกว่า 8.73 Wh. หรือ คิดเป็น 37 % เทียบกับ Energy Std. การอัดประจุหลังการทดลองน้อยกว่า 1.39 Wh. หรือ คิดเป็น 6 % เทียบกับ Energy Std. การจ่ายประจุหลังการทดลองน้อยกว่า 2.90 Wh. หรือ คิดเป็น 16 % เทียบกับ Energy Test การอัดประจุหลังการทดลองน้อยกว่า 0.50 Wh. หรือ คิดเป็น 2 % เทียบกับ Energy Test ซึ่งจากผลการทดลองแบตเตอรี่ 2 cell ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมจุดแบตเตอรี่ไม่ส่งผลให้ Energy ของแบตเตอรี่ลดลง

4.4.3 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 3 Cell

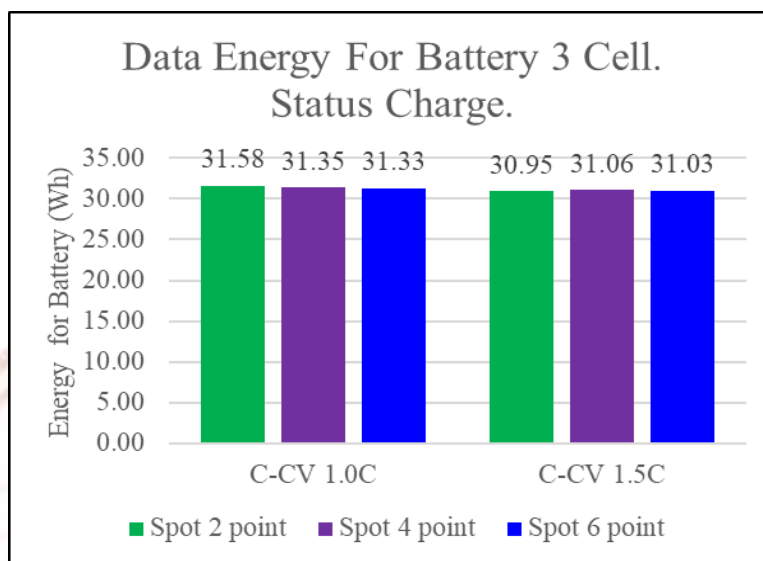
ตารางที่ 4-10 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 3 Cell

Data Energy for Battery 3 Cell (Wh)				
Spot point	D-CC 1.0C	D-CC 1.5 C	C-CV 1.0C	C-CV 1.5C
Spot 2 point	21.93	20.87	31.58	30.95
Spot 4 point	21.37	21.13	31.35	31.06
Spot 6 point	21.43	21.16	31.33	31.03



ภาพที่ 4-11 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 3 Cell สถานะ Discharge

จากตารางที่ 4-10 ภาพที่ 4-11 เป็นการทดลองภายใต้เงื่อนไขการศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนภายหลังจากกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด มีผลการทดลอง Energy ของแบตเตอรี่ 3 Cell ที่ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จะว่า Energy ของแบตเตอรี่ 3 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยเทียบกับค่า Energy Std. Battery INR18650-320 เท่ากับ 35.52 Wh. Energy Test หลังจ่ายประจุ เท่ากับ 26.77 Wh. ตามตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่า Battery Energy ต่ำกว่ามาตรฐาน 25% หลังอัดประจุ เท่ากับ 32.69 Wh. ตามตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่า Battery Energy ต่ำกว่ามาตรฐาน 8% จากการทดลองพบว่าเมื่อกระแสไหลผ่านแบตเตอรี่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C ของ Energy for Battery ของแบตเตอรี่ 3 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราจ่ายประจุ 1.0C : Energy ของ spot 2 จุด เท่ากับ 21.93 Wh., Energy ของ spot 4 จุด เท่ากับ 21.37 Wh., Energy ของ spot 6 จุด เท่ากับ 21.43 Wh. อัตราจ่ายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Energy ของ 2 จุด เท่ากับ 20.87 Wh., Energy ของ spot 4 จุด เท่ากับ 21.13 Wh., Energy ของ spot 6 จุด เท่ากับ 21.16 Wh.



ภาพที่ 4-12 การเปรียบเทียบ Energy ของแบตเตอรี่ 3 Cell สถานะ Charge

จากตารางที่ 4-10 ภาพที่ 4-12 อัตราอัดประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Energy ของ spot 2 จุด เท่ากับ 31.58 Wh., Energy ของ spot 4 จุด เท่ากับ 31.35 Wh., Energy ของ spot 6 จุด เท่ากับ 31.33 Wh. และอัตราอัดประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Energy ของ spot 2 จุด เท่ากับ 30.95 Wh., Energy ของ spot 4 จุด เท่ากับ 31.06 Wh., Energy ของ spot 6 จุด เท่ากับ 31.03 Wh., จากผลการทดลองจะเห็นว่า Energy การจ่ายประจุหลังการทดลองน้อยกว่า 14.21 Wh. หรือ คิดเป็น 40 % เทียบกับ Energy Std. การอัดประจุหลังการทดลองน้อยกว่า 4.3 Wh. หรือ คิดเป็น 12 % เทียบกับ Energy Std. การจ่ายประจุหลังการทดลองน้อยกว่า 5.46 Wh. หรือ คิดเป็น 20 % เทียบกับ Energy Test การอัดประจุหลังการทดลองน้อยกว่า 1.47 Wh. หรือ คิดเป็น 5 % เทียบกับ Energy Test ซึ่งจากผลการทดลองแบตเตอรี่ 3 cell ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมจุดแบตเตอรี่ไม่ส่งผลให้ Energy ของแบตเตอรี่ลดลง

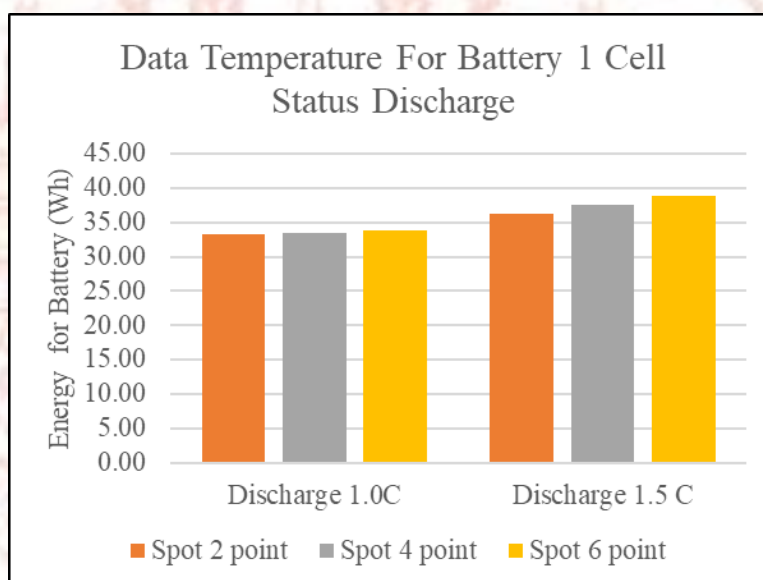
สรุปจากผลการทดลองการศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นส่งผลให้การจ่ายประจุของแบตเตอรี่ส่งผลกระทบกับ Energy ของแบตเตอรี่ INR18650-320 ทำให้ประสิทธิภาพของการจ่ายประจุลดลง แต่เทียบกับการอัดประจุแบตเตอรี่แบบจะไม่มีผลกระทบ

4.5 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด

4.5.1 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell

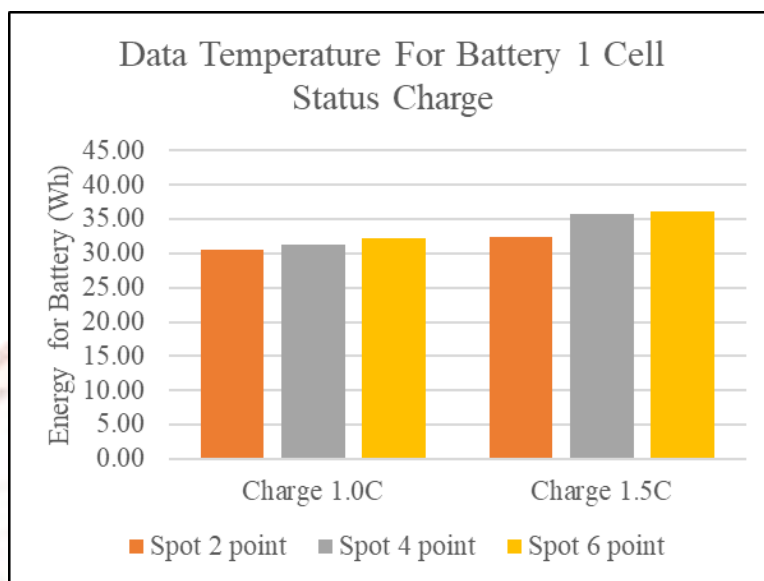
ตารางที่ 4-11 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell

Data Temperature for Battery 1 Cell (°C)				
Spot point	Discharge 1.0C	Discharge 1.5 C	Charge 1.0C	Charge 1.5C
Spot 2 point	33.27	36.27	30.50	32.40
Spot 4 point	33.40	37.53	31.23	35.70
Spot 6 point	33.73	38.83	32.27	36.13



ภาพที่ 4-13 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell สถานะ Discharge

จากตารางที่ 4-11 ภาพที่ 4-13 แสดงการเปรียบเทียบการศึกษาลักษณะทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด มีผลการทดลอง Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell ของแบตเตอรี่ INR18650-230 ที่ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จากผลการทดลอง Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราการจ่ายประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Temp spot 2 จุด เท่ากับ 33.27 °C, Temp spot 4 จุด เท่ากับ 33.40 °C, Temp spot 6 จุด เท่ากับ 33.73 °C อัตราจ่ายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Temp spot 2 จุด เท่ากับ 36.27 °C, Temp spot 4 จุด เท่ากับ 37.53 °C, Temp spot 6 จุด เท่ากับ 38.83 °C



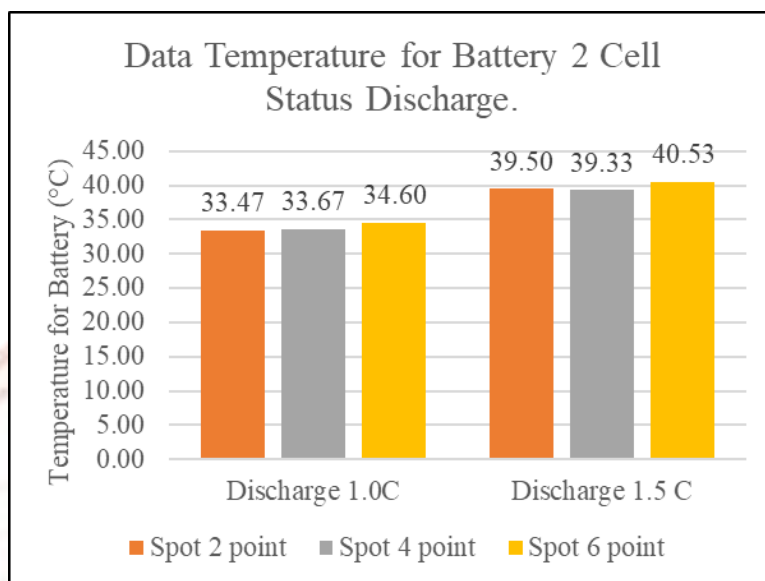
ภาพที่ 4-14 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell สถานะ Charge

จากตารางที่ 4-11 ภาพที่ 4-14 อัตราอัดประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Temp spot 2 จุด เท่ากับ 30.50 °C, Temp spot 4 จุด เท่ากับ 31.23 °C, Temp spot 6 จุด เท่ากับ 32.27 °C และอัตราอัดประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Temp spot 2 จุด เท่ากับ 32.40 °C, Temp spot 4 จุด เท่ากับ 35.70 °C, Temp spot 6 จุด เท่ากับ 36.13 °C

4.5.2 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell

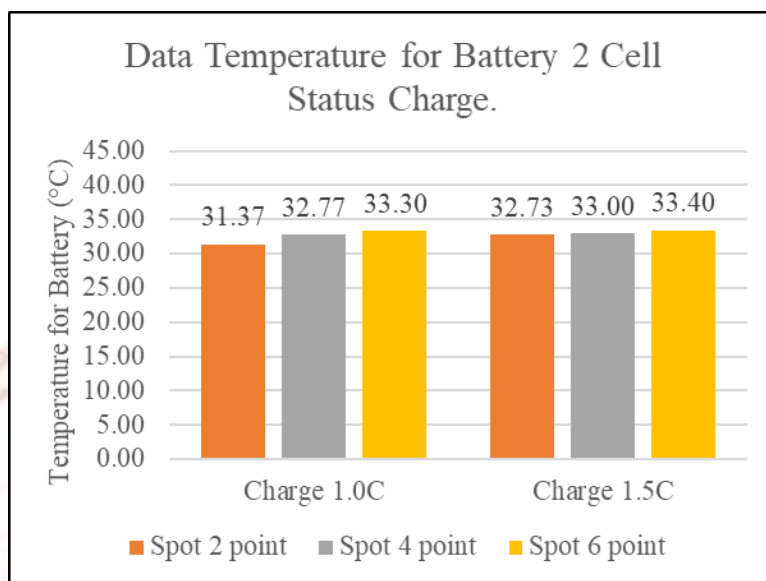
ตารางที่ 4-12 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell

Data Temperature for Battery 2 Cell (°C)				
Spot point	Discharge 1.0C	Discharge 1.5 C	Charge 1.0C	Charge 1.5C
Spot 2 point	33.47	39.50	31.37	32.73
Spot 4 point	33.67	39.33	32.77	33.00
Spot 6 point	34.60	40.53	33.30	33.40



ภาพที่ 4-15 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell สถานะ Discharge

จากตารางที่ 4-12 ภาพที่ 4-15 แสดงการเปรียบเทียบการศึกษาลักษณะทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด มีผลการทดลอง Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell ของแบตเตอรี่ INR18650-230 ที่ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จากผลการทดลอง Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราการจ่ายประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Temp spot 2 จุด เท่ากับ 31.97 °C, Temp spot 4 จุด เท่ากับ 31.07 °C, Temp spot 6 จุด เท่ากับ 32.30 °C อัตราจ่ายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Temp spot 2 จุด เท่ากับ 38.73 °C, Temp spot 4 จุด เท่ากับ 38.83 °C, Temp spot 6 จุด เท่ากับ 40.03 °C



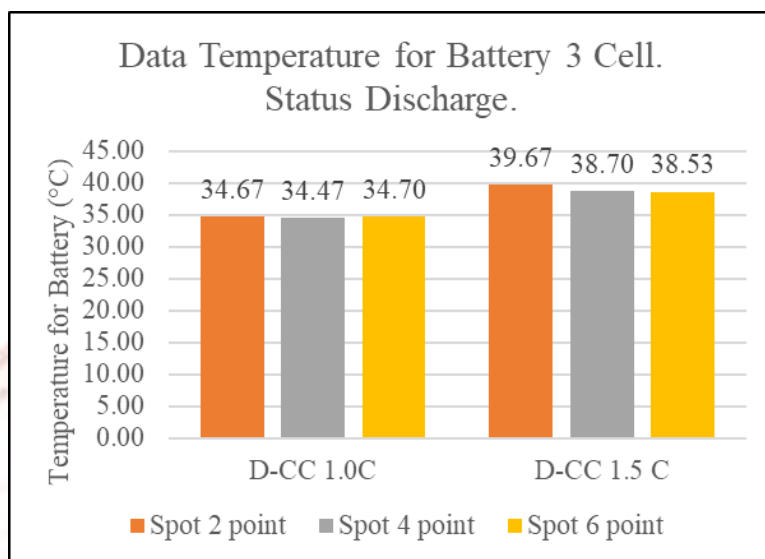
ภาพที่ 4-16 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell สถานะ Charge

จากตารางที่ 4-12 ภาพที่ 4-16 อัตราอัดประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Temp spot 2 จุด เท่ากับ 30.87 °C, Temp spot 4 จุด เท่ากับ 31.37 °C, Temp spot 6 จุด เท่ากับ 30.60 °C และอัตราอัดประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Temp spot 2 จุด เท่ากับ 31.47 °C, Temp spot 4 จุด เท่ากับ 31.47 °C, Temp spot 6 จุด เท่ากับ 32.67 °C

4.5.3 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell

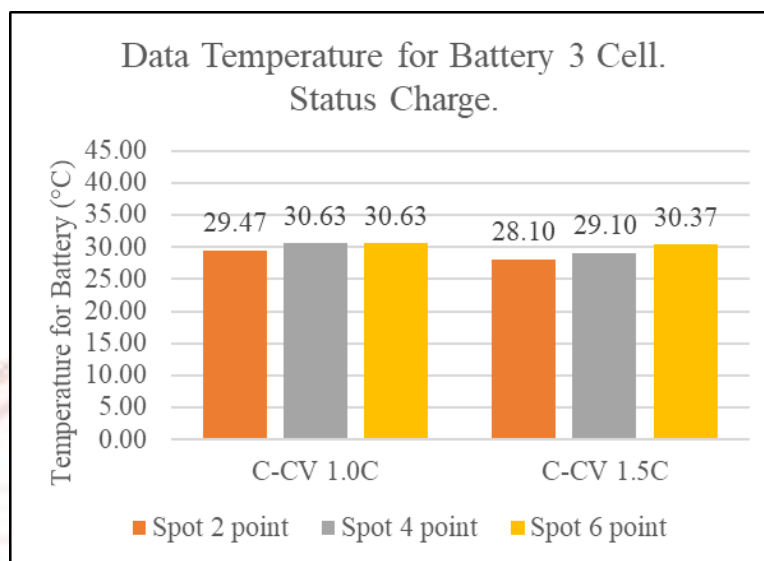
ตารางที่ 4-13 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell

Data Temperature for Battery 3 Cell (°C)				
Spot point	Discharge 1.0C	Discharge 1.5 C	Charge 1.0C	Charge 1.5C
Spot 2 point	34.67	39.67	29.47	28.10
Spot 4 point	34.47	38.70	30.63	29.10
Spot 6 point	34.70	38.53	30.63	30.37



ภาพที่ 4-17 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell สถานะ Discharge

จากตารางที่ 4-13 ภาพที่ 4-17 แสดงการเปรียบเทียบการศึกษาลักษณะทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด มีผลการทดลอง Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell ของแบตเตอรี่ INR18650-230 ที่ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จากผลการทดลอง Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราการจ่ายประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Temp spot 2 จุด เท่ากับ 34.67 °C, Temp spot 4 จุด เท่ากับ 34.47 °C, Temp spot 6 จุด เท่ากับ 34.70 °C อัตราจ่ายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Temp spot 2 จุด เท่ากับ 39.67 °C, Temp spot 4 จุด เท่ากับ 38.70 °C, Temp spot 6 จุด เท่ากับ 38.53 °C



ภาพที่ 4-18 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell สถานะ Charge

จากตารางที่ 4-13 ภาพที่ 4-18 อัตราอัดประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Temp spot 2 จุด เท่ากับ 29.47 °C, Temp spot 4 จุด เท่ากับ 30.63 °C, Temp spot 6 จุด เท่ากับ 30.63°C และอัตราอัดประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Temp spot 2 จุด เท่ากับ 28.10 °C, Temp spot 4 จุด เท่ากับ 29.10 °C, Temp spot 6 จุด เท่ากับ 30.37 °C

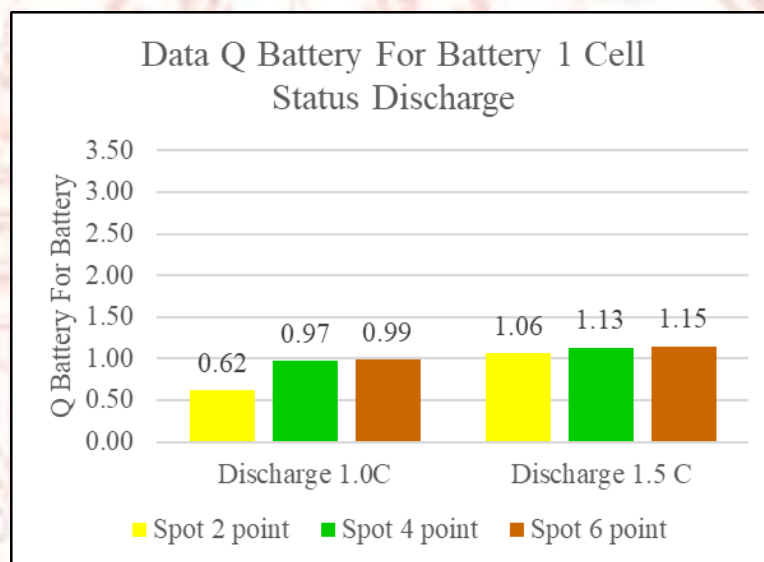
สรุปจากผลการทดลองการศึกษาลักษณะทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการส่งผลให้อุณหภูมิจากการเชื่อมจุด 2 จุด 4 จุด และ 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จากผลการทดลอง Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell 2 Cell และ 3 Cell จากกราฟที่ 4-7, 4-8, 4-9 สรุปผลการทดลองจะเห็นว่า อุณหภูมิของการเชื่อมจุด 6 จุด มีอุณหภูมิสูงกว่า 4 จุด และ 2 จุด แสดงว่าอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความร้อนสูงขึ้น

4.6 การเปรียบเทียบ Q Battery ของแบตเตอรี่

4.6.1 การเปรียบเทียบ Q Battery ของแบตเตอรี่ 1 Cell

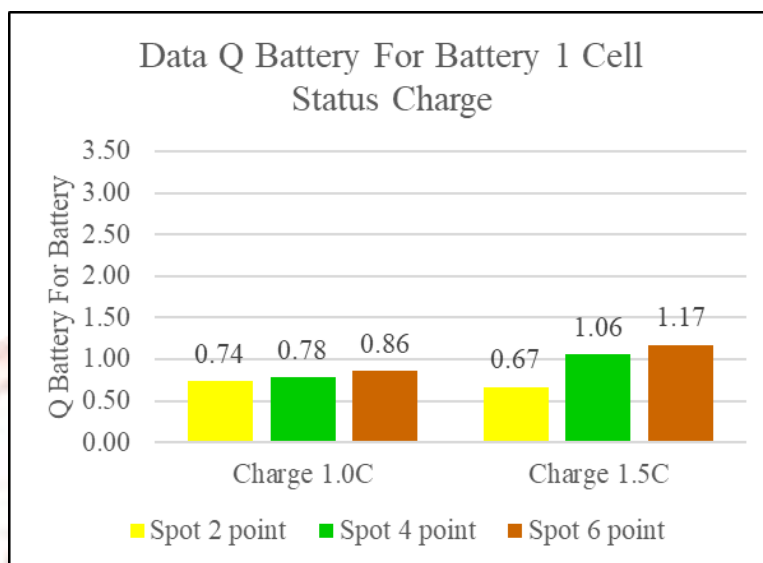
ตารางที่ 4-14 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell

Q Battery For Battery 1 Cell				
Spot point	Discharge 1.0C	Discharge 1.5 C	Charge 1.0C	Charge 1.5C
Spot 2 point	0.62	1.06	0.74	0.67
Spot 4 point	0.97	1.13	0.78	1.06
Spot 6 point	0.99	1.15	0.86	1.17



ภาพที่ 4-19 การเปรียบเทียบค่าความร้อน ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell สถานะ Discharge

จากตารางที่ 4-14 ภาพที่ 4-19 แสดงการเปรียบเทียบการศึกษาลักษณะทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด มีผลการทดลอง Q Battery ของแบตเตอรี่ 1 Cell ของแบตเตอรี่ INR18650-230 ที่ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จากผลการทดลอง Q Battery ของแบตเตอรี่ 1 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราจ่ายประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Q spot 2 จุด เท่ากับ 0.62 W, Q spot 4 จุด เท่ากับ 0.97 W, Q spot 6 จุด เท่ากับ 0.99 W อัตราจ่ายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Q spot 2 จุด เท่ากับ 1.06 W, Q spot 4 จุด เท่ากับ 1.13 W, Q spot 6 จุด เท่ากับ 1.15 W



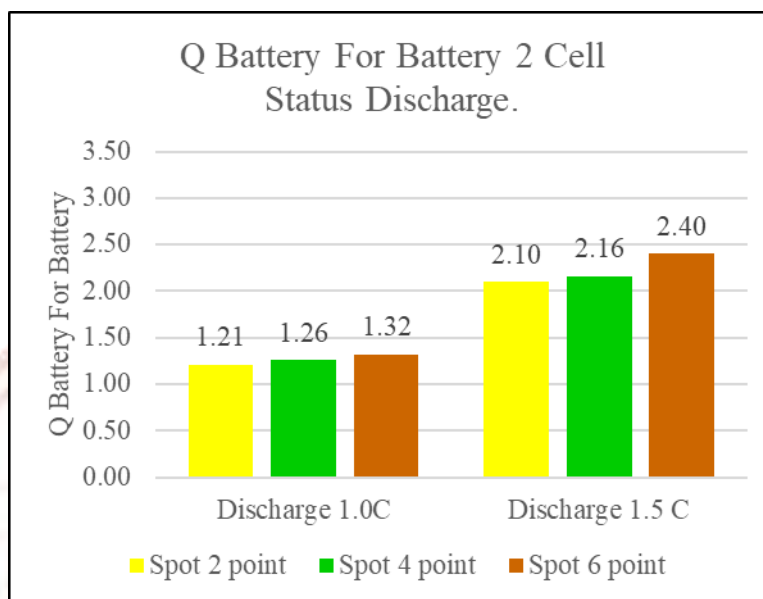
ภาพที่ 4-20 การเปรียบเทียบค่าความร้อน ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 1 Cell สถานะ Charge

จากตารางที่ 4-14 ภาพที่ 4-20 อัตราอัดประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Q spot 2 จุด เท่ากับ 0.74 W, Q spot 4 จุด เท่ากับ 0.78 W, Q spot 6 จุด เท่ากับ 0.86 W และอัตราอัดประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Q spot 2 จุด เท่ากับ 0.67 W, Q spot 4 จุด เท่ากับ 1.06 W, Q spot 6 จุด เท่ากับ 1.17 W จากผลการทดลองอุณหภูมิจากที่ 4-7 จะเห็นว่าการทดลองที่ 1C และ 1.5C อุณหภูมิของแบตเตอรี่การเชื่อมจุดแบบ 6 จุด จะสูงกว่า 4 จุด 2 จุด ตามลำดับ แสดงว่าความร้อนจากการเชื่อมจุดส่งผลให้แบตเตอรี่เมื่อนำไปจ่ายประจุและอัดประจุทำให้อุณหภูมิสูงเมื่อนำมาคำนวณหาความร้อนจากภาพที่ 4-10 ทำให้ค่าความร้อนสูงตามไปด้วย

4.6.2 การเปรียบเทียบ Q Battery ของแบตเตอรี่ 2 Cell

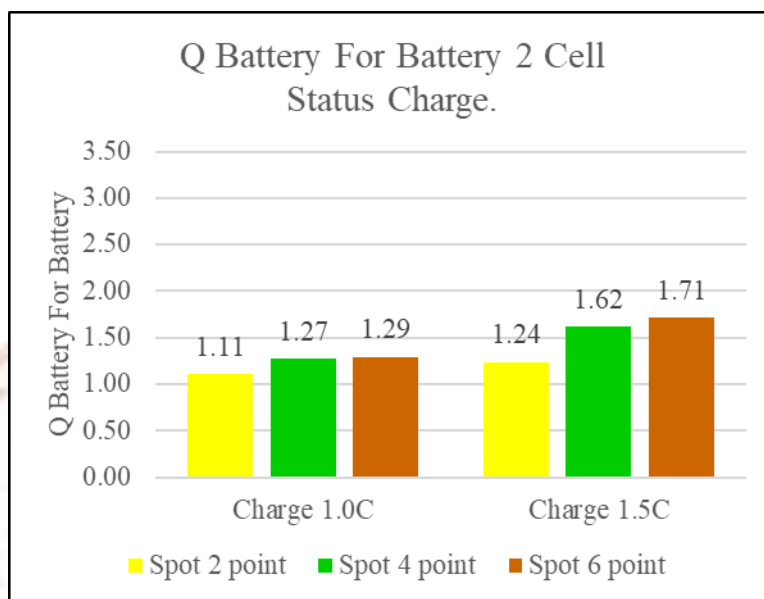
ตารางที่ 4-15 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell

Q Battery For Battery 2 Cell				
Spot point	Discharge 1.0C	Discharge 1.5 C	Charge 1.0C	Charge 1.5C
Spot 2 point	1.21	2.10	1.11	1.24
Spot 4 point	1.26	2.16	1.27	1.62
Spot 6 point	1.32	2.40	1.29	1.71



ภาพที่ 4-21 การเปรียบเทียบค่าความร้อน ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell สถานะ Discharge

จากตารางที่ 4-15 ภาพที่ 4-21 แสดงการเปรียบเทียบการศึกษาลักษณะทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด มีผลการทดลอง Q Battery ของแบตเตอรี่ 2 Cell ของแบตเตอรี่ INR18650-230 ที่ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จากผลการทดลอง Q Battery ของแบตเตอรี่ 2 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราจ่ายประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Q spot 2 จุด เท่ากับ 1.21 W, Q spot 4 จุด เท่ากับ 1.26 W, Q spot 6 จุด เท่ากับ 1.32 W อัตราจ่ายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Q spot 2 จุด เท่ากับ 2.10 W, Q spot 4 จุด เท่ากับ 2.16 W, Q spot 6 จุด เท่ากับ 2.40 W



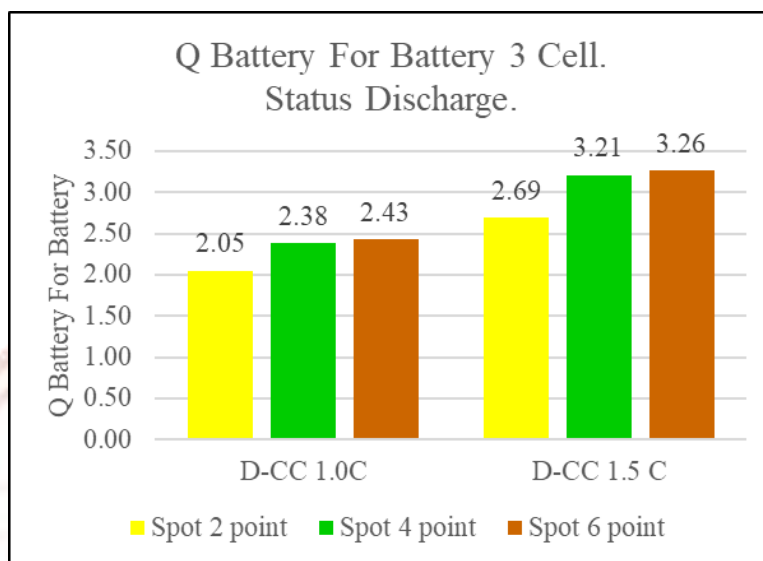
ภาพที่ 4-22 การเปรียบเทียบค่าความร้อน ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 2 Cell สถานะ Charge

จากตารางที่ 4-15 ภาพที่ 4-22 อัตราอัดประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Q spot 2 จุด เท่ากับ 1.11 W, Q spot 4 จุด เท่ากับ 1.27 W, Q spot 6 จุด เท่ากับ 1.29 W และอัตราอัดประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Q spot 2 จุด เท่ากับ 1.24 W, Q spot 4 จุด เท่ากับ 1.62 W, Q spot 6 จุด เท่ากับ 1.71 W จากผลการทดลองอุณหภูมิจากที่ 4-8 จะเห็นว่าการทดลองที่ 1C และ 1.5C อุณหภูมิของแบตเตอรี่การเชื่อมจุดแบบ 6 จุด จะสูงกว่า 4 จุด 2 จุด ตามลำดับ แสดงว่าความร้อนจากการเชื่อมจุดส่งผลให้แบตเตอรี่เมื่อนำไปจ่ายประจุและอัดประจุทำให้อุณหภูมิสูงโดยเฉพาะการจ่ายไฟที่ 1.5C จะสูงที่สุด เมื่อนำมาคำนวณหาความร้อนจากภาพที่ 4-11 ทำให้ค่าความร้อนสูงตามไปด้วย

4.6.3 การเปรียบเทียบ Q Battery ของแบตเตอรี่ 3 Cell

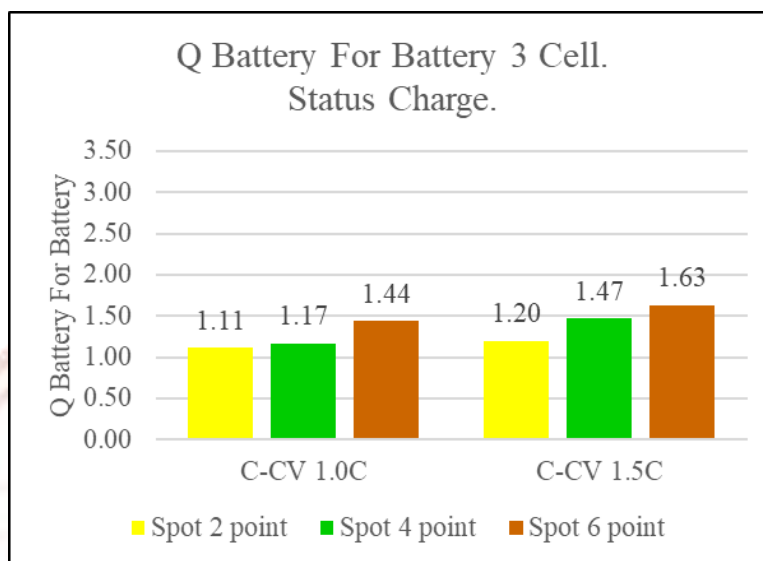
ตารางที่ 4-16 การเปรียบเทียบ Temperature ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell

Q Battery For Battery 3 Cell				
Spot point	D-CC 1.0C	D-CC 1.5 C	C-CV 1.0C	C-CV 1.5C
Spot 2 point	2.05	2.69	1.11	1.20
Spot 4 point	2.38	3.21	1.17	1.47
Spot 6 point	2.43	3.26	1.44	1.63



ภาพที่ 4-23 การเปรียบเทียบค่าความร้อน ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell สถานะ Discharge

จากตารางที่ 4-16 ภาพที่ 4-23 แสดงการเปรียบเทียบการศึกษาลักษณะทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด มีผลการทดลอง Q Battery ของแบตเตอรี่ 3 Cell ของแบตเตอรี่ INR18650-230 ที่ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จากผลการทดลอง Q Battery ของแบตเตอรี่ 3 Cell ทำการ spot 2 จุด 4 จุด 6 จุด โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 25°C พบว่าที่อัตราจ่ายประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Q spot 2 จุด เท่ากับ 2.05 W, Q spot 4 จุด เท่ากับ 2.38 W, Q spot 6 จุด เท่ากับ 2.43 W อัตราจ่ายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Q spot 2 จุด เท่ากับ 2.69 W, Q spot 4 จุด เท่ากับ 3.21 W, Q spot 6 จุด เท่ากับ 3.26 W



ภาพที่ 4-24 การเปรียบเทียบค่าความร้อน ของแบตเตอรี่ที่ Q Battery สูงสุด 3 Cell
สถานะ Discharge

จากตารางที่ 4-16 ภาพที่ 4-24 อัตราอัดประจุ 1.0C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Q spot 2 จุด เท่ากับ 1.11 W, Q spot 4 จุด เท่ากับ 1.17 W, Q spot 6 จุด เท่ากับ 1.44 W และอัตราอัดประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ Q spot 2 จุด เท่ากับ 1.20 W, Q spot 4 จุด เท่ากับ 1.47 W, Q spot 6 จุด เท่ากับ 1.63 W จากผลการทดลองอุณหภูมิจากที่ 4-9 จะเห็นว่าการทดลองที่ 1C และ 1.5C อุณหภูมิของแบตเตอรี่การเชื่อมจุดแบบ 6 จุด จะสูงกว่า 4 จุด 2 จุด ตามลำดับ แสดงว่าความร้อนจากการเชื่อมจุดส่งผลให้แบตเตอรี่เมื่อนำไปจ่ายประจุและอัดประจุทำให้อุณหภูมิสูงโดยเฉพาะการจ่ายไฟที่ 1.5C จะสูงที่สุด เมื่อนำมาคำนวณหาความร้อนจากภาพที่ 4-12 ทำให้ค่าความร้อนสูงตามไปด้วย

สรุปจากผลการทดลองการศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด ซึ่งจากภาพที่ 4-10, 4-11, 4-12 จะเห็นว่าความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมจุดจากตารางที่ 4-1, 4-2, 4-3 สูงถึง 50-80 °C ส่งผลให้ความร้อนที่เกิดจากการเชื่อมจุด 2 จุด 4 จุด และ 6 จุด ของแบตเตอรี่ 1 cell 2 cell 3 cell ที่อัตราการจ่ายประจุและอัดประจุ 1C และ 1.5C จากผลการทดลอง ของแบตเตอรี่ 1 Cell 2 Cell และ 3 Cell จากกราฟผลการทดลองจะเห็นว่าความร้อนที่เกิดจากการเชื่อมจุดส่งผลให้การเชื่อมจุด 6 จุด มีอุณหภูมิสูงกว่า 4 จุด และ 2 จุด ตามลำดับ ส่งผลให้ Energy ของแบตเตอรี่ลดลงตามภาพที่ 4-4, 4-5, 4-6 จะเห็นว่าเมื่อมีการจ่ายประจุ 1.5C ทำให้แบตเตอรี่จ่ายไฟสั้นลงกว่าปกติ เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ Test ดังตารางที่ 4-4 แต่ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นส่งผลต่อค่าของ Capacity เพียงเล็กน้อย จากผลการทดลอง และจากการทดลองจะเห็นว่าการจ่ายประจุและอัดประจุที่ 1.5C จะมีค่าอุณหภูมิในการทดลองสูงกว่า 1C อาจส่งผลให้อายุของแบตเตอรี่ในการใช้งานสั้นลงไปด้วย

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การจัดทำสารนิพนธ์ เรื่อง การศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด สามารถสรุปผลการดำเนินงานและมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด ประเภท INR18650-320 ภายใต้กระบวนการคายประจุและการอัดประจุที่อัตรา 1.0C และ 1.5C โดยทำการทดสอบภายใต้การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ถัง Thermostatic chamber จำลองสภาพอากาศให้คงที่ ที่อุณหภูมิเริ่มทดลองที่ 25 °C เพื่อคำนวณหาค่าความร้อน ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ค่าความจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR18650-320 ลดลงจากการทดลองเมื่อเทียบกับมาตรฐานของแบตเตอรี่ แต่เมื่อนำค่าความจุแบตเตอรี่แบบเชื่อมจุดมาเทียบกับค่าความจุแบตเตอรี่ที่ไม่ได้ทำการเชื่อมจุดจะเห็นว่าค่าความจุของแบตเตอรี่มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าค่าที่ความจุของแบตเตอรี่ลดลงอาจเกิดจากคุณภาพประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่เลือกมาทดลอง ไม่ได้เกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมจุดของแบตเตอรี่

5.1.2 ค่าพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR18650-320 ลดลงจากการทดลองเมื่อเทียบกับมาตรฐานของแบตเตอรี่ และเมื่อนำค่าพลังงานแบตเตอรี่แบบเชื่อมจุดมาเทียบกับค่าพลังงานแบตเตอรี่ที่ไม่ได้ทำการเชื่อมจุดจะเห็นว่าค่าพลังงานของแบตเตอรี่มีต่ำกว่า แสดงค่าที่ลดลงความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมจุดของแบตเตอรี่โดยการเชื่อม 2 จุด 4 จุด และ 6 จุด ส่งผลให้การจ่ายประจุและการอัดประจุของแบตเตอรี่ลดลงได้จากผลการทดลอง

5.1.3 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการจ่ายประจุและคายประจุที่ 1C และ 1.5C เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิแวดล้อม โดยมีแนวโน้มอุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้นจากการเชื่อมจุด 2 จุด 4 จุด และ 6 จุด ตามลำดับ และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่ทำการเชื่อมจุด 6 จุดจะสูงที่สุดของขบวนการจ่ายประจุและอัดประจุ

5.1.4 ที่อัตราการประจุและคายประจุ 1.5C ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่มากกว่าที่อัตรา 1C ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ในระยะยาว

5.2 อภิปรายผล

จากผลการทดลองสามารถอภิปรายได้ว่าความร้อนที่เกิดจากการเชื่อมจุดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถในการกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR18650-320 เมื่อเกิดความร้อนที่เกิน 60°C ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการจ่ายประจุและอัดประจุส่งผลต่อค่าความร้อนของแบตเตอรี่ทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความร้อนสะสม ซึ่งอาจนำไปสู่การเสื่อมสภาพของวัสดุภายในและลดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ในส่วนของการใช้งาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาสามารถเสนอแนะแนวทางสำหรับการวิจัยในอนาคตได้ดังนี้

5.3.1 ควรทำการทดสอบที่อัตราการประจุและคายประจุอื่นๆ เช่น 0.5C หรือ 2C เพื่อตรวจสอบผลกระทบของอุณหภูมิในช่วงที่แตกต่างกัน

5.3.2 ควรทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมที่สูงกว่า 30°C เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของแบตเตอรี่ในสภาวะใกล้เคียงอุณหภูมิในประเทศไทย

5.3.3 ควรศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ในระยะยาว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบการเชื่อมแบตเตอรี่แบบอื่นหรือวิธีอื่นที่ส่งผลกระทบต่อการกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ให้น้อยที่สุด

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน, (2564). แนวทางการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ของประเทศตามนโยบาย 30@30.
- [2] กองนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า สืบค้าอุตสาหกรรมและธุรกิจบริการ สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า, (2567). สถานการณ์รถยนต์ไฟฟ้า โอกาสและความท้าทายของไทย
- [3] Nikhil Kumar, Sugumaran Minda Ramakrishnan, Kailasanathan Panchapakesan, Devarajan Subramaniam, (2022). In-depth evaluation of micro-resistance spot welding for connecting tab to 18,650 Li-ion cells for electric vehicle battery application. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 121:6581–6597
- [4] Shuaihua Liua, Xunliang Liua,, Ruifeng Doua, Wenning Zhoua, Zhi Wena, Lin Liu, (2020). Experimental and simulation study on thermal characteristics of 18,650 lithium–iron–phosphate battery with and without spot–welding tabs. Applied Thermal Engineering 166
- [5] Z.N. Ma, Y.S. Zhang, (2019). The Effect of Ultrasonic Energy on Joint Characterization in Ultrasonic Spot Welding Multilayer Tabs Used in Lithium-ion Battery Manufacturing. MATEC Web of Conferences 269.
- [6] Isidor Buchmann. (29 April 2017). Batteries In A Portable World.
<https://batteryuniversity.com/articles>
- [7] นาวาอากาศเอก กิตติศักดิ์ พิพัฒน์พงศธร. (กันยายน 2563). แนวทางการผลิตแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนสำหรับรถยนต์ทหาร [เอกสารวิจัยส่วนบุคคล]. วิทยาลัยการทัพบก
- [8] เครื่องวัดแบตเตอรี่ [ออนไลน์] จาก <https://www.comcube.co.th/>
- [9] สงบ คาค้อ (2562) การศึกษาสถานภาพการพัฒนาเทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศไทย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

This is Mendeley biography





ภาคผนวก ก

ตารางบันทึกผลการทดลองแบตเตอรี่ INR18650-320

Battery TEST : 18650-320

Battery Condition : Discharge c-rate 1 C Spot 2 Point

ตารางที่ ก-1 บันทึกผลดำเนินการทดลองเก็บผลหาค่า CT ถึง Thermostatic chamber

Time (Min)	CH1 °C	CH2 °C	CH3 °C	CH4 °C	CH5 °C	CH6 °C	CH7 °C	CH8 °C	CH9 °C	CH10 °C	AVG. temp	CT
0	29	29	29	29	29	29	29	28	26	26	29	2457
5	30	30	30	30	30	30	30	29	26	26	30	3029
10	31	31	31	31	31	31	31	30	27	26	31	3460
15	32	32	32	32	32	32	32	31	26	27	32	3845
20	33	33	33	33	33	33	32	32	26	26	33	4189
25	33	33	33	33	33	33	33	32	26	26	33	4615
30	34	34	34	34	34	34	33	33	26	27	34	4976
35	34	34	34	34	34	34	34	33	26	26	34	5286
40	35	35	35	35	35	35	34	34	27	26	35	5648
45	35	35	35	35	35	35	35	34	27	27	35	5900
50	35	35	35	35	35	35	35	34	27	27	35	5900
55	35	35	35	35	35	35	35	34	27	27	35	5948
60	35	35	35	35	35	35	35	34	27	27	35	5925
65	35	35	35	35	35	35	35	34	27	27	35	5925
70	35	35	35	35	35	35	35	34	27	27	35	5903
75	35	35	35	35	35	35	35	34	27	27	35	5974
80	35	35	35	35	35	35	35	34	27	27	35	5951
85	35	35	35	35	35	35	35	34	27	27	35	5951
90	35	35	35	35	35	35	35	34	27	27	35	5928
95	36	36	36	36	35	35	35	35	27	27	35	6297
100	36	36	36	36	36	36	35	35	27	27	36	6617
105	36	36	36	36	36	36	36	35	27	27	36	6989
110	36	36	36	36	36	36	36	35	27	27	36	7317
115	36	37	36	37	37	37	36	36	26	27	37	7653
120	37	37	37	37	37	37	36	36	27	27	37	7894
125	37	37	37	37	37	37	37	36	27	27	37	8252
130	37	37	37	37	37	37	36	36	26	26	37	8970
135	37	37	37	37	37	37	36	36	26	26	37	9437

Battery TEST : 18650-320 1 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1 C Spot 4 Point

Capacity : 2,603 mAh.

Energy : 10.75 Wh.

Q Max : 0.78 W.

ตารางที่ ก-3 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1 C Spot 4 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2705	25
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2727	25
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2708	25
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2800	25
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2885	25
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2927	25
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2965	25
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2903	25
40	26	26	26	25	25	25	25	25	25	25	25	3032	26
45	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3017	27
50	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3049	27
55	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3051	27
60	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3021	27
65	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3054	27
70	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3055	27
75	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3026	27
80	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3027	27
85	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3029	27
90	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3030	27
95	28	28	28	25	25	25	25	25	25	25	25	3119	28
100	28	28	28	25	25	25	25	25	25	25	25	3173	28
105	28	29	29	25	25	25	25	25	25	25	25	3194	28
110	29	29	29	25	25	25	25	25	25	25	25	3243	29
115	29	29	29	25	25	25	25	25	25	25	25	3261	29
120	29	29	30	25	25	25	25	25	25	25	25	3277	29
125	30	30	30	26	26	25	26	25	25	24	25	3320	30
130	30	30	30	25	25	26	25	25	25	25	25	3387	30
135	30	30	30	25	25	26	25	25	25	25	25	3398	30
140	30	30	31	25	26	26	25	25	25	25	26	3478	30
145	30	31	31	25	26	26	25	26	25	24	26	3479	30
150	31	31	31	26	26	25	25	26	25	24	26	3480	31

Battery TEST : 18650-320 1 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1 C Spot 6 Point

Capacity : 2,675 mAh.

Energy : 11.03 Wh.

Q Max : 0.86 W.

ตารางที่ ก-4 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1 C Spot 6 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2705	25
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2727	25
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2708	25
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2800	25
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2885	25
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2927	25
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2965	25
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2903	25
40	26	26	26	25	25	25	25	25	25	25	25	3032	26
45	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3017	27
50	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3049	27
55	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3051	27
60	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3021	27
65	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3054	27
70	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3055	27
75	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3026	27
80	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3027	27
85	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3029	27
90	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3030	27
95	28	28	28	25	25	25	25	25	25	25	25	3119	28
100	28	28	28	25	25	25	25	25	25	25	25	3173	28
105	28	29	29	25	25	25	25	25	25	25	25	3194	28
110	29	29	29	25	25	25	25	25	25	25	25	3243	29
115	29	29	29	25	25	25	25	25	25	25	25	3261	29
120	29	29	30	25	25	25	25	25	25	25	25	3277	29
125	30	30	30	26	26	25	26	25	25	24	25	3320	30
130	30	30	30	25	25	26	25	25	25	25	25	3387	30
135	30	30	30	25	25	26	25	25	25	25	25	3398	30
140	30	30	31	25	26	26	25	25	25	25	26	3478	30
145	30	31	31	25	26	26	25	26	25	24	26	3479	30
150	31	31	31	26	26	25	25	26	25	24	26	3480	31

Battery TEST : 18650-320 1 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1.5 C Spot 2 Point

Capacity : 2,634 mAh.

Energy : 11.03 Wh.

Q Max : 0.67 W.

ตารางที่ ก-5 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 2 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2234	0.64
5	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2500	0.63
10	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2411	0.27
15	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2437	0.57
20	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2439	0.57
25	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2442	0.49
30	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2444	0.57
35	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2447	0.49
40	26	26	26	26	26	26	26	26	27	25	26	2410	0.57
45	26	26	26	26	26	26	26	26	27	25	26	2452	0.57
50	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2454	0.57
55	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2457	0.49
60	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2459	0.57
65	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2705	0.33
70	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2727	0.45
75	26	26	26	26	26	26	26	26	27	25	26	2708	0.42
80	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2800	0.47
85	26	26	26	26	26	26	26	26	27	25	26	2885	0.45
90	26	26	26	26	26	26	26	26	27	25	26	2927	0.37
95	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	2965	0.41
100	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	2903	0.38
105	27	27	27	26	26	26	26	26	27	26	26	3032	0.48
110	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3017	0.45
115	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3049	0.41
120	28	27	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3051	0.31
125	28	27	28	26	26	26	26	26	27	25	26	3021	0.40
130	28	28	28	26	26	26	26	26	27	25	26	3054	0.36
135	27	28	28	26	26	26	26	26	27	25	26	3055	0.41
140	27	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3026	0.40
145	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3027	0.35
150	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3029	0.45

ตารางที่ ก-5 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 2 Point (ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3030	0.40
160	28	28	29	26	26	26	26	26	26	24	26	3119	0.45
165	29	29	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3173	0.43
170	29	29	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3194	0.42
175	29	30	30	26	26	26	26	26	26	26	26	3243	0.45
180	30	30	30	26	26	26	26	26	26	26	26	3261	0.35
185	30	30	30	26	26	26	26	26	26	24	26	3277	0.46
190	30	30	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3320	0.41
195	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3387	0.40
200	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3398	0.39
205	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3478	0.47
210	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3479	0.50
215	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3480	0.35
220	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3481	0.35
225	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3483	0.39
230	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3457	0.42
235	31	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3432	0.46
240	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3459	0.50
245	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3460	0.46
250	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3462	0.46
255	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3523	0.49
260	31	31	32	26	26	26	26	26	26	26	26	3582	0.52
265	31	31	32	26	26	27	26	26	26	26	26	3587	0.54
270	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3723	0.47
275	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3723	0.43
280	31	31	31	26	27	26	26	27	26	26	26	3699	0.51
285	30	31	31	26	27	27	26	27	26	26	26	3725	0.54
290	30	31	30	26	27	26	26	27	26	26	26	3725	0.49
295	30	30	30	26	26	27	26	26	26	26	26	3799	0.49

Battery TEST : 18650-320 1 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1.5 C Spot 4 Point

Capacity : 2,631 mAh.

Energy : 10.99 Wh.

Q Max : 1.06 W.

ตารางที่ ก-6 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 4 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	26	25	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2234	0.53
5	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2500	0.94
10	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2411	0.63
15	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2437	0.57
20	26	26	25	26	26	26	26	26	26	25	26	2439	0.57
25	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2442	0.57
30	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2444	0.49
35	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2447	0.49
40	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2410	0.57
45	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2452	0.49
50	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2454	0.41
55	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2457	0.49
60	26	26	25	26	26	26	26	26	26	25	26	2459	0.49
65	26	26	25	26	26	26	26	26	26	25	26	2705	0.41
70	26	25	25	26	26	26	26	26	26	25	26	2727	0.30
75	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2708	0.35
80	26	26	26	26	26	26	26	26	26	24	26	2800	0.40
85	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2885	0.45
90	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2927	0.43
95	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2965	0.41
100	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2903	0.27
105	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3032	0.53
110	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3017	0.61
115	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3049	0.61
120	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3051	0.56
125	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3021	0.61
130	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3054	0.56
135	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3055	0.61
140	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3026	0.61
145	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3027	0.61
150	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3029	0.61

ตารางที่ ก-6 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 4 Point (ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3030	0.66
160	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3119	0.64
165	32	32	32	26	26	26	26	26	26	24	26	3173	0.72
170	33	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3194	0.74
175	34	34	34	26	26	26	26	26	26	25	26	3243	0.72
180	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3261	0.78
185	35	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3277	0.80
190	35	36	36	26	26	26	26	26	26	24	26	3320	0.86
195	36	36	36	26	26	26	26	26	26	24	26	3387	0.93
200	35	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3398	1.02
205	35	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3478	0.97
210	35	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3479	0.93
215	35	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3480	0.97
220	35	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3481	1.01
225	35	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3483	0.93
230	35	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3457	0.96
235	35	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3432	0.95
240	35	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3459	0.96
245	35	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3460	1.00
250	35	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3462	1.00
255	35	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3523	1.02
260	34	34	34	26	26	26	26	26	26	24	26	3582	0.93
265	34	34	34	26	26	26	26	26	26	25	26	3587	0.91
270	33	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	0.91
275	32	32	32	26	26	26	26	26	26	24	26	3723	0.92
280	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3699	0.89
285	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3725	0.81
290	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3725	0.82
295	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3799	0.81

Battery TEST : 18650-320 1 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1.5 C Spot 6 Point

Capacity : 2,658 mAh.

Energy : 10.99 Wh.

Q Max : 1.17 W.

ตารางที่ ก-7 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 6 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2234	0.20
5	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2500	0.30
10	25	25	25	26	26	25	26	26	26	25	25	2411	0.44
15	26	25	25	26	26	25	26	25	26	25	25	2437	0.48
20	26	25	25	26	25	25	26	25	26	25	25	2439	0.32
25	25	25	25	26	25	26	26	25	26	25	25	2442	0.40
30	25	25	25	25	25	26	26	25	26	25	25	2444	0.40
35	25	25	25	25	25	26	25	25	26	25	25	2447	0.40
40	25	25	25	25	25	26	25	25	26	25	25	2410	0.31
45	25	26	25	25	26	26	25	26	26	25	25	2452	0.40
50	25	26	25	25	26	26	25	26	26	25	25	2454	0.48
55	25	25	25	25	26	25	25	26	26	25	25	2457	0.32
60	25	25	25	26	26	25	26	26	26	25	25	2459	0.40
65	25	25	25	25	26	26	25	26	26	25	25	2705	0.48
70	25	26	25	25	26	26	25	26	26	25	26	2727	0.52
75	26	26	25	26	26	25	26	26	26	25	26	2708	0.48
80	25	25	25	25	26	26	25	25	26	25	26	2800	0.46
85	25	25	26	25	25	26	26	25	26	25	25	2885	0.38
90	26	25	25	26	25	26	26	25	26	26	26	2927	0.42
95	25	26	25	25	26	25	25	26	26	25	25	2965	0.29
100	25	26	26	25	26	26	26	26	26	25	26	2903	0.37
105	26	26	25	26	26	26	26	26	26	25	26	3032	0.47
110	27	28	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3017	0.55
115	27	28	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3049	0.56
120	27	28	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3051	0.56
125	27	28	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3021	0.60
130	27	28	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3054	0.61
135	27	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3055	0.51
140	27	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3026	0.60
145	27	28	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3027	0.55
150	27	28	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3029	0.45

ตารางที่ ก-7 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 6 Point (ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	27	28	28	26	26	26	26	25	26	25	26	3030	0.45
160	30	30	30	26	26	26	26	26	26	26	26	3119	0.59
165	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3173	0.57
170	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3194	0.78
175	33	34	34	26	26	26	26	26	26	25	26	3243	0.72
180	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3261	0.78
185	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3277	0.84
190	35	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3320	0.90
195	35	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3387	0.92
200	36	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3398	0.97
205	36	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3478	1.04
210	35	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3479	1.00
215	36	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3480	1.04
220	36	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3481	1.04
225	36	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3483	1.04
230	36	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3457	1.07
235	35	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3432	1.03
240	35	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3459	1.00
245	36	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3460	1.03
250	36	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3462	1.00
255	35	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3523	1.06
260	35	35	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3582	1.04
265	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3587	1.12
270	34	34	34	26	26	26	26	26	26	26	26	3723	1.13
275	33	34	34	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	1.10
280	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3699	1.09
285	32	32	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3725	1.04
290	31	32	32	26	26	27	26	26	26	25	26	3725	1.08
295	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3799	1.07

ตารางที่ ก-8 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 2 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	27	27	28	26	26	26	26	26	26	26	26	3030	0.25
160	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3119	0.30
165	28	29	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3173	0.34
170	29	29	29	26	26	26	26	26	27	26	26	3194	0.42
175	29	29	29	26	26	26	26	26	27	26	26	3243	0.45
180	29	29	30	26	26	26	26	26	27	26	26	3261	0.43
185	29	30	30	26	26	26	26	26	27	25	26	3277	0.38
190	30	30	30	26	26	26	26	26	27	25	26	3320	0.41
195	30	30	30	26	26	26	26	26	27	25	26	3387	0.40
200	30	30	30	26	26	26	26	26	27	26	26	3398	0.39
205	30	30	30	26	26	26	26	26	27	26	26	3478	0.39
210	30	30	30	26	26	26	26	26	27	26	26	3479	0.43
215	30	30	30	26	26	26	26	26	27	26	26	3480	0.43
220	30	30	30	26	26	26	26	26	27	26	26	3481	0.35
225	30	30	30	26	26	26	26	26	27	26	26	3483	0.39
230	30	30	30	26	26	26	26	26	27	25	26	3457	0.38
235	30	30	30	26	26	26	26	26	27	25	26	3432	0.42
240	30	30	30	26	26	26	26	26	27	25	26	3459	0.42
245	30	30	30	26	26	26	26	26	27	25	26	3460	0.42
250	30	30	30	26	26	26	26	26	27	25	26	3462	0.35
255	30	30	30	26	26	26	26	26	27	25	26	3523	0.38
260	30	30	31	26	26	26	26	26	27	26	26	3582	0.52
265	30	30	31	26	26	27	26	26	27	26	26	3587	0.58
270	30	30	31	26	26	26	26	26	27	26	26	3723	0.51
275	30	31	31	26	26	26	26	26	27	26	26	3723	0.50
280	30	30	31	26	26	26	26	26	27	25	26	3699	0.48
285	30	31	31	27	27	26	26	26	27	26	26	3725	0.57
290	30	31	31	27	27	26	26	26	27	26	26	3725	0.56
295	31	31	31	26	27	27	27	27	27	26	26	3799	0.55

Battery TEST : 18650-320 1 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1 C Spot 4 Point

Capacity : 2,612 mAh.

Energy : 8.66 Wh.

Q Max : 0.97 W.

ตารางที่ ก-9 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 4 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	26	24	25	2234	0.64
5	25	25	25	25	25	25	25	25	26	24	25	2500	0.83
10	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2411	0.63
15	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2437	0.41
20	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2439	0.57
25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2442	0.57
30	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2444	0.66
35	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2447	0.41
40	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2410	0.57
45	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2452	0.49
50	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2454	0.66
55	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2457	0.41
60	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2459	0.66
65	25	25	25	25	25	25	25	25	26	24	25	2705	0.74
70	25	25	25	25	25	25	25	25	26	24	25	2727	0.68
75	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2708	0.42
80	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2800	0.60
85	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2885	0.71
90	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2927	0.61
95	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2965	0.52
100	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2903	0.38
105	26	26	26	25	25	25	25	25	26	24	25	3032	0.48
110	26	27	26	25	25	25	25	25	26	25	25	3017	0.61
115	26	27	26	25	25	25	25	25	26	25	25	3049	0.56
120	26	27	26	25	25	25	25	25	26	25	25	3051	0.56
125	27	27	26	25	25	25	25	25	26	25	25	3021	0.56
130	27	26	27	25	25	25	25	25	26	25	25	3054	0.61
135	26	27	27	25	25	25	25	25	26	25	25	3055	0.56
140	26	27	27	25	25	25	25	25	26	25	25	3026	0.56
145	26	27	27	25	25	25	25	25	26	25	25	3027	0.56
150	26	27	27	25	25	25	25	25	26	25	25	3029	0.66

ตารางที่ ก-9 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 4 Point (ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	26	27	26	25	25	25	25	25	26	25	25	3030	0.45
160	27	27	27	25	25	25	25	25	26	25	25	3119	0.54
165	28	28	28	25	25	25	25	25	26	25	25	3173	0.58
170	28	28	28	25	25	25	25	25	26	24	25	3194	0.69
175	28	28	28	25	25	25	25	25	26	24	25	3243	0.81
180	28	29	28	25	25	25	25	25	26	24	25	3261	0.74
185	28	29	29	25	25	25	25	25	26	25	25	3277	0.67
190	29	29	29	25	25	25	25	25	26	25	25	3320	0.57
195	29	29	29	25	25	25	25	25	26	24	25	3387	0.61
200	29	29	29	25	25	25	25	25	26	25	25	3398	0.66
205	29	29	29	25	25	25	25	25	26	25	25	3478	0.70
210	29	29	29	25	26	25	25	25	26	25	25	3479	0.78
215	29	29	29	25	26	25	25	25	26	24	25	3480	0.78
220	29	29	29	25	25	25	25	25	26	25	25	3481	0.70
225	29	29	29	25	25	25	25	25	26	25	25	3483	0.70
230	29	29	29	25	25	25	25	25	26	25	25	3457	0.65
235	29	29	29	25	25	25	25	25	26	24	25	3432	0.69
240	29	29	29	25	25	25	25	25	26	24	25	3459	0.73
245	29	30	29	25	25	25	25	25	26	24	25	3460	0.69
250	29	29	29	25	25	25	25	25	26	24	25	3462	0.73
255	29	29	29	25	25	26	25	25	26	24	25	3523	0.76
260	29	30	29	26	26	25	26	26	26	24	25	3582	0.82
265	29	30	30	25	26	26	25	26	26	25	26	3587	0.83
270	29	30	30	26	26	25	25	26	26	25	26	3723	0.84
275	29	30	30	26	25	26	26	25	26	25	26	3723	0.82
280	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3699	0.96
285	29	30	30	25	26	26	25	26	26	25	26	3725	0.81
290	30	30	30	26	26	26	26	25	26	25	26	3725	0.78
295	30	30	30	26	26	26	26	26	26	24	26	3799	0.84

ตารางที่ ก-10 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 6 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	27	27	27	25	25	25	25	25	26	25	25	3027	0.56
160	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3029	0.66
165	27	27	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3030	0.61
170	27	27	28	25	25	26	25	25	26	25	25	3119	0.74
175	28	28	28	25	26	26	25	25	26	25	25	3173	0.77
180	28	29	28	25	26	25	25	25	25	25	25	3194	0.74
185	29	29	29	25	26	25	25	26	26	25	25	3243	0.68
190	29	29	29	26	25	26	26	25	26	25	26	3261	0.78
195	29	29	29	26	26	25	26	26	25	25	25	3277	0.71
200	29	30	29	25	26	26	25	26	26	25	26	3320	0.78
205	29	30	29	26	26	25	26	26	26	25	26	3387	0.77
210	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3398	0.90
215	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3478	0.78
220	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3479	0.78
225	30	30	30	26	26	26	26	25	26	25	26	3480	0.78
230	29	30	30	25	26	26	25	25	26	25	26	3481	0.70
235	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3483	0.74
240	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3457	0.77
245	30	30	30	26	25	26	26	25	26	25	26	3432	0.69
250	29	30	30	26	26	26	25	25	26	25	26	3459	0.77
255	30	30	30	26	26	26	25	26	26	25	26	3460	0.81
260	30	30	30	26	26	26	26	26	25	25	26	3462	0.77
265	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3523	0.83
270	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3582	0.82
275	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3587	0.83
280	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	0.91
285	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	0.89
290	30	30	30	26	26	26	26	26	26	26	26	3699	0.92
295	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3725	0.87

Battery TEST : 18650-320 1 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point

Capacity : 2,581 mAh.

Energy : 8.08 Wh.

Q Max : 1.06 W.

ตารางที่ ก-11 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2234	0.11
5	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2500	0.10
10	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2411	0.27
15	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2437	0.16
20	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2439	0.25
25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2442	0.25
30	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2444	0.25
35	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2447	0.16
40	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2410	0.32
45	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2452	0.16
50	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2454	0.25
55	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2457	0.16
60	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2459	0.25
65	25	25	25	25	25	25	25	25	27	26	25	2705	0.41
70	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2727	0.38
75	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2708	0.42
80	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2800	0.33
85	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2885	0.32
90	25	25	25	25	25	25	25	25	27	26	25	2927	0.31
95	25	25	25	25	26	25	25	26	27	26	25	2965	0.47
100	25	25	25	25	25	25	25	25	27	26	25	2903	0.38
105	25	25	25	25	26	26	25	26	27	26	25	3032	0.48
110	27	27	27	26	26	25	26	26	27	26	26	3017	0.56
115	27	27	27	26	26	25	26	26	27	26	26	3049	0.56
120	27	27	27	26	25	25	26	25	27	26	25	3051	0.51
125	27	27	27	26	25	26	26	25	27	26	26	3021	0.56
130	27	27	27	26	25	26	26	25	27	26	26	3054	0.56
135	27	27	27	25	25	26	26	25	27	26	25	3055	0.51
140	27	27	27	25	26	26	25	26	27	26	26	3026	0.56
145	27	27	27	25	26	26	25	26	27	26	26	3027	0.61
150	27	27	27	25	26	25	25	26	27	26	25	3029	0.51

ตารางที่ ก-11 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	27	27	27	26	26	25	26	26	27	26	26	3030	0.56
160	28	29	29	25	26	26	25	25	27	26	26	3119	0.54
165	30	30	30	26	26	26	26	25	27	26	26	3173	0.67
170	30	31	31	26	26	26	25	26	27	26	26	3194	0.60
175	31	32	32	26	26	26	26	26	27	26	26	3243	0.68
180	32	32	32	26	26	26	26	26	27	26	26	3261	0.78
185	32	33	33	26	26	26	26	26	27	26	26	3277	0.88
190	33	33	33	26	26	26	26	26	27	26	26	3320	0.82
195	33	33	34	26	26	26	26	26	27	26	26	3387	0.93
200	33	34	34	26	26	26	26	26	27	26	26	3398	0.98
205	33	34	34	26	26	26	26	26	27	26	26	3478	1.05
210	33	34	34	26	26	26	26	26	27	26	26	3479	1.01
215	33	34	34	26	26	26	26	26	27	26	26	3480	1.01
220	33	34	34	26	26	26	26	26	27	26	26	3481	1.05
225	33	34	34	26	26	26	26	26	27	26	26	3483	1.01
230	33	34	34	26	26	26	26	26	27	26	26	3457	1.00
235	33	34	34	26	26	26	26	26	27	26	26	3432	1.03
240	33	34	34	26	26	26	26	26	27	26	26	3459	1.04
245	33	34	34	26	26	26	26	26	27	26	26	3460	1.00
250	33	34	34	26	26	26	26	26	27	26	26	3462	1.00
255	34	34	35	26	26	26	26	26	27	26	26	3523	1.10
260	34	34	35	26	26	26	26	26	27	26	26	3582	1.08
265	34	35	35	26	26	26	26	26	27	26	26	3587	1.16
270	35	35	35	26	26	26	26	26	27	26	26	3723	1.20
275	35	35	36	26	26	26	26	26	27	26	26	3723	1.21
280	35	36	37	26	26	27	26	26	27	26	26	3699	1.27
285	36	37	37	27	27	26	26	27	27	26	26	3725	1.34
290	37	38	38	27	26	27	26	26	27	26	27	3725	1.34
295	37	38	38	27	26	27	26	26	27	26	27	3725	1.34

Battery TEST : 18650-320 1 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1.5 C Spot 4 Point

Capacity : 2,596 mAh.

Energy : 8.08 Wh.

Q Max : 1.13 W.

ตารางที่ ก-12 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 4 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2234	0.53
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2500	0.52
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2411	0.63
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2437	0.66
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2439	0.66
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2442	0.66
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2444	0.57
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2447	0.66
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2410	0.57
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2452	0.66
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2454	0.66
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2457	0.66
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2459	0.57
65	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2705	0.66
70	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2727	0.61
75	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2708	0.42
80	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2800	0.47
85	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2885	0.45
90	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2927	0.61
95	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2965	0.52
100	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2903	0.38
105	27	27	27	25	25	26	25	25	25	24	25	3032	0.69
110	28	29	29	25	25	26	25	25	25	25	25	3017	0.66
115	28	29	29	25	26	26	25	25	25	25	25	3049	0.71
120	28	29	28	25	26	25	25	25	25	25	25	3051	0.66
125	28	29	29	26	25	25	25	25	25	25	25	3021	0.71
130	28	29	29	25	25	26	25	25	25	25	25	3054	0.71
135	28	29	29	25	26	26	25	25	25	25	25	3055	0.71
140	29	29	29	26	26	25	25	25	25	25	25	3026	0.71
145	29	29	29	26	25	25	25	25	25	25	25	3027	0.66
150	28	29	29	25	25	26	25	25	25	25	25	3029	0.66

ตารางที่ ก-12 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 4 Point
(ต่อ)

[illegible]

Battery TEST : 18650-320 1 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point

Capacity : 2,641 mAh.

Energy : 8.29 Wh.

Q Max : 1.15 W.

ตารางที่ ก-13 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2027	0.00
5	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2093	0.35
10	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2234	0.21
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2500	0.10
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2411	0.18
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2437	0.08
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2439	0.16
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2442	0.08
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2444	0.25
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2447	0.16
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2410	0.24
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2452	0.25
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2454	0.08
65	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2457	0.16
70	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2459	0.25
75	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2705	0.41
80	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2727	0.30
85	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2708	0.35
90	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2800	0.40
95	25	25	25	25	25	25	26	25	26	26	25	2885	0.45
100	25	25	25	25	25	25	26	25	26	26	25	2927	0.43
105	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2965	0.41
110	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	25	2903	0.38
115	27	27	27	25	26	26	25	25	26	26	26	3032	0.59
120	28	29	29	26	26	25	26	25	26	26	26	3017	0.56
125	28	29	29	26	25	26	26	25	26	26	26	3049	0.56
130	28	29	29	25	26	26	25	25	26	26	26	3051	0.56
135	29	29	29	26	26	25	25	26	26	26	26	3021	0.56
140	29	29	29	26	26	25	26	25	26	26	26	3054	0.56
145	29	29	29	26	25	26	26	25	26	26	26	3055	0.56
150	28	29	29	25	26	26	25	25	26	26	26	3026	0.56

ตารางที่ ก-13 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 1 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	28	29	29	25	26	26	25	26	26	26	25	3027	0.51
160	29	29	29	26	26	25	26	26	26	26	25	3029	0.51
165	29	29	29	26	25	26	26	25	26	26	26	3030	0.56
170	30	30	30	26	26	26	26	26	26	26	26	3119	0.69
175	31	31	31	26	26	26	26	25	26	25	26	3173	0.77
180	32	32	32	26	26	26	26	26	26	26	26	3194	0.83
185	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3243	0.86
190	33	34	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3261	0.87
195	33	34	34	26	26	26	26	26	26	25	26	3277	0.92
200	33	34	34	26	26	26	26	26	26	25	26	3320	0.90
205	34	35	35	26	26	26	26	26	26	26	26	3387	0.97
210	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3398	0.94
215	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3478	0.93
220	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3479	0.97
225	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3480	0.97
230	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3481	1.01
235	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3483	1.01
240	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3457	1.00
245	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3432	0.95
250	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3459	0.92
255	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3460	1.00
260	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3462	0.96
265	34	35	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3523	1.02
270	35	36	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3582	1.05
275	35	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3587	1.05
280	35	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	1.13
285	36	37	37	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	1.14
290	36	37	37	26	26	26	26	26	26	25	26	3699	1.20
295	37	38	38	26	26	26	26	26	26	25	26	3725	1.21

Battery TEST : 18650-320 2 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1 C Spot 2 Point

Capacity : 5,578 mAh.

Energy : 22.15 Wh.

Q Max : 1.11 W.

ตารางที่ ก-14 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1 C Spot 2 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	26	25	25	25	26	25	25	25	25	25	25	2234	0.32
5	25	26	25	25	26	26	25	26	26	25	25	2500	0.52
10	25	26	25	25	26	25	25	26	26	25	25	2411	0.36
15	25	25	25	25	25	26	25	25	25	25	25	2437	0.25
20	25	25	25	25	26	26	25	25	25	25	25	2439	0.33
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2442	0.08
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2444	0.16
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2447	0.16
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2410	0.16
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2452	0.08
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2454	0.16
55	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2457	0.16
60	25	25	25	25	25	26	25	25	26	25	25	2459	0.08
65	25	26	25	25	26	26	25	26	26	25	25	2705	0.41
70	26	26	25	25	26	25	25	26	25	25	25	2727	0.30
75	25	26	25	25	26	26	25	26	26	25	25	2708	0.35
80	26	26	25	26	26	25	26	26	25	25	25	2800	0.33
85	26	25	25	26	25	25	26	26	26	25	25	2885	0.26
90	26	25	26	26	25	26	26	25	26	25	26	2927	0.37
95	25	26	26	25	26	26	25	25	26	25	25	2965	0.29
100	26	26	26	26	26	26	25	26	26	25	26	2903	0.38
105	27	27	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3032	0.53
110	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3017	0.45
115	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3049	0.56
120	28	28	28	26	26	26	26	26	25	25	26	3051	0.51
125	28	28	28	26	26	26	26	26	25	25	26	3021	0.51
130	28	28	28	26	26	26	26	25	26	25	26	3054	0.61
135	28	28	28	26	26	26	25	26	26	25	26	3055	0.51
140	28	28	28	26	26	26	25	26	26	25	26	3026	0.51
145	28	28	28	26	26	26	26	26	25	25	26	3027	0.56
150	28	28	28	26	26	26	26	26	25	25	26	3029	0.51

ตารางที่ ก-14 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1 C Spot 2 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3030	0.61
160	29	29	29	26	26	26	26	25	25	25	26	3119	0.59
165	29	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3173	0.58
170	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3194	0.79
175	30	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3243	0.72
180	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3261	0.78
185	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3277	0.71
190	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3320	0.82
195	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3387	0.93
200	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3398	0.86
205	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3478	0.81
210	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3479	0.85
215	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3480	0.93
220	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3481	0.97
225	31	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3483	0.85
230	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3457	0.88
235	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3432	0.88
240	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3459	0.92
245	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3460	0.85
250	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3462	0.92
255	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3523	0.91
260	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3582	0.97
265	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3587	0.91
270	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	0.99
275	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	0.99
280	31	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3699	0.92
285	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3725	1.01
290	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3725	0.98
295	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3799	1.01

Battery TEST : 18650-320 2 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1 C Spot 4 Point

Capacity : 5,342 mAh.

Energy : 13.38 Wh.

Q Max : 1.27 W.

ตารางที่ ก-15 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1 C Spot 4 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2234	0.21
5	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2500	0.10
10	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2411	0.09
15	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2437	0.16
20	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2439	0.16
25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2442	0.16
30	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2444	0.16
35	25	25	25	25	25	25	26	25	26	25	25	2447	0.08
40	25	25	25	25	25	26	25	25	26	25	25	2410	0.24
45	25	25	25	25	25	26	25	25	26	25	25	2452	0.16
50	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	25	2454	0.08
55	25	25	25	25	25	25	26	25	26	25	25	2457	0.16
60	25	25	25	25	25	26	26	25	26	25	25	2459	0.25
65	25	25	25	25	25	25	26	25	26	25	25	2705	0.16
70	25	25	25	25	25	26	25	25	26	26	25	2727	0.23
75	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2708	0.00
80	26	25	25	26	25	25	26	25	26	25	25	2800	0.27
85	25	26	25	25	26	26	25	26	26	25	25	2885	0.32
90	26	25	25	26	25	25	26	25	26	26	25	2927	0.18
95	25	25	25	25	26	26	25	25	26	26	25	2965	0.23
100	26	26	25	26	26	25	26	26	26	25	26	2903	0.32
105	27	27	27	26	26	25	26	26	26	25	26	3032	0.37
110	28	28	28	26	26	26	26	25	26	26	26	3017	0.45
115	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3049	0.46
120	28	28	28	26	26	26	25	26	26	25	26	3051	0.51
125	28	28	28	26	26	26	26	26	26	26	26	3021	0.51
130	28	28	28	26	26	26	26	26	26	26	26	3054	0.46
135	28	28	28	26	26	26	26	25	26	26	26	3055	0.46
140	28	28	28	26	26	26	26	25	26	26	26	3026	0.45
145	28	28	28	26	26	26	25	26	26	25	26	3027	0.45
150	28	28	28	26	26	26	25	26	26	26	26	3029	0.51

ตารางที่ ก-15 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1 C Spot 4 Point (ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	28	28	28	26	26	26	26	26	26	26	26	3030	0.45
160	28	29	29	26	26	26	26	26	26	26	26	3119	0.50
165	29	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3173	0.63
170	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3194	0.69
175	30	31	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3243	0.63
180	30	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3261	0.70
185	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3277	0.76
190	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3320	0.82
195	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3387	0.97
200	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3398	0.90
205	32	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3478	0.97
210	32	33	32	26	26	26	26	26	26	26	26	3479	0.97
215	32	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3480	0.97
220	32	32	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3481	0.93
225	32	32	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3483	0.97
230	32	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3457	0.92
235	32	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3432	0.95
240	32	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3459	0.96
245	32	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3460	0.96
250	32	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3462	0.96
255	32	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3523	1.06
260	33	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3582	1.12
265	33	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3587	1.16
270	32	33	33	26	26	27	26	26	26	26	26	3723	1.20
275	32	33	33	26	27	27	26	27	26	26	26	3723	1.21
280	32	32	33	26	26	27	26	26	26	25	26	3699	1.20
285	32	32	32	27	27	26	26	27	26	26	27	3725	1.21
290	31	32	32	26	27	27	27	26	26	25	27	3725	1.21
295	31	32	32	26	27	27	26	27	26	26	27	3799	1.20

Battery TEST : 18650-320 2 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1 C Spot 6 Point

Capacity : 5,381 mAh.

Energy : 22.33 Wh.

Q Max : 1.27 W.

ตารางที่ ก-16 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1 C Spot 6 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2234	0.85
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2500	0.94
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2411	0.63
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2437	0.90
20	25	25	25	26	25	25	25	25	25	26	25	2439	0.82
25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2442	0.82
30	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2444	0.82
35	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2447	0.90
40	25	25	25	25	25	26	25	25	26	25	25	2410	0.81
45	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2452	0.90
50	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2454	0.90
55	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2457	0.90
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2459	0.82
65	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2705	0.74
70	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2727	0.61
75	25	25	26	25	25	26	25	25	26	25	25	2708	0.97
80	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2800	0.73
85	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2885	0.71
90	26	25	25	26	25	25	25	25	25	25	25	2927	0.73
95	25	26	25	25	26	25	25	25	25	25	25	2965	0.70
100	26	26	26	26	25	26	26	25	26	25	26	2903	0.86
105	26	27	27	25	26	26	25	25	25	25	26	3032	0.80
110	27	28	28	26	26	26	26	25	26	25	26	3017	0.86
115	27	28	28	26	26	26	25	25	26	25	26	3049	0.92
120	28	28	28	26	26	26	25	26	26	25	26	3051	0.97
125	28	28	28	26	26	26	25	26	26	25	26	3021	0.91
130	28	28	28	26	26	26	26	26	25	25	26	3054	0.92
135	28	28	28	26	26	26	26	26	25	25	26	3055	0.92
140	28	28	28	26	26	26	26	26	25	25	26	3026	0.91
145	28	28	28	26	26	26	26	25	26	25	26	3027	0.91
150	28	28	28	26	26	26	26	25	26	25	26	3029	0.91

ตารางที่ ก-16 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1 C Spot 6 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	27	28	28	26	26	26	25	25	26	25	26	3030	0.91
160	29	29	29	26	26	26	26	26	25	26	26	3119	0.94
165	29	30	30	26	26	26	26	26	26	26	26	3173	0.96
170	30	30	30	26	26	26	26	25	26	25	26	3194	0.97
175	30	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3243	1.04
180	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3261	1.04
185	31	31	31	26	26	26	26	26	26	24	26	3277	1.09
190	31	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3320	1.07
195	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3387	1.09
200	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3398	1.21
205	31	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3478	1.12
210	31	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3479	1.09
215	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3480	1.16
220	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3481	1.16
225	31	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3483	1.16
230	31	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3457	1.12
235	31	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3432	1.11
240	31	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3459	1.19
245	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3460	1.15
250	31	32	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3462	1.15
255	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3523	1.14
260	31	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3582	1.12
265	30	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3587	1.09
270	30	30	30	26	26	26	26	26	25	25	26	3723	1.17
275	30	30	30	26	26	26	26	26	25	25	26	3723	1.17
280	30	30	30	26	26	26	26	26	26	24	26	3699	1.20
285	29	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3725	1.14
290	29	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3725	1.11
295	29	29	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3799	1.23

Battery TEST : 18650-320 2 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1.5 C Spot 2 Point

Capacity : 5,287 mAh.

Energy : 22.20 Wh.

Q Max :1.24 W.

ตารางที่ ก-17 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 2 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	2234	0.12
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	2500	0.11
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2411	0.28
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2437	0.09
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2439	0.01
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2442	0.01
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2444	-0.07
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2447	0.09
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2410	0.09
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2452	0.09
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2454	-0.07
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2457	0.01
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2459	0.09
65	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2705	0.17
70	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2727	0.24
75	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2708	0.15
80	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2800	0.27
85	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2885	0.20
90	25	26	25	25	26	25	25	26	25	24	25	2927	0.31
95	25	26	25	25	25	25	25	26	25	24	25	2965	0.24
100	25	26	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2903	0.17
105	27	28	28	26	25	26	26	25	25	25	26	3032	0.43
110	28	29	29	26	26	26	25	26	25	24	26	3017	0.51
115	28	29	29	26	26	26	25	26	25	24	26	3049	0.46
120	28	29	29	26	26	26	25	25	25	25	26	3051	0.57
125	28	29	29	26	26	26	26	25	25	25	26	3021	0.56
130	28	29	29	26	25	26	25	25	25	25	26	3054	0.41
135	28	29	29	26	25	26	25	25	25	24	26	3055	0.46
140	28	29	29	26	26	26	25	25	25	24	26	3026	0.51
145	28	29	29	25	26	26	25	25	25	24	26	3027	0.41
150	28	30	29	26	26	26	25	25	25	24	26	3029	0.56

ตารางที่ ก-17 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 2 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	28	30	29	26	26	26	25	25	25	24	26	3030	0.46
160	29	31	31	26	26	26	25	26	25	25	26	3119	0.65
165	30	32	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3173	0.73
170	30	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3194	0.79
175	30	32	32	26	26	26	26	26	25	24	26	3243	0.86
180	31	33	33	26	26	26	26	26	25	24	26	3261	0.96
185	31	33	33	26	26	26	26	26	25	24	26	3277	0.89
190	31	33	33	26	26	26	26	26	25	25	26	3320	0.99
195	31	33	33	26	26	26	26	26	25	25	26	3387	1.05
200	32	34	33	26	26	26	26	26	25	25	26	3398	1.02
205	31	34	33	26	26	26	26	26	25	25	26	3478	1.17
210	31	33	33	26	26	26	26	26	25	25	26	3479	1.17
215	31	34	34	26	26	26	26	26	25	25	26	3480	1.13
220	31	33	34	26	26	26	26	26	26	25	26	3481	1.13
225	31	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3483	1.13
230	31	34	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3457	1.16
235	31	34	33	26	26	26	26	26	25	25	26	3432	1.19
240	31	33	33	26	26	26	26	26	25	25	26	3459	1.12
245	31	33	33	26	26	26	26	26	25	25	26	3460	1.12
250	31	33	33	26	26	26	26	26	25	25	26	3462	1.16
255	31	33	33	26	26	26	26	26	25	24	26	3523	1.06
260	31	33	33	26	26	26	26	26	25	25	26	3582	1.16
265	31	33	33	26	26	26	26	26	25	25	26	3587	1.16
270	31	33	33	26	26	26	26	26	25	25	26	3723	1.14
275	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	1.14
280	30	32	32	26	27	27	26	26	26	24	26	3699	1.24
285	30	31	32	26	26	26	26	26	25	24	26	3725	1.04
290	30	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3725	1.08
295	30	31	31	26	26	26	26	26	25	24	26	3799	1.11

ตารางที่ ก-18 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 4 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	29	30	30	26	26	26	26	26	26	26	26	3027	0.91
160	29	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3029	0.91
165	29	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3030	0.86
170	30	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3119	1.04
175	30	32	32	26	26	26	26	26	26	26	26	3173	1.15
180	31	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3194	1.11
185	31	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3243	1.31
190	31	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3261	1.30
195	31	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3277	1.26
200	31	33	34	26	26	26	26	26	26	26	26	3320	1.27
205	31	34	34	27	26	26	26	26	26	26	26	3387	1.37
210	31	34	34	27	26	27	26	26	26	26	26	3398	1.33
215	32	34	34	27	26	27	26	26	26	26	27	3478	1.40
220	31	34	34	27	27	27	26	26	26	26	27	3479	1.43
225	31	34	34	26	27	27	26	26	26	26	27	3480	1.40
230	31	34	34	27	27	27	26	27	26	26	27	3481	1.43
235	32	34	34	27	27	27	26	27	26	26	27	3483	1.47
240	32	34	34	27	26	27	27	26	26	26	27	3457	1.39
245	32	34	34	27	26	27	26	26	26	26	27	3432	1.37
250	31	34	34	26	27	27	26	26	26	26	27	3459	1.39
255	32	34	34	26	27	27	26	27	26	26	27	3460	1.42
260	32	34	34	27	27	27	26	27	26	26	27	3462	1.46
265	32	34	34	27	27	27	27	27	26	25	27	3523	1.48
270	31	33	33	27	27	27	26	27	26	25	27	3582	1.53
275	31	33	33	27	27	27	27	27	26	26	27	3587	1.41
280	31	33	33	27	27	27	27	27	26	26	27	3723	1.50
285	31	32	32	27	27	27	27	27	26	26	27	3723	1.49
290	30	32	32	27	27	27	27	27	26	25	27	3699	1.44
295	30	32	32	27	27	27	27	27	26	25	27	3725	1.51

Battery TEST : 18650-320 2 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1.5 C Spot 6 Point

Capacity : 5,287 mAh.

Energy : 22.09 Wh.

Q Max : 1.71 W.

ตารางที่ ก-19 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 6 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2234	0.96
5	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2500	1.25
10	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2411	0.98
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2437	0.90
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2439	0.90
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2442	0.98
30	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2444	0.74
35	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2447	0.90
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2410	0.81
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2452	0.90
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2454	0.90
55	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2457	0.98
60	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2459	0.82
65	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2705	0.82
70	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2727	0.68
75	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2708	0.83
80	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2800	0.80
85	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2885	0.83
90	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2927	0.79
95	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2965	0.81
100	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2903	0.75
105	27	28	28	26	26	26	25	26	26	25	26	3032	1.01
110	29	29	29	26	26	26	26	25	26	25	26	3017	1.21
115	29	29	30	26	26	26	26	25	26	25	26	3049	1.17
120	29	29	30	26	26	26	25	26	26	25	26	3051	1.17
125	29	29	30	26	26	26	25	26	26	25	26	3021	1.21
130	29	29	29	26	26	26	25	26	26	25	26	3054	1.23
135	29	29	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3055	1.17
140	29	29	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3026	1.16
145	29	29	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3027	1.16
150	29	29	30	26	26	26	26	25	26	25	26	3029	1.16

ตารางที่ ก-19 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 6 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	29	29	30	26	26	26	26	25	26	25	26	3030	1.21
160	30	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3119	1.29
165	31	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3173	1.20
170	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3194	1.34
175	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3243	1.40
180	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3261	1.44
185	32	32	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3277	1.39
190	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3320	1.43
195	33	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3387	1.53
200	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3398	1.52
205	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3478	1.43
210	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3479	1.47
215	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3480	1.47
220	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3481	1.51
225	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3483	1.51
230	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3457	1.46
235	33	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3432	1.49
240	33	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3459	1.46
245	33	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3460	1.46
250	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3462	1.46
255	33	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3523	1.55
260	32	33	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3582	1.60
265	32	32	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3587	1.52
270	32	32	32	26	26	27	26	26	26	25	26	3723	1.57
275	32	32	32	27	26	26	26	26	26	25	26	3723	1.60
280	31	32	32	26	27	26	26	27	26	25	26	3699	1.54
285	31	31	31	27	27	26	26	27	26	25	26	3725	1.58
290	31	31	31	26	27	26	26	27	26	25	26	3725	1.50
295	30	31	31	27	27	26	26	27	26	25	26	3799	1.53

Battery TEST : 18650-320 2 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1 C Spot 2 Point

Capacity : 5,284 mAh.

Energy : 16.72 Wh.

Q Max : 1.21 W.

ตารางที่ ก-20 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 2 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2234	0.00
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2500	0.10
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2411	0.09
15	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2437	0.00
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2439	0.00
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2442	0.00
30	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2444	0.00
35	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2447	0.08
40	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2410	0.00
45	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2452	0.00
50	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2454	0.08
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2457	0.00
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2459	0.08
65	25	26	25	25	26	25	25	26	26	25	25	2705	0.25
70	25	25	25	26	25	25	26	25	26	25	25	2727	0.30
75	26	25	25	26	25	25	26	25	26	25	25	2708	0.21
80	25	26	25	25	26	26	25	26	26	25	25	2800	0.33
85	25	25	26	25	25	26	25	25	26	26	25	2885	0.26
90	25	26	25	25	25	26	25	25	26	26	25	2927	0.18
95	25	25	26	26	25	26	26	25	26	26	25	2965	0.29
100	26	25	25	26	25	25	26	25	26	26	25	2903	0.22
105	26	26	26	26	25	26	26	25	26	25	26	3032	0.37
110	27	27	27	26	26	26	25	26	26	25	26	3017	0.40
115	27	27	27	26	26	26	25	26	26	25	26	3049	0.36
120	27	27	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3051	0.41
125	27	27	27	26	26	26	26	25	26	25	26	3021	0.40
130	27	27	27	26	26	26	25	26	26	25	26	3054	0.36
135	27	27	27	26	26	26	25	26	26	25	26	3055	0.41
140	27	27	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3026	0.40
145	27	27	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3027	0.35
150	27	27	27	26	26	26	26	25	26	25	26	3029	0.45

ตารางที่ ก-20 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 2 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	27	27	27	26	26	26	25	26	26	25	26	3030	0.45
160	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3119	0.54
165	29	29	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3173	0.53
170	29	29	29	26	26	26	26	26	26	26	26	3194	0.65
175	29	30	30	26	26	26	26	26	26	26	26	3243	0.63
180	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3261	0.65
185	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3277	0.80
190	30	31	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3320	0.66
195	30	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3387	0.85
200	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3398	0.86
205	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3478	0.89
210	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3479	0.85
215	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3480	0.85
220	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3481	0.85
225	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3483	0.85
230	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3457	0.88
235	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3432	0.88
240	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3459	0.85
245	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3460	0.88
250	31	31	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3462	0.85
255	31	32	31	26	26	26	26	26	26	26	26	3523	0.99
260	31	32	32	26	26	26	26	26	26	26	26	3582	0.97
265	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3587	0.98
270	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	1.10
275	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	1.03
280	32	32	32	26	26	26	26	26	26	26	26	3699	1.10
285	32	32	32	26	26	26	26	26	26	26	26	3725	1.07
290	32	32	32	27	26	26	26	26	26	26	26	3725	1.08
295	32	32	32	26	27	26	26	26	26	25	26	3799	1.10

Battery TEST : 18650-320 2 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1 C Spot 4 Point

Capacity : 5,224 mAh.

Energy : 16.72 Wh.

Q Max : 1.26 W.

ตารางที่ ก-21 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 4 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2234	-0.11
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2500	0.10
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2411	0.09
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2437	0.25
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2439	0.16
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2442	0.08
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2444	-0.08
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2447	-0.08
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2410	0.00
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2452	0.00
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2454	0.25
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2457	0.08
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2459	0.00
65	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2705	0.00
70	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2727	0.08
75	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2708	0.21
80	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2800	0.20
85	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2885	0.26
90	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2927	0.24
95	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2965	0.17
100	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2903	0.32
105	26	26	26	25	25	25	25	25	26	25	25	3032	0.43
110	27	27	27	25	26	25	25	26	26	25	25	3017	0.51
115	27	27	27	26	25	25	26	25	25	25	25	3049	0.51
120	27	27	27	26	25	26	25	25	26	25	25	3051	0.56
125	27	27	27	25	25	26	25	25	26	25	25	3021	0.45
130	27	27	27	25	26	25	25	26	26	25	25	3054	0.51
135	27	27	27	26	26	25	25	25	25	25	25	3055	0.56
140	27	27	27	26	25	25	26	25	26	25	25	3026	0.45
145	27	27	27	25	25	26	25	25	26	25	25	3027	0.56
150	27	27	27	25	25	26	25	25	26	25	25	3029	0.51

ตารางที่ ก-21 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 4 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	27	27	27	25	26	25	25	26	26	25	25	3030	0.51
160	27	28	28	26	26	25	25	25	25	25	25	3119	0.54
165	27	29	29	25	26	26	25	25	26	25	25	3173	0.48
170	28	29	29	25	26	26	25	25	26	25	26	3194	0.56
175	28	29	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3243	0.72
180	28	29	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3261	0.70
185	29	30	30	26	26	26	26	26	26	26	26	3277	0.84
190	29	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3320	0.86
195	29	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3387	0.81
200	29	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3398	0.94
205	29	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3478	0.89
210	29	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3479	0.93
215	29	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3480	0.93
220	29	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3481	0.97
225	29	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3483	0.93
230	29	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3457	0.92
235	29	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3432	0.95
240	29	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3459	0.92
245	29	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3460	0.92
250	29	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3462	0.92
255	30	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3523	1.06
260	29	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3582	0.93
265	30	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3587	0.94
270	30	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	1.06
275	30	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3723	1.10
280	30	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3699	1.06
285	30	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3725	1.11
290	30	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3725	1.08
295	30	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3799	1.17

Battery TEST : 18650-320 2 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1 C Spot 6 Point

Capacity : 5.222 mAh.

Energy : 16.72 Wh.

Q Max : 1.32 W.

ตารางที่ ก-22 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 6 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2234	0.21
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2500	0.21
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2411	0.09
15	26	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2437	0.16
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2439	0.16
25	25	25	25	25	25	26	25	25	25	25	25	2442	0.16
30	25	25	25	25	26	25	25	25	25	25	25	2444	0.25
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2447	0.08
40	25	25	25	26	25	25	25	25	25	25	25	2410	0.24
45	25	25	25	25	25	26	25	25	25	25	25	2452	0.25
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2454	0.08
55	25	25	25	25	26	25	25	25	25	25	25	2457	0.25
60	25	25	25	25	26	25	25	25	25	25	25	2459	0.16
65	25	25	25	25	25	26	25	25	26	25	25	2705	0.25
70	25	25	25	25	25	26	25	25	26	26	25	2727	0.23
75	26	26	25	26	26	25	26	26	26	25	25	2708	0.35
80	25	26	25	25	26	26	25	26	26	25	25	2800	0.33
85	26	25	25	26	25	25	26	25	25	25	25	2885	0.26
90	26	26	25	26	25	26	26	26	26	24	26	2927	0.37
95	26	25	25	26	25	25	26	25	25	24	25	2965	0.23
100	26	25	25	26	25	25	26	25	25	25	25	2903	0.27
105	27	26	27	26	26	26	26	25	26	25	26	3032	0.53
110	27	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3017	0.61
115	27	28	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3049	0.61
120	27	28	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3051	0.66
125	27	27	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3021	0.66
130	27	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3054	0.61
135	27	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3055	0.71
140	27	28	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3026	0.61
145	28	27	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3027	0.61
150	27	27	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3029	0.61

ตารางที่ ก-22 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 6 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	27	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3030	0.66
160	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3119	0.54
165	29	29	29	26	26	26	26	25	25	25	26	3173	0.53
170	29	29	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3194	0.65
175	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3243	0.72
180	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3261	0.70
185	30	31	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3277	0.76
190	31	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3320	0.78
195	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3387	0.93
200	31	31	31	26	26	26	26	26	26	25	26	3398	0.94
205	31	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3478	0.97
210	31	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3479	1.01
215	31	31	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3480	0.89
220	31	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3481	0.93
225	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3483	1.05
230	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3457	1.04
235	31	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3432	0.99
240	31	31	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3459	0.88
245	31	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3460	0.88
250	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3462	1.04
255	31	31	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3523	0.99
260	31	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3582	1.01
265	31	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3587	1.05
270	32	32	32	26	26	26	26	26	26	26	26	3723	1.10
275	32	32	32	26	27	26	26	26	26	27	26	3723	1.17
280	32	32	32	26	27	27	26	26	26	26	26	3699	1.20
285	32	32	32	27	27	26	27	26	26	25	26	3725	1.17
290	32	32	32	27	27	27	26	27	26	25	27	3725	1.21
295	32	32	33	26	27	27	26	26	26	25	27	3799	1.20

Battery TEST : 18650-320 2 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point

Capacity : 4,671 mAh.

Energy : 13.35 Wh.

Q Max : 2.10 W.

ตารางที่ ก-23 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2234	0.12
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2500	0.20
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2411	0.01
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2437	0.24
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2439	0.24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2442	0.16
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2444	0.24
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2447	0.24
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2410	0.31
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2452	0.16
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2454	0.24
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2457	0.32
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2459	0.24
65	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2705	0.16
70	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2727	0.07
75	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2708	0.13
80	25	26	25	25	25	25	25	26	26	25	25	2800	0.39
85	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2885	0.12
90	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2927	0.18
95	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2965	0.17
100	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2903	0.21
105	27	28	27	26	26	26	26	26	26	25	26	3032	0.69
110	29	30	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3017	0.80
115	29	30	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3049	0.86
120	29	30	29	26	26	26	26	25	26	25	26	3051	0.81
125	29	30	29	26	26	26	26	25	26	25	26	3021	0.85
130	29	29	29	26	26	26	25	25	26	25	26	3054	0.61
135	29	30	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3055	0.81
140	29	30	29	26	26	26	25	26	26	25	26	3026	0.80
145	29	30	29	26	26	26	25	26	26	25	26	3027	0.90
150	29	30	29	26	26	26	25	26	25	25	26	3029	0.60

ตารางที่ ก-23 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	29	30	29	26	26	26	25	25	25	25	26	3030	0.60
160	31	31	31	26	26	26	25	26	26	25	26	3119	0.74
165	32	33	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3173	1.15
170	33	34	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3194	1.15
175	34	35	34	26	26	26	26	26	26	25	26	3243	1.12
180	35	35	35	26	26	26	26	26	26	24	26	3261	1.21
185	35	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3277	1.34
190	35	36	36	26	26	26	26	26	26	25	26	3320	1.47
195	36	37	36	26	27	27	26	26	26	26	27	3387	1.65
200	36	37	37	27	27	27	26	26	26	25	27	3398	1.64
205	37	38	37	27	27	27	26	26	26	25	27	3478	1.62
210	37	38	37	27	27	27	26	26	26	25	27	3479	1.62
215	37	38	37	27	27	27	26	26	26	25	27	3480	1.66
220	37	38	37	27	26	27	26	26	26	26	27	3481	1.59
225	36	38	37	27	27	27	26	26	26	26	27	3483	1.59
230	36	38	37	27	27	27	26	26	26	25	27	3457	1.61
235	36	38	37	27	27	27	26	26	26	26	27	3432	1.60
240	36	38	37	27	27	27	26	26	26	26	27	3459	1.61
245	36	38	37	26	27	27	26	26	26	26	27	3460	1.54
250	37	38	37	27	27	27	26	26	26	25	27	3462	1.57
255	37	38	38	27	27	27	26	27	26	25	27	3523	1.78
260	37	38	38	27	27	27	27	27	26	25	27	3582	1.83
265	38	39	38	27	27	27	27	27	26	25	27	3587	1.81
270	38	39	39	27	27	27	27	27	26	24	27	3723	2.04
275	39	40	39	27	27	27	27	27	26	25	27	3723	2.02
280	38	39	39	27	27	27	27	27	26	25	27	3699	1.95
285	36	37	37	27	27	27	27	27	26	25	27	3725	1.94
290	34	35	35	27	27	27	27	27	26	26	27	3725	1.89
295	33	34	34	27	27	27	27	27	26	26	27	3799	1.85

Battery TEST : 18650-320 2 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1.5 C Spot 4 Point

Capacity : 4,694 mAh.

Energy : 13.38 Wh.

Q Max : 2.16 W.

ตารางที่ ก-24 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 4 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	1000	0.00
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	1500	0.50
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	1800	0.60
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	1818	0.30
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2027	0.41
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2093	0.00
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2234	0.43
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2500	0.52
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2411	0.27
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2437	0.33
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2439	0.33
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2442	0.33
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2444	0.25
65	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2447	0.25
70	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2410	0.24
75	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2452	0.33
80	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2454	0.25
85	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2457	0.41
90	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2459	0.33
95	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2705	0.33
100	25	25	25	25	25	26	25	25	26	26	25	2727	0.38
105	25	26	25	25	25	25	25	26	26	26	25	2708	0.35
110	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2800	0.33
115	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2885	0.26
120	25	26	25	25	25	26	25	25	26	24	25	2927	0.37
125	26	26	25	26	26	25	26	26	25	24	25	2965	0.47
130	26	25	25	26	25	26	26	25	26	25	26	2903	0.48
135	27	27	28	26	26	26	25	26	26	25	26	3032	0.69
140	29	29	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3017	0.86
145	29	29	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3049	0.87
150	29	29	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3051	0.87

ตารางที่ ก-24 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	29	29	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3021	0.86
160	30	29	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3054	0.87
165	30	29	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3055	0.92
170	29	29	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3026	0.86
175	29	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3027	0.91
180	29	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3029	0.86
185	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3030	0.86
190	31	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3119	0.99
195	32	32	33	26	26	26	26	26	26	25	26	3173	1.06
200	33	33	34	26	26	26	26	26	26	25	26	3194	1.20
205	34	34	35	26	26	26	26	26	26	25	26	3243	1.35
210	35	35	35	26	26	26	26	26	26	26	26	3261	1.48
215	35	35	36	26	26	27	26	26	26	26	26	3277	1.56
220	36	36	36	27	26	27	26	26	26	25	26	3320	1.56
225	36	36	36	26	27	27	26	26	26	25	27	3387	1.61
230	36	36	37	27	27	27	26	27	26	25	27	3398	1.76
235	36	37	37	27	27	27	26	26	26	25	27	3478	1.71
240	36	37	37	27	27	27	26	26	26	25	27	3479	1.71
245	37	37	37	27	27	27	26	26	26	25	27	3480	1.67
250	37	37	37	27	27	27	26	26	26	25	27	3481	1.71
255	37	37	38	27	27	27	26	26	26	25	27	3483	1.71
260	37	37	38	27	27	27	26	26	26	25	27	3457	1.69
265	37	37	38	27	27	27	26	27	26	25	27	3432	1.72
270	37	37	37	27	27	27	26	27	26	25	27	3459	1.69
275	37	37	37	27	27	27	26	26	26	25	27	3460	1.73
280	37	37	38	27	27	27	26	26	26	25	27	3462	1.73
285	37	37	38	27	27	27	26	27	26	24	27	3523	1.82
290	37	37	38	27	27	27	27	26	26	24	27	3582	1.79
295	38	38	38	27	27	27	27	27	25	25	27	3587	1.81

Battery TEST : 18650-320 2 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point

Capacity : 4,701 mAh.

Energy : 13.43 Wh.

Q Max : 2.40 W.

ตารางที่ ก-25 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	1000	0.03
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	1500	0.03
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	1800	0.02
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	1818	0.17
20	25	25	25	25	25	26	25	25	25	25	25	2027	0.28
25	25	25	25	26	25	25	25	25	25	25	25	2093	0.24
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2234	0.12
35	26	26	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2500	0.11
40	25	26	25	25	26	26	25	25	25	25	25	2411	0.28
45	25	26	25	25	26	26	25	25	25	25	25	2437	0.25
50	26	26	25	25	26	25	25	25	25	25	25	2439	0.25
55	26	26	25	25	25	25	26	25	25	25	25	2442	0.17
60	26	25	25	26	25	25	26	25	25	25	25	2444	0.17
65	26	25	25	25	25	26	25	25	25	25	25	2447	0.17
70	25	25	25	25	25	26	25	25	25	25	25	2410	0.17
75	25	26	25	25	26	26	25	25	25	25	25	2452	0.25
80	25	26	25	25	26	25	25	25	25	25	25	2454	0.17
85	26	26	25	25	25	25	26	25	25	25	25	2457	0.17
90	26	25	25	26	25	25	26	25	25	25	25	2459	0.17
95	26	25	26	25	25	25	25	25	25	25	25	2705	0.09
100	26	25	25	26	25	25	25	25	25	25	25	2727	0.16
105	26	26	25	26	26	25	25	25	25	24	25	2708	0.22
110	26	25	26	26	25	26	26	25	25	24	26	2800	0.34
115	26	25	25	25	25	26	26	25	25	24	25	2885	0.13
120	26	25	25	26	25	25	25	25	25	25	25	2927	0.13
125	26	26	26	26	25	26	26	25	25	25	26	2965	0.30
130	26	26	26	26	26	26	26	26	25	25	26	2903	0.33
135	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3032	0.70
140	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3017	0.97
145	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3049	0.97
150	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3051	0.97

ตารางที่ ก-25 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 2 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3021	1.02
160	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3054	1.03
165	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3055	0.97
170	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3026	0.97
175	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3027	1.02
180	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3029	1.02
185	30	30	30	26	26	26	26	26	26	25	26	3030	0.97
190	32	32	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3119	1.14
195	33	33	33	26	26	26	26	26	26	26	26	3173	1.26
200	34	34	34	26	26	26	26	26	26	25	26	3194	1.30
205	34	35	35	27	27	26	26	26	26	25	26	3243	1.54
210	35	36	36	27	27	27	26	26	26	25	27	3261	1.57
215	36	36	37	27	27	27	26	26	26	25	27	3277	1.77
220	36	37	37	27	27	27	26	27	26	25	27	3320	1.77
225	37	37	38	27	27	27	27	26	26	24	27	3387	1.86
230	37	38	38	27	27	27	27	27	26	25	27	3398	2.00
235	37	38	38	27	27	27	27	27	26	25	27	3478	2.10
240	37	38	38	27	27	27	27	27	26	25	27	3479	2.06
245	38	38	38	27	27	27	27	27	26	25	27	3480	2.14
250	38	38	38	27	27	27	27	27	26	25	27	3481	2.14
255	38	38	38	27	27	27	27	27	26	25	27	3483	2.06
260	38	38	39	27	27	27	27	27	26	25	27	3457	2.08
265	38	38	39	27	27	27	27	27	26	25	27	3432	2.07
270	38	38	38	27	27	27	27	27	26	25	27	3459	2.08
275	38	38	38	27	27	27	27	27	26	25	27	3460	2.08
280	38	38	39	27	27	27	27	27	26	25	27	3462	2.12
285	38	38	39	27	27	27	27	27	26	25	27	3523	2.13
290	38	39	39	27	27	27	27	27	26	25	27	3582	2.13
295	39	39	40	27	27	27	27	27	26	25	27	3587	2.11

Battery TEST : 18650-320 3 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1 C Spot 2 Point

Capacity : 7,521 mAh.

Energy : 31.58 Wh.

Q Max : 1.11 W.

ตารางที่ ก-26 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 2 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2234	0.11
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2500	0.31
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2411	0.36
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2437	0.00
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2439	0.25
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2442	0.16
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2444	0.33
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2447	0.16
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2410	0.24
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2452	0.16
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2454	0.25
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2457	0.16
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2459	0.16
65	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2705	0.16
70	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2727	0.08
75	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2708	0.21
80	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2800	0.20
85	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2885	0.32
90	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2927	0.18
95	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2965	0.17
100	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2903	0.27
105	26	26	26	25	25	25	25	25	25	24	25	3032	0.37
110	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3017	0.51
115	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3049	0.56
120	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3051	0.46
125	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3021	0.56
130	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3054	0.46
135	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3055	0.51
140	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3026	0.45
145	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3027	0.56
150	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3029	0.51

ตารางที่ ก-26 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1 C Spot 2 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	27	27	27	26	25	25	25	25	25	24	25	3030	0.61
160	28	27	27	26	25	25	25	25	25	25	25	3119	0.59
165	28	28	28	25	26	26	25	25	25	24	26	3173	0.77
170	28	28	28	26	25	26	25	25	25	24	25	3194	0.65
175	28	28	28	26	26	26	25	25	25	24	26	3243	0.72
180	29	29	29	25	26	26	25	26	25	25	26	3261	0.74
185	29	29	29	26	26	26	26	25	25	25	26	3277	0.76
190	29	29	29	26	26	26	26	25	25	25	26	3320	0.74
195	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3387	0.97
200	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3398	0.90
205	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3478	0.85
210	29	29	29	26	26	26	26	25	25	24	26	3479	0.81
215	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3480	0.81
220	29	29	29	26	26	26	25	26	25	24	26	3481	0.85
225	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3483	0.81
230	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3457	0.81
235	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3432	0.84
240	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3459	0.81
245	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3460	0.81
250	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3462	0.88
255	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3523	0.91
260	30	30	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3582	1.05
265	29	29	29	26	26	26	26	26	25	23	26	3587	0.98
270	29	29	29	26	26	26	26	26	25	23	26	3723	0.95
275	30	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3723	0.96
280	29	29	29	26	26	26	26	26	25	25	26	3699	0.92
285	30	29	29	26	26	26	26	26	25	25	26	3725	1.04
290	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3725	1.01
295	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3799	1.04

Battery TEST : 18650-320 3 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1 C Spot 4 Point

Capacity : 7,464 mAh.

Energy : 31.35 Wh.

Q Max : 1.17 W.

ตารางที่ ก-27 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1 C Spot 4 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	26	26	25	26	26	26	26	26	25	25	26	2234	0.64
5	26	26	26	26	26	26	26	25	25	24	26	2500	0.63
10	26	26	26	26	26	26	26	25	25	23	26	2411	0.36
15	26	26	25	26	26	26	26	26	25	23	26	2437	0.41
20	26	26	25	26	25	26	26	25	25	23	26	2439	0.33
25	26	26	26	25	26	26	26	25	25	23	26	2442	0.25
30	26	26	26	26	26	26	25	26	25	23	26	2444	0.49
35	26	26	25	26	26	26	26	26	25	23	26	2447	0.41
40	26	26	26	26	26	26	26	26	25	23	26	2410	0.40
45	26	26	26	26	26	26	26	25	25	23	26	2452	0.49
50	26	26	26	26	26	26	25	25	25	23	26	2454	0.41
55	26	26	25	26	26	26	26	26	25	23	26	2457	0.41
60	26	26	25	26	26	26	26	26	25	23	26	2459	0.41
65	26	26	26	26	26	26	26	26	25	23	26	2705	0.57
70	26	26	26	26	26	26	25	26	25	23	26	2727	0.38
75	26	26	26	26	25	26	26	25	25	24	25	2708	0.14
80	26	26	26	25	26	26	25	25	25	25	26	2800	0.20
85	26	26	26	26	26	26	26	26	25	25	26	2885	0.58
90	26	25	26	26	25	26	26	26	25	24	26	2927	0.18
95	26	26	26	25	26	26	25	25	25	24	26	2965	0.23
100	26	26	25	25	26	25	25	26	25	23	25	2903	0.05
105	27	27	27	26	26	26	26	26	24	23	26	3032	0.48
110	28	28	28	26	26	26	26	25	24	23	26	3017	0.56
115	28	28	28	26	26	26	25	26	24	23	26	3049	0.56
120	28	28	28	26	26	26	25	26	24	23	26	3051	0.61
125	28	28	28	26	26	26	25	26	24	23	26	3021	0.61
130	28	28	28	26	26	26	26	26	24	23	26	3054	0.51
135	28	28	28	26	26	26	26	26	24	23	26	3055	0.61
140	28	28	28	26	26	26	26	26	24	23	26	3026	0.56
145	28	28	28	26	26	26	26	25	24	23	26	3027	0.61
150	28	28	28	26	26	26	26	25	24	23	26	3029	0.61

ตารางที่ ก-27 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 4 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	28	28	28	26	26	26	26	25	24	23	26	3030	0.56
160	28	28	29	26	26	26	26	25	24	24	26	3119	0.59
165	29	29	29	26	26	26	26	26	24	24	26	3173	0.72
170	29	29	29	26	26	26	26	26	24	23	26	3194	0.79
175	30	29	30	26	26	26	26	26	24	23	26	3243	0.86
180	30	30	30	26	26	26	26	26	24	23	26	3261	0.87
185	30	30	30	26	26	26	26	26	24	23	26	3277	0.92
190	30	30	30	26	26	26	26	26	24	23	26	3320	0.98
195	30	30	30	26	26	26	26	26	24	23	26	3387	0.85
200	30	30	30	26	26	26	26	26	24	24	26	3398	0.94
205	30	30	30	26	26	26	26	26	24	24	26	3478	0.93
210	30	30	30	26	26	26	26	26	24	24	26	3479	1.05
215	30	30	30	26	26	26	26	26	24	24	26	3480	1.05
220	30	30	30	26	26	26	26	26	24	24	26	3481	1.01
225	30	30	30	26	26	26	26	26	24	24	26	3483	0.93
230	30	30	30	26	26	26	26	26	24	24	26	3457	0.92
235	30	30	30	26	26	26	26	26	24	24	26	3432	1.07
240	30	30	30	26	26	26	26	26	24	24	26	3459	1.08
245	30	30	30	26	26	26	26	26	24	24	26	3460	0.92
250	30	30	30	26	26	26	26	26	24	24	26	3462	1.00
255	30	30	30	26	26	26	26	26	24	23	26	3523	1.02
260	30	30	30	26	26	26	26	26	24	23	26	3582	1.01
265	30	30	30	26	27	26	26	26	24	23	26	3587	1.09
270	30	30	30	26	26	27	26	26	24	23	26	3723	1.10
275	30	30	30	27	27	26	26	26	24	24	26	3723	1.14
280	30	30	30	27	26	26	26	26	24	24	26	3699	1.06
285	30	30	30	26	27	27	26	26	24	24	26	3725	1.04
290	30	30	30	27	27	26	26	26	24	24	26	3725	1.05
295	30	30	30	26	27	27	26	26	24	24	26	3799	1.01

Battery TEST : 18650-320 3 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1 C Spot 6 Point

Capacity : 7,461 mAh.

Energy : 31.33 Wh.

Q Max : 1.11 W.

ตารางที่ ก-28 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1 C Spot 6 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	26	25	25	26	25	26	26	25	25	25	26	2234	0.00
5	25	25	26	25	26	26	25	25	26	25	26	2500	0.00
10	26	26	25	26	26	25	26	26	25	24	26	2411	0.00
15	26	26	26	26	26	26	26	26	25	24	26	2437	0.16
20	26	26	25	26	26	26	26	26	25	24	26	2439	0.08
25	26	26	25	26	26	26	26	26	25	24	26	2442	0.25
30	26	26	25	26	26	26	26	26	25	24	26	2444	0.16
35	26	25	25	26	26	26	26	26	25	24	26	2447	0.08
40	26	26	25	26	25	26	26	25	25	24	26	2410	0.08
45	26	25	26	26	26	26	26	25	25	25	26	2452	0.08
50	26	25	26	26	26	26	26	25	26	24	26	2454	0.16
55	25	26	26	25	25	26	26	25	26	24	26	2457	0.00
60	26	26	26	26	26	26	26	25	26	24	26	2459	0.08
65	26	26	26	25	26	26	26	26	25	24	26	2705	0.16
70	26	26	25	26	26	26	26	26	25	25	26	2727	0.08
75	26	26	26	26	25	26	26	26	25	25	26	2708	0.00
80	26	26	26	26	25	26	26	25	25	25	26	2800	0.07
85	26	26	25	26	26	26	26	26	25	25	26	2885	0.13
90	26	26	26	26	26	26	26	26	25	25	26	2927	0.24
95	26	26	25	26	26	25	26	26	25	24	26	2965	0.06
100	26	26	26	26	25	26	26	25	25	24	26	2903	0.00
105	27	27	27	26	26	26	26	26	25	24	26	3032	0.48
110	28	28	28	26	26	26	26	26	25	24	26	3017	0.56
115	28	28	28	26	26	26	26	26	25	24	26	3049	0.56
120	28	28	28	26	26	26	26	26	25	24	26	3051	0.61
125	28	28	28	26	26	26	26	26	25	24	26	3021	0.56
130	28	28	28	26	26	26	26	26	25	24	26	3054	0.51
135	28	28	28	26	26	26	26	26	25	24	26	3055	0.56
140	28	28	28	26	26	26	26	26	25	24	26	3026	0.56
145	28	28	28	26	26	26	26	26	25	24	26	3027	0.56
150	28	28	28	26	26	26	26	26	25	24	26	3029	0.61

ตารางที่ ก-28 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 6 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	28	28	28	26	26	26	26	26	25	24	26	3030	0.61
160	28	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3119	0.59
165	29	29	29	26	26	26	26	26	25	25	26	3173	0.63
170	29	30	30	26	26	26	26	26	25	25	26	3194	0.69
175	30	30	30	26	26	26	26	26	25	25	26	3243	0.90
180	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3261	1.04
185	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3277	0.97
190	30	31	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3320	0.94
195	30	31	30	26	26	26	26	26	25	25	26	3387	0.97
200	31	31	31	27	27	26	26	26	25	24	26	3398	1.13
205	30	31	31	26	27	27	26	26	25	24	27	3478	1.16
210	31	31	31	27	27	26	26	26	25	24	27	3479	1.16
215	31	31	31	27	26	27	26	26	25	24	26	3480	1.12
220	31	31	31	27	26	27	26	26	25	24	27	3481	1.16
225	30	31	31	26	27	27	26	26	25	24	27	3483	1.16
230	30	31	31	26	27	27	26	26	25	24	27	3457	1.19
235	31	31	31	27	27	26	26	26	25	24	27	3432	1.15
240	31	31	31	27	27	27	26	26	25	24	27	3459	1.19
245	31	31	31	27	26	27	26	26	25	24	27	3460	1.15
250	30	31	31	26	27	27	26	26	25	24	27	3462	1.15
255	31	31	31	27	27	27	26	26	25	25	27	3523	1.21
260	30	31	31	27	26	27	26	26	25	24	27	3582	1.12
265	30	31	31	27	27	27	26	26	25	25	27	3587	1.23
270	30	31	31	26	27	27	26	26	25	26	27	3723	1.20
275	30	31	31	27	27	27	27	27	25	25	27	3723	1.31
280	30	31	31	27	27	27	27	27	26	25	27	3699	1.44
285	30	30	30	27	27	27	27	26	25	24	27	3725	1.24
290	30	30	30	27	27	27	27	27	25	25	27	3725	1.21
295	30	30	30	27	27	27	27	27	25	24	27	3799	1.30

Battery TEST : 18650-320 3 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1.5 C Spot 2 Point

Capacity : 7,560 mAh.

Energy : 30.95 Wh.

Q Max : 1.20 W.

ตารางที่ ก-29 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 2 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2234	0.01
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2500	0.22
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2411	0.28
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2437	-0.07
20	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2439	-0.07
25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2442	0.01
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2444	0.01
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2447	-0.07
40	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2410	-0.15
45	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2452	0.09
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2454	0.01
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2457	0.01
60	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2459	-0.07
65	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2705	0.17
70	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2727	0.08
75	25	25	25	26	25	25	25	25	26	25	25	2708	0.22
80	25	25	25	25	25	25	25	25	26	24	25	2800	0.14
85	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2885	0.20
90	25	25	25	26	25	25	25	25	26	25	25	2927	0.25
95	25	26	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2965	0.30
100	25	26	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2903	0.22
105	26	26	26	25	26	26	25	25	26	25	26	3032	0.43
110	27	27	27	26	25	25	25	25	26	25	25	3017	0.31
115	27	27	27	26	25	26	25	25	26	25	25	3049	0.36
120	27	27	27	26	26	26	25	25	26	25	26	3051	0.57
125	27	27	27	26	26	26	25	25	26	25	26	3021	0.46
130	27	27	27	26	26	26	25	25	26	25	26	3054	0.46
135	27	27	27	26	26	26	25	26	26	25	26	3055	0.57
140	27	27	27	26	26	26	25	26	26	25	26	3026	0.56
145	27	27	27	26	26	25	25	26	26	25	26	3027	0.46
150	27	27	27	26	26	25	26	25	26	25	26	3029	0.51

ตารางที่ ก-29 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 2 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	27	27	27	26	26	25	25	25	25	25	26	3030	0.41
160	28	28	28	26	25	26	25	25	26	25	26	3119	0.50
165	28	28	28	26	26	26	26	25	25	24	26	3173	0.58
170	28	28	28	26	26	26	25	25	25	24	26	3194	0.65
175	29	29	29	26	26	26	25	26	25	25	26	3243	0.73
180	29	29	29	26	26	26	26	26	25	25	26	3261	0.83
185	29	29	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3277	0.84
190	29	29	29	26	26	26	26	26	25	25	26	3320	0.91
195	29	29	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3387	1.01
200	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3398	1.06
205	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3478	1.01
210	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3479	0.97
215	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3480	0.93
220	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3481	1.05
225	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3483	1.01
230	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3457	1.00
235	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3432	0.96
240	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3459	1.00
245	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3460	1.00
250	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3462	1.04
255	29	29	29	26	26	26	26	26	25	25	26	3523	1.03
260	29	29	29	26	26	26	26	26	25	25	26	3582	1.09
265	29	29	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3587	1.13
270	29	28	28	26	26	26	26	26	25	24	26	3723	1.03
275	28	29	28	26	26	26	26	26	25	25	26	3723	1.07
280	28	28	28	26	26	26	26	26	25	25	26	3699	1.00
285	28	28	28	26	26	26	26	26	26	25	26	3725	1.04
290	28	28	28	27	26	26	26	26	26	25	26	3725	1.08
295	28	28	28	26	26	26	26	26	25	25	26	3799	1.04

Battery TEST : 18650-320 3 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1.5 C Spot 4 Point

Capacity : 7,395 mAh.

Energy : 31.06 Wh.

Q Max : 1.47 W.

ตารางที่ ก-30 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 4 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2234	0.12
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2500	0.32
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2411	0.01
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	2437	0.17
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	2439	0.17
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	2442	0.17
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	2444	0.17
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	2447	0.17
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	2410	0.17
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	2452	0.09
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	2454	0.17
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	2457	0.09
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	23	25	2459	0.17
65	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2705	0.09
70	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2727	0.24
75	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2708	0.22
80	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2800	0.27
85	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2885	0.39
90	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2927	0.19
95	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2965	0.18
100	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2903	0.27
105	26	26	26	25	25	25	25	25	25	24	25	3032	0.43
110	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3017	0.66
115	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3049	0.62
120	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3051	0.62
125	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3021	0.61
130	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3054	0.62
135	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3055	0.62
140	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3026	0.66
145	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3027	0.61
150	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3029	0.61

ตารางที่ ก-30 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 4 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	27	27	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3030	0.61
160	28	28	28	25	25	25	25	25	25	24	25	3119	0.75
165	28	28	28	25	25	25	25	25	24	23	25	3173	0.68
170	28	28	28	25	25	25	25	25	25	23	25	3194	0.79
175	29	29	28	25	25	25	25	25	24	24	25	3243	0.82
180	29	29	29	25	26	26	25	25	25	24	25	3261	1.05
185	29	29	29	25	26	26	25	25	25	24	26	3277	1.10
190	29	29	29	25	26	26	25	25	25	25	26	3320	1.15
195	29	29	29	26	26	26	25	26	25	26	26	3387	1.13
200	30	29	30	26	26	26	26	26	25	25	26	3398	1.14
205	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3478	1.28
210	29	30	30	26	26	26	25	26	25	24	26	3479	1.28
215	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3480	1.28
220	30	29	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3481	1.32
225	30	29	30	26	26	26	26	25	25	24	26	3483	1.21
230	29	29	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3457	1.24
235	29	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3432	1.30
240	30	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3459	1.27
245	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3460	1.27
250	30	29	30	26	26	26	26	25	25	24	26	3462	1.31
255	30	29	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3523	1.29
260	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3582	1.38
265	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3587	1.31
270	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3723	1.32
275	29	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3723	1.28
280	29	29	29	26	26	26	26	26	25	25	26	3699	1.24
285	30	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3725	1.38
290	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3725	1.38
295	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3799	1.33

Battery TEST : 18650-320 3 Cell

Battery Condition : Charge c-rate 1.5 C Spot 6 Point

Capacity : 7,388 mAh.

Energy : 31.03 Wh.

Q Max : 1.63 W.

ตารางที่ ก-31 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 6 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2234	0.86
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2500	0.95
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2411	0.37
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2437	0.75
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2439	0.83
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2442	0.66
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2444	0.83
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2447	0.75
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2410	0.82
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2452	0.75
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2454	0.75
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2457	0.66
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2459	0.66
65	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2705	0.50
70	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2727	0.46
75	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2708	0.70
80	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2800	0.61
85	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2885	0.58
90	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2927	0.49
95	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2965	0.47
100	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2903	0.33
105	27	26	27	25	25	25	25	25	25	24	25	3032	0.80
110	27	27	27	25	25	25	25	25	25	23	25	3017	0.81
115	28	27	27	26	25	25	25	25	25	24	25	3049	0.87
120	28	27	27	26	25	25	25	25	25	24	25	3051	0.92
125	28	27	27	26	25	25	25	25	25	24	25	3021	0.86
130	28	27	27	26	25	26	25	25	25	24	25	3054	0.92
135	27	27	27	25	25	26	25	25	25	24	25	3055	0.87
140	27	27	27	25	26	26	25	25	25	23	25	3026	0.91
145	27	27	27	25	26	26	25	25	25	23	25	3027	0.91
150	28	27	27	25	26	25	25	25	25	24	25	3029	0.86

ตารางที่ ก-31 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Charge c-rate 1.5 C Spot 6 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	28	27	27	26	26	25	25	25	25	24	25	3030	0.91
160	28	28	28	25	26	26	25	25	25	24	26	3119	1.00
165	29	29	28	26	26	25	25	25	25	25	26	3173	0.97
170	29	29	29	26	26	26	25	25	25	24	26	3194	1.07
175	29	29	29	26	26	26	26	26	25	24	26	3243	1.18
180	30	30	30	26	26	26	25	25	25	24	26	3261	1.14
185	30	30	30	26	26	26	26	25	25	25	26	3277	1.18
190	30	30	30	26	26	26	26	26	25	25	26	3320	1.32
195	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3387	1.38
200	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3398	1.37
205	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3478	1.52
210	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3479	1.48
215	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3480	1.44
220	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3481	1.52
225	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3483	1.48
230	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3457	1.50
235	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3432	1.49
240	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3459	1.47
245	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3460	1.50
250	30	30	30	26	26	26	26	26	25	25	26	3462	1.47
255	30	30	30	26	26	26	26	26	25	25	26	3523	1.56
260	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3582	1.53
265	30	30	30	26	26	26	26	26	25	25	26	3587	1.38
270	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3723	1.50
275	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3723	1.56
280	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3699	1.41
285	30	30	29	26	26	26	26	26	25	25	26	3725	1.38
290	29	29	29	26	26	26	26	26	25	25	26	3725	1.34
295	29	29	29	26	26	26	26	26	25	25	26	3799	1.33

Battery TEST : 18650-320 3 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1 C Spot 2 Point

Capacity : 7,527 mAh.

Energy : 21.93 Wh.

Q Max : 2.43 W.

ตารางที่ ก-32 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 2 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2234	0.21
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2500	0.10
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2411	0.00
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2437	0.08
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2439	0.00
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2442	0.00
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2444	0.00
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2447	0.00
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2410	0.08
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2452	0.08
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2454	0.00
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2457	0.00
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2459	0.16
65	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2705	0.08
70	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2727	0.15
75	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2708	0.00
80	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2800	0.13
85	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2885	0.00
90	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2927	-0.06
95	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2965	0.12
100	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2903	0.22
105	27	26	27	25	25	25	25	25	25	25	25	3032	0.53
110	28	28	28	26	25	25	25	25	25	25	25	3017	0.71
115	28	28	28	25	25	25	25	25	25	25	25	3049	0.51
120	28	28	28	25	25	26	25	25	25	25	25	3051	0.51
125	28	28	28	26	26	26	25	25	25	25	26	3021	0.76
130	28	28	28	26	25	25	25	25	25	25	25	3054	0.71
135	28	28	28	26	25	25	25	25	25	25	25	3055	0.56
140	28	28	28	25	25	26	25	25	25	25	25	3026	0.51
145	28	28	28	25	25	26	25	25	25	25	25	3027	0.66
150	28	28	28	26	25	26	25	25	25	25	25	3029	0.71

ตารางที่ ก-32 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 2 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	28	28	28	26	25	25	25	25	25	25	25	3030	0.56
160	29	29	29	26	26	26	25	26	25	24	26	3119	0.79
165	30	30	29	26	26	26	25	26	25	24	26	3173	0.82
170	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3194	0.93
175	30	30	30	26	26	26	26	26	25	24	26	3243	0.90
180	31	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3261	1.09
185	31	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3277	1.18
190	31	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3320	1.35
195	32	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3387	1.37
200	32	32	32	26	26	26	26	26	25	24	26	3398	1.37
205	32	32	32	26	26	26	26	26	25	24	26	3478	1.47
210	32	32	32	26	26	26	26	26	25	24	26	3479	1.47
215	32	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3480	1.47
220	32	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3481	1.43
225	32	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3483	1.43
230	32	32	32	26	26	26	26	26	25	24	26	3457	1.46
235	32	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3432	1.41
240	32	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3459	1.46
245	32	32	32	26	26	26	26	26	25	24	26	3460	1.42
250	32	32	32	26	26	26	26	26	25	24	26	3462	1.42
255	32	32	32	26	26	27	26	26	25	24	26	3523	1.55
260	32	32	32	26	27	27	26	26	25	24	26	3582	1.64
265	32	32	32	27	27	26	26	26	25	24	26	3587	1.59
270	32	32	32	27	27	27	26	26	25	25	27	3723	1.79
275	32	32	32	27	27	27	27	26	25	25	27	3723	1.77
280	32	33	33	27	27	27	27	27	25	25	27	3699	1.75
285	33	33	33	27	27	27	27	27	25	24	27	3725	1.85
290	33	33	33	27	27	27	27	27	25	24	27	3725	1.93
295	33	33	33	27	27	27	27	27	25	24	27	3799	1.88

ตารางที่ ก-33 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1 C Spot 4 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	27	27	28	25	25	26	25	25	25	25	25	3030	0.86
160	29	29	29	26	26	26	25	25	25	25	26	3119	1.09
165	29	29	30	26	26	26	25	25	25	25	26	3173	1.21
170	30	30	30	26	26	26	25	26	25	25	26	3194	1.30
175	30	30	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3243	1.36
180	30	30	31	26	26	26	26	26	25	24	26	3261	1.40
185	31	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3277	1.56
190	31	31	31	26	26	26	26	26	25	24	26	3320	1.64
195	31	32	32	26	26	26	26	26	25	24	26	3387	1.62
200	32	31	32	26	26	26	26	26	25	24	26	3398	1.72
205	32	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3478	1.79
210	32	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3479	1.79
215	32	32	32	26	26	27	26	26	25	25	26	3480	1.83
220	32	32	32	26	26	27	26	26	25	25	26	3481	1.79
225	32	32	32	26	26	27	26	26	25	25	26	3483	1.75
230	32	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3457	1.74
235	32	32	32	26	27	26	26	26	25	25	26	3432	1.80
240	32	32	32	26	27	26	26	26	25	25	26	3459	1.77
245	32	32	32	26	27	26	26	26	25	25	26	3460	1.81
250	32	32	32	26	27	26	26	26	25	25	26	3462	1.81
255	32	32	32	27	27	26	26	26	25	25	26	3523	1.86
260	32	32	32	27	27	27	26	26	25	24	27	3582	2.02
265	32	32	32	27	27	27	26	27	25	25	27	3587	2.03
270	32	32	32	27	27	27	27	27	25	26	27	3723	2.12
275	32	32	32	27	27	27	27	27	25	25	27	3723	2.10
280	32	32	33	27	27	27	27	27	25	25	27	3699	2.16
285	33	32	33	27	27	27	27	27	25	24	27	3725	2.15
290	33	33	33	27	27	27	27	27	25	25	27	3725	2.23
295	33	33	33	27	27	27	27	27	25	25	27	3799	2.28

ตารางที่ ก-34 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	28	28	28	25	25	25	25	25	25	25	25	3030	0.96
160	29	29	29	25	26	26	25	25	25	25	26	3119	1.24
165	29	29	29	26	25	26	25	25	25	24	26	3173	1.20
170	30	30	30	26	26	26	25	25	25	24	26	3194	1.30
175	30	30	30	26	26	26	25	25	25	24	26	3243	1.35
180	31	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3261	1.48
185	31	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3277	1.64
190	31	32	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3320	1.76
195	31	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3387	1.82
200	32	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3398	1.95
205	32	32	32	26	26	26	26	26	25	26	26	3478	1.94
210	32	32	32	26	26	27	26	26	25	26	26	3479	1.94
215	32	32	32	26	27	26	26	26	25	25	26	3480	1.98
220	32	32	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3481	1.94
225	32	32	32	26	26	26	26	26	25	26	26	3483	1.86
230	32	32	32	26	26	27	26	26	25	26	26	3457	1.89
235	32	32	32	26	27	26	26	26	25	25	26	3432	1.95
240	32	32	32	27	26	26	26	26	25	26	26	3459	1.96
245	32	32	32	26	26	26	26	26	25	26	26	3460	1.92
250	32	32	32	26	26	27	26	26	25	26	26	3462	1.92
255	32	32	32	27	27	27	26	26	25	26	27	3523	2.12
260	32	32	32	27	27	27	26	26	25	25	27	3582	2.13
265	32	33	32	27	27	27	26	26	25	25	27	3587	2.10
270	32	32	32	27	27	27	26	27	26	25	27	3723	2.26
275	32	33	32	27	27	27	27	27	25	26	27	3723	2.27
280	32	32	32	27	27	27	27	27	25	25	27	3699	2.19
285	33	33	33	27	27	27	27	27	26	25	27	3725	2.38
290	33	33	33	27	27	27	27	27	26	25	27	3725	2.32
295	33	33	33	27	27	27	27	27	25	25	27	3799	2.34

Battery TEST : 18650-320 3 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point

Capacity : 7,416 mAh.

Energy : 21.13 Wh.

Q Max : 2.69 W.

ตารางที่ ก-35 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	26	26	26	25	26	26	26	25	26	25	26	2234	0.20
5	26	26	25	26	26	26	26	26	25	25	26	2500	0.30
10	26	26	25	26	26	26	26	26	25	25	26	2411	0.26
15	26	26	26	26	25	26	26	25	25	25	26	2437	0.07
20	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2439	0.32
25	26	26	26	26	26	26	26	25	26	25	26	2442	0.32
30	26	26	26	26	26	26	26	25	26	25	26	2444	0.24
35	26	26	26	26	26	26	25	26	26	25	26	2447	0.24
40	26	26	26	25	26	26	26	26	26	25	26	2410	0.15
45	26	26	26	25	26	26	26	26	26	25	26	2452	0.16
50	26	26	25	26	26	26	26	26	25	25	26	2454	0.16
55	26	26	25	26	26	25	26	26	25	25	26	2457	0.07
60	26	26	25	26	26	26	26	26	25	25	26	2459	0.24
65	26	26	26	26	26	26	26	26	26	24	26	2705	0.40
70	26	26	26	26	26	26	26	26	25	24	26	2727	0.45
75	26	26	26	26	26	26	26	26	25	24	26	2708	0.41
80	26	26	26	26	26	26	26	26	25	25	26	2800	0.26
85	26	26	26	26	26	26	26	26	25	25	26	2885	0.25
90	26	26	26	26	26	26	26	26	25	24	26	2927	0.36
95	26	26	25	25	26	26	25	26	25	26	26	2965	0.11
100	26	26	25	26	26	26	26	26	25	26	26	2903	0.10
105	29	29	29	26	26	26	26	26	26	25	26	3032	1.06
110	32	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3017	1.36
115	32	31	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3049	1.32
120	32	31	32	26	26	27	26	26	26	25	26	3051	1.37
125	32	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3021	1.31
130	32	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3054	1.37
135	32	31	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3055	1.37
140	32	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3026	1.26
145	32	31	32	26	26	26	26	26	26	25	26	3027	1.36
150	32	31	31	26	26	26	26	26	25	25	26	3029	1.36

ตารางที่ ก-35 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 2 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	32	31	32	26	26	26	26	26	25	25	26	3030	1.36
160	34	34	34	27	27	27	26	26	25	25	27	3119	1.63
165	35	35	35	27	27	27	26	26	26	24	27	3173	1.87
170	37	36	37	27	27	27	26	26	25	24	27	3194	2.13
175	38	38	38	27	27	27	27	27	25	24	27	3243	2.34
180	39	38	38	27	28	27	27	27	25	25	27	3261	2.47
185	39	39	39	27	27	28	27	27	25	25	27	3277	2.48
190	39	39	38	27	27	27	27	27	25	25	27	3320	2.29
195	36	36	36	27	27	27	27	27	25	25	27	3387	2.21
200	26	26	26	25	26	26	26	25	26	25	26	2234	0.20
205	26	26	25	26	26	26	26	26	25	25	26	2500	0.30
210	26	26	25	26	26	26	26	26	25	25	26	2411	0.26
215	26	26	26	26	25	26	26	25	25	25	26	2437	0.07
220	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2439	0.32
225	26	26	26	26	26	26	26	25	26	25	26	2442	0.32
230	26	26	26	26	26	26	26	25	26	25	26	2444	0.24
235	26	26	26	26	26	26	25	26	26	25	26	2447	0.24
240	26	26	26	25	26	26	26	26	26	25	26	2410	0.15
245	26	26	26	25	26	26	26	26	26	25	26	2452	0.16
250	26	26	25	26	26	26	26	26	25	25	26	2454	0.16
255	26	26	25	26	26	25	26	26	25	25	26	2457	0.07
260	26	26	25	26	26	26	26	26	25	25	26	2459	0.24
265	26	26	26	26	26	26	26	26	26	24	26	2705	0.40
270	26	26	26	26	26	26	26	26	25	24	26	2727	0.45
275	26	26	26	26	26	26	26	26	25	24	26	2708	0.41
280	26	26	26	26	26	26	26	26	25	25	26	2800	0.26
285	26	26	26	26	26	26	26	26	25	25	26	2885	0.25
290	26	26	26	26	26	26	26	26	25	24	26	2927	0.36
295	26	26	25	25	26	26	25	26	25	26	26	2965	0.11

Battery TEST : 18650-320 3 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1.5 C Spot 4 Point

Capacity : 7,453 mAh.

Energy : 21.13 Wh.

Q Max : 3.21 W.

ตารางที่ ก-36 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 4 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	2027	1.37
5	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	2093	1.53
10	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	2234	1.29
15	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2500	1.37
20	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2411	0.90
25	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2437	0.99
30	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2439	1.07
35	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2442	0.99
40	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2444	0.99
45	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2447	0.91
50	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2410	0.98
55	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2452	0.91
60	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2454	0.91
65	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2457	1.07
70	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2459	0.99
75	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2705	0.91
80	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	2727	0.99
85	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	2708	0.77
90	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	2800	0.87
95	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2885	0.90
100	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2927	0.68
105	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2965	0.70
110	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	26	2903	0.70
115	29	28	29	26	26	26	26	26	26	26	26	3032	1.44
120	31	31	31	27	27	27	26	26	26	26	27	3017	1.82
125	31	31	32	27	27	27	26	26	26	26	27	3049	1.79
130	31	31	31	27	27	27	26	26	26	26	27	3051	1.79
135	31	31	31	27	27	27	26	26	26	26	27	3021	1.82
140	31	31	31	27	27	27	26	26	26	26	27	3054	1.79
145	32	31	32	27	27	27	26	26	26	26	27	3055	1.84
150	32	31	32	27	27	27	26	26	26	26	27	3026	1.82

ตารางที่ ก-36 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 4 Point
(ต่อ)

[illegible]

Battery TEST : 18650-320 3 Cell

Battery Condition : Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point

Capacity : 7,221 mAh.

Energy : 21.16 Wh.

Q Max : 3.26 W.

ตารางที่ ก-37 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2234	0.38
5	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2500	0.38
10	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2411	0.50
15	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2437	0.38
20	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2439	0.30
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2442	0.46
30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2444	0.46
35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2447	0.30
40	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2410	0.29
45	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2452	0.46
50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2454	0.46
55	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2457	0.46
60	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2459	0.38
65	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2705	0.54
70	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2727	0.58
75	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2708	0.46
80	25	25	25	25	25	25	25	25	26	27	25	2800	0.64
85	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2885	0.55
90	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2927	0.46
95	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2965	0.67
100	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2903	0.52
105	28	28	28	25	26	26	25	25	26	25	25	3032	1.26
110	31	31	31	26	26	26	25	25	26	26	26	3017	1.75
115	31	31	31	26	26	26	25	25	26	26	26	3049	1.77
120	31	31	31	26	26	26	25	25	26	26	26	3051	1.72
125	31	31	31	26	26	26	25	25	26	26	26	3021	1.70
130	31	31	31	26	26	26	25	25	26	26	26	3054	1.77
135	31	31	31	26	26	26	25	25	26	26	26	3055	1.77
140	31	31	31	26	26	26	25	25	26	26	26	3026	1.70
145	31	31	31	26	26	26	25	25	26	26	26	3027	1.75
150	31	31	31	26	26	26	25	25	26	26	26	3029	1.75

ตารางที่ ก-37 การทดลองประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 3 Cell Discharge c-rate 1.5 C Spot 6 Point
(ต่อ)

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10	AVG. temp	CT	Q
(S)	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C			
155	31	31	31	26	26	26	25	25	26	26	26	3030	1.70
160	33	33	33	26	26	26	26	25	26	26	26	3119	1.96
165	35	35	35	26	26	26	26	26	26	26	26	3173	2.34
170	36	36	36	27	26	27	26	26	26	26	27	3194	2.58
175	37	37	37	27	27	27	26	26	26	27	27	3243	2.73
180	38	38	38	27	27	27	26	26	26	26	27	3261	2.94
185	38	38	38	27	27	27	27	26	26	25	27	3277	3.09
190	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2234	0.38
195	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	25	2500	0.38
200	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2411	0.50
205	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2437	0.38
210	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2439	0.30
215	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2442	0.46
220	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2444	0.46
225	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2447	0.30
230	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2410	0.29
235	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2452	0.46
240	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2454	0.46
245	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2457	0.46
250	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	2459	0.38
255	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2705	0.54
260	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2727	0.58
265	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	2708	0.46
270	25	25	25	25	25	25	25	25	26	27	25	2800	0.64
275	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2885	0.55
280	25	25	25	25	25	25	25	25	26	25	25	2927	0.46
285	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2965	0.67
290	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25	2903	0.52
295	28	28	28	25	26	26	25	25	26	25	25	3032	1.26

โดย

Time	คือ	ระยะเวลาในการเก็บผลการทดลอง
Cur	คือ	กระแสไฟในการทดสอบ
Vol	คือ	แรงดันไฟฟ้าในการทดสอบ
Capacity	คือ	ความจุของแบตเตอรี่
Energy	คือ	พลังงานของแบตเตอรี่
CH1	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ด้านซ้าย
CH2	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ด้านขวา
CH3	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับ Battery lithium ion ตรงกลาง
CH4	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านซ้าย ฝาผนังภายในถัง Thermostatic chamber
CH5	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับตรงกลาง ฝาผนังภายในถัง Thermostatic chamber
CH6	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านขวา ฝาผนังภายในถัง Thermostatic
CH7	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านบน ภายในถัง Thermostatic
CH8	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านล่าง ภายในถัง Thermostatic
CH9	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger ไปติดกับด้านนอกถัง Thermostatic
CH10	คือ	ค่าอุณหภูมิของสายที่ต่อจาก Data Logger วัดอุณหภูมิบรรยากาศ
AVG. Temp	คือ	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของแบตเตอรี่
C_T	คือ	อุณหภูมิที่วัดได้จากห้องโดยสาร
Q	คือ	ค่าความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ขณะทดลอง
Q_{MAX}	คือ	ค่าความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ขณะทดลองสูงสุด

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายธีรวิธ ผิวจิตร

ชื่อการค้นคว้าอิสระ การศึกษาผลกระทบทางคุณสมบัติและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายหลังกระบวนการประกอบโดยวิธีการเชื่อมจุด

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

ประวัติ เกิดวันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ.2530
 ที่อยู่ 377/123 หมู่ 5 ตำบลปากพูน อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช
 จังหวัดนครศรีธรรมราช 80000
 เบอร์ติดต่อ : 084-9172105
 Email : Thirawutphiochit@gmail.com

ประวัติการศึกษา

ระดับประถมศึกษา	โรงเรียนวัดเขาน้อย
ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสิชลคุณาธารวิทยา
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ภาคใต้
ระดับปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี