



ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

นายเสกฐวุฒิ สารบุรุษ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

นายเสกฐวุฒิ สารบุรุษ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง ชุติทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

โดย นายเสกฐวุฒิ สารบุรุษ

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย / หัวหน้าภาควิชา

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ เรืองตระกูล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต้องชนะ ทองทิพย์)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติวุฒิ ศุภวิจิโรจน์)

ชื่อ : นายเสฏฐวุฒิ สารบุรุษ
 ชื่อการค้นคว้าอิสระ : ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกลศึกษา
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต้องชนะ ทองทิพย์
 ปีการศึกษา : 2567

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความร้อนที่เกิดจากการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน และเปรียบเทียบกับการวัดค่าความร้อนที่ใช้ Thermostatic chamber การทดลองดำเนินการที่อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำที่ 28°C และใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 2 ชนิด ได้แก่ Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320 ในอัตราการประจุและคายประจุต่างๆ ที่ 0.5C, 1C และ 1.5C โดยผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในระบบจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามอัตราการประจุและคายประจุ ทั้งในกรณีที่ใช้น้ำและใช้ Thermostatic chamber แบตเตอรี่ Vapcell F35 18650 พบว่ามีการปล่อยความร้อนมากกว่าแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในอัตราการประจุและคายประจุต่ำ ในขณะที่อัตราการคายประจุที่ 1C แบตเตอรี่ INR 18650-320 ปล่อยความร้อนมากกว่า นอกจากนี้ค่าความร้อนที่เกิดจากการทำงานของปั้มน้ำในระบบมีค่าน้อยและไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการประจุหรือคายประจุ การเปรียบเทียบผลจากการทดลองทั้งสองวิธีพบว่าค่าความร้อนมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยการใช้ใช้น้ำเป็นตัวกลางมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่ดีในสภาพแวดล้อมที่มีการไหลเวียนของน้ำ ขณะที่ Thermostatic chamber สามารถให้ค่าความร้อนที่แม่นยำแต่ไม่สามารถจำลองการถ่ายเทความร้อนได้เท่านี้

(มีจำนวนทั้งสิ้น 74 หน้า)

คำสำคัญ : แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน, การประจุ, การคายประจุ, ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน, Thermostatic chamber.

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก

Name : Mr. Sedthawut Sanburut

Independent Study Title : Experimental equipment for searching caloric values of batteries by using water to exchange caloric values

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

Independent Study Advisor : Assistant Professor Dr. Tongchana Thongtip

Academic Year : 2024

ABSTRACT

This study aims to determine the heat generated during the charging and discharging of lithium-ion batteries using water as a medium for heat exchange and to compare this with the heat measurement method using a Thermostatic chamber. The experiment was conducted with an initial water temperature of 28°C, using two types of lithium-ion batteries, Vapcell F35 18650 and INR 18650-320, at charging and discharging rates of 0.5C, 1C, and 1.5C. The results revealed that the temperature within the system continuously increased in accordance with the charging and discharging rates, both when using water and the Thermostatic chamber. The Vapcell F35 18650 battery released more heat than the INR 18650-320 at low charging and discharging rates, while at a discharge rate of 1C, the INR 18650-320 released more heat. Additionally, the heat generated by the water pump in the system remained low and almost unchanged across all charging and discharging rates. A comparison between the two experimental methods showed that the heat values were similar. Water as a medium demonstrated higher efficiency in heat transfer in an environment with continuous water flow, while the Thermostatic chamber provided accurate heat measurements but was less effective in simulating heat transfer compared to water.

(Total 74 Pages)

Keywords: lithium-ion battery, charging, discharging, battery heat measurement system using water as a medium for heat exchange, Thermostatic chamber.

Advisor



กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ก็ด้วยความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้มีพระคุณหลายท่านที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ท่านผู้มีพระคุณที่ขอระลึกถึง คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต้องชนะ ทองทิพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อ.ศุภรัตน์ แจ่มสว่าง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และชี้แนะแนวทางที่ถูกต้อง ตั้งแต่เริ่มต้นหัวข้อการวิจัย การวิเคราะห์ผล และอภิปรายผล จนกระทั่งสำเร็จเป็นงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกลทุกท่าน รวมทั้งผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบรวมทั้งให้คำแนะนำเพื่อแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีคุณภาพ และเจ้าหน้าที่ของคณะกรรมการครุศาสตร์อุตสาหกรรมประสานงานและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ แก่ผู้วิจัยเสมอมา นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูล นอกจากนี้ขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานสารนิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

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

เสกฐวุฒิ สารบุรุษ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฆ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตในการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีและเทคโนโลยีในปัจจุบันหลักการระบายความร้อนของ แบตเตอรี่	4
2.2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	9
2.3 ปัจจัยการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	13
2.4 ค่า soc, dOD ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	15
2.5 กระแส ความต้านทาน และแรงดันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	16
2.6 ทฤษฎีการชาร์จและดิสชาร์จลิเทียมไอออน	18
2.7 ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	19
2.8 เทอร์โมคัปเปิล	20
2.9 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger)	22
2.10 เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester)	23
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ศึกษาข้อมูล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	25
3.2 การออกแบบสร้างชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย (ต่อ)	
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	29
3.4 ดำเนินการทดลองและเก็บผล	32
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ดำเนินการทดลองและเก็บผลชุดทดลองการหาค่าความร้อนแบตเตอรี่	34
4.2 การเปรียบเทียบความร้อนรวมทั้งระบบและป้อนในกระบวนการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320	41
4.3 การเปรียบเทียบความร้อนรวมทั้งระบบและป้อนในกระบวนการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650	80
4.4 การเปรียบเทียบความร้อนรวมทั้งระบบและป้อนในกระบวนการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320	43
4.5 ค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Discharge)	44
4.6 การเปรียบเทียบความร้อนรวมทั้งระบบและป้อนในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320	45
4.7 การเปรียบเทียบความร้อนรวมทั้งระบบและป้อนในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650	46
4.8 การเปรียบเทียบความร้อนรวมทั้งระบบและป้อนในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320	47
4.9 ค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge)	48
4.10 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ระหว่างชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน และการหาค่าความร้อนโดยใช้วิธี Thermostatic chamber ในกระบวนการอัดประจุและคายประจุที่ 0.5C และ 1C	49

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5	สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการวิจัย	50
5.2	อภิปรายผล	50
5.3	ข้อเสนอแนะ	51
บรรณานุกรม		
ภาคผนวก		
ประวัติผู้เขียน		



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	11
3-1	33
ก-1	54
ก-2	55
ก-3	55
ก-4	57
ก-5	58
ก-6	58
ก-7	60
ก-8	61
ก-9	61
ก-10	63
ก-11	64
ก-12	64

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 กราฟแรงดันไฟที่ใช้ของแบตเตอรี่	7
2-2 ภาพความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่	8
2-3 โครงสร้างแบตเตอรี่ลิเทียม a)แบบแท่งกลม b)แบบแท่งเหลี่ยม c)แบบเพาซ์เซลล์	10
2-4 องค์ประกอบของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมและหลักการทำงาน	12
2-5 กฎของจูน	14
2-6 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง SOC และ DOD	16
2-7 หลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล	22
2-8 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ	22
2-9 Battery Tester	23
3-1 แผนการดำเนินงาน	25
3-2 ส่วนประกอบที่ติดตั้งแบตเตอรี่ของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน	27
3-3 รูปแบบการติดตั้งแบตเตอรี่กับชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน	27
3-4 แบบจำลองชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการ แลกเปลี่ยนความร้อน	28
3-5 ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยน ความร้อน	28
3-6 แบตเตอรี่ชนิด Lithium-ion INR18650-320	29
3-7 แบตเตอรี่ชนิด Lithium-ion ยี่ห้อ Vapcell โมเดล F35	29
3-8 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ Data logger ยี่ห้อ HIOKI รุ่น lr8431-20	30
3-9 Battery Tester	30
3-10 Thermocouple type k	31
3-11 Nickle strip	31
3-12 ป้อนน้ำ	32
3-13 ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์	32
4-1 แสดงถึงกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะทำการอัดประจุ	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-2 แสดงถึงกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะทำการคายประจุ	36
4-3 แสดงถึงอุณหภูมิภายในท่อทางน้ำเข้า-ออก และถังเก็บน้ำภายในระบบขณะทำการอัดประจุ	36
4-4 แสดงถึงอุณหภูมิภายในท่อทางน้ำเข้า-ออก และถังเก็บน้ำภายในระบบขณะทำการคายประจุ	37
4-5 แสดงถึงค่าความร้อนรวมทั้งระบบขณะทำการอัดประจุ	37
4-6 แสดงถึงค่าความร้อนรวมทั้งระบบขณะทำการคายประจุ	38
4-7 แสดงถึงอุณหภูมิภายในท่อทางน้ำเข้า-ออก และถังเก็บน้ำภายในระบบ	38
4-8 แสดงถึงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของปั้มน้ำ	39
4-9 แสดงถึงค่าความร้อนของแบตเตอรี่ ขณะทำการอัดประจุ	40
4-10 แสดงถึงค่าความร้อนของแบตเตอรี่ ขณะทำการคายประจุ	40
4-11 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ที่อัตราการคายประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C	41
4-12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 ที่อัตราการคายประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C	42
4-13 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากปั้มน้ำ ที่อัตราการคายประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C	43
4-14 แสดงค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Discharge) ที่อัตราการคายประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C	44
4-15 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C	46
4-17 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากปั๊ม ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C	47
4-18 แสดงค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C	48
4-19 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ระหว่างชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน และการหาค่าความร้อนโดยใช้วิธี Thermostatic chamber ในกระบวนการอัดประจุและคายประจุที่ 0.5C และ 1C	49
ก-1 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ Vapcell F35 18650 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5c	54
ก-2 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ Vapcell F35 18650 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5c	54
ก-3 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ Vapcell F35 18650 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5c	55
ก-4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C	56
ก-5 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5c	57
ก-6 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 1c	57
ก-7 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 1.5c	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C	59
ก-9 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 0.5c	60
ก-10 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 1c	60
ก-11 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 1.5c	61
ก-12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 ที่อัตราการคายประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C	62
ก-13 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 0.5c	63
ก-14 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 1c	63
ก-15 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 1.5c	64
ก-16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ที่อัตราการคายประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C	65
ก-17 แสดงค่าความร้อนโดยใช้วิธี Thermostatic chamber ในกระบวนการอัดประจุ และคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่ INR 18650-320	65
ข-1 ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน	67
ข-2 ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (ด้านหน้า)	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ข-3 ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (ด้านบน)	68
ข-4 ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (ด้านข้าง)	68
ข-5 ส่วนประกอบที่ติดตั้งแบตเตอรี่ของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน	69
ข-6 รูปแบบการติดตั้งแบตเตอรี่กับชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน	69
ข-7 ส่วนประกอบที่ติดตั้งแบตเตอรี่ของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน	70
ข-8 ส่วนประกอบที่ติดตั้งแบตเตอรี่ของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (1)	71
ข-9 ส่วนประกอบที่ติดตั้งแบตเตอรี่ของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (2)	72
ข-10 ส่วนประกอบที่ติดตั้งแบตเตอรี่ของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (3)	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากปัจจุบันโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น จนก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน มีการส่งเสริมเรื่องพลังงานสะอาดมากยิ่งขึ้น หลายๆประเทศมีการรณรงค์ให้ลดการใช้พลังงานสิ้นเปลือง หรือพลังงานฟอสซิล ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหา ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเริ่มมีรถยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า แทนเชื้อเพลิงน้ำมันมากยิ่งขึ้น [1] จากรายงานของสำนักงานพลังงานสากลหรือ International Energy Agency (IEA) คาดการณ์ว่าภายในปี 2030 มีการเพิ่มจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า , รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า และ รถบรรทุกไฟฟ้าเป็น 145 ล้านคันทั่วโลกซึ่งเป็นผลจากนโยบายของภาครัฐเรื่องลดการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอน ซึ่งในประเทศไทยเองก็มีการส่งเสริมจากทางภาครัฐอย่างต่อเนื่อง ภายในปี 2573 รัฐบาลมีนโยบายเพื่อต้องการผลักดันให้ร้อยละ 30 ของกำลังการผลิตรถยนต์ทั้งหมดในประเทศไทย 2.5 ล้านคัน เป็นรถยนต์ไฟฟ้าหรือคิดเป็นรถยนต์ไฟฟ้าประมาณ 750,000 คัน และให้มีการพัฒนาและสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้า รถยนต์ไฟฟ้ามีส่วนประกอบที่สำคัญหลายส่วน ซึ่งส่วนที่ทำหน้าที่เป็นหัวใจของการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า นั่นคือ แบตเตอรี่

แบตเตอรี่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้า ปัจจุบันแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้ามีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง โดยแบตเตอรี่ที่นิยมใช้รถยนต์ไฟฟ้า คือ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium-Ion Battery) เนื่องจากมีน้ำหนักเบา มีค่าพลังงานจำเพาะสูง มีอัตราการคายประจุในตัวเองต่ำ และอายุการใช้งานที่ยาวนาน เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ ขณะที่มีการใช้งานแบตเตอรี่เป็นระยะเวลานานทั้งอัดประจุและคายประจุ จะเกิดความร้อนขึ้นภายในแบตเตอรี่ ในรูปแบบการสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของเซลล์แบตเตอรี่ (Joule heating) และความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปี (Entropy change) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี บวกกับอุณหภูมิอากาศที่ค่อนข้างสูงของประเทศไทย หากแบตเตอรี่มีการจัดการความร้อนไม่ดีหรือไม่สามารถระบายความร้อนได้ดีนัก จนเกิดความร้อนสูงเกิน 60 °C จะเริ่มมีความร้อนสูงขึ้นที่ชั่วพลและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จนเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ไม่พึงประสงค์ และในกรณีที่เลวร้ายที่สุดอาจเกิดการลุกไหม้หรือระเบิดได้ ซึ่งเรียกว่า การเกิดความร้อนต่อเนื่องแบบบูมไม่กลับ (Thermal Runaway) [2] อุณหภูมิอาจเพิ่มสูงถึง 900 °C ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายร้ายแรงและอันตรายต่อผู้ใช้งาน ดังนั้นในป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้น การหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่ เพื่อที่จะรักษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนให้เหมาะสมสำหรับการใช้งาน และป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

ในที่ผ่านมามีผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเรื่องผลกระทบของอายุที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของแบตเตอรี่ Li-ion ในฟังก์ชันของอุณหภูมิและ SOC [3] เพื่อวิเคราะห์และทดสอบการเพิ่มขึ้นของความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ทำการประมาณค่าความต้านทานภายในโดยการใช้ Galvanostatic EIS ในโดยความถี่ สำหรับสภาวะ SOC และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เซลล์แบตเตอรี่มีอายุภายใต้สภาวะคงที่สำหรับ SOC, อุณหภูมิ, และฟังก์ชันกระแส โดยการใช้แบตเตอรี่เซลล์ชนิด Lithium Cobalt Oxide หรือ LCO ใช้ในการทดสอบ การทดสอบดำเนินการโดยการใช้ Booteer 100A เชื่อมต่อกับ Potentiostat ที่ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม EC-LAB สายเคเบิล Ethernet ในการควบคุมและรักษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้คงที่ในระหว่างการทดสอบ ได้มีการเชื่อมต่อแผ่นเซลล์ Peltier แบบอนุกรมทั้งหมด 3 แผ่นไว้ใต้แบตเตอรี่ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ผลการทดลองความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นตามการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และที่อุณหภูมิสูงขึ้นการเคลื่อนตัวของไอออนที่ดีขึ้นจะช่วยถ่วงดุลการเสื่อมสภาพของอิเล็กโทรด

และงานวิจัยลักษณะสมดุทางความร้อนของแบตเตอรี่แบบ Pouch ชนิดลิเทียมไอออนขนาดใหญ่และเวลาการพักระหว่างการชาร์จและดิสชาร์จ [4] เพื่อหาเหตุผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่ชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ว่าเกี่ยวข้องกับค่ากระแสและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอก โดยทำการทดสอบการชาร์จและดิสชาร์จที่ 0.5C 1C 2C และ 3C ในช่วงอุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส 10 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Test Chamber) ผลการทดลองสรุปได้ว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและค่า C-rate มีผลต่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ในการชาร์จและดิสชาร์จ และช่วงเวลาที่พักระหว่างการชาร์จและดิสชาร์จสามารถใช้งานได้ในการวิเคราะห์แบบ Lump parameter สุดท้ายคือสามารถยืนยันได้ว่าแบตเตอรี่เข้าสู่ช่วงสภาวะสมดุทางความร้อนแล้ว ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิพื้นผิวมีแนวโน้มที่จะคงที่

จากที่กล่าวมาข้างต้น ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน จำเป็นต้องใช้เครื่องมือเฉพาะทางเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ อย่างเช่น ค่าเอนโทรปี ค่าความต้านทานภายใน และจำนวนอิเล็กตรอน เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงในการใช้เครื่องมือเฉพาะทาง และที่ผ่านมามีผู้ทดลองการหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยใช้ Thermostatic chamber ทางผู้วิจัยได้สร้างชุดทดลองการหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยการถ่ายเทความร้อนผ่านอลูมิเนียมที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ เพื่อศึกษาพฤติกรรม การเกิดความร้อนของแบตเตอรี่บนหลักการของกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ “พลังงานไม่อาจสร้างขึ้นใหม่หรือทำให้สูญสลายได้ แต่สามารถเปลี่ยนรูปจากรูปหนึ่งไปอีกรูปหนึ่งได้” แสดงได้ว่า พลังงานความร้อนที่ออกจากแบตเตอรี่จะเท่ากับพลังงานความร้อนของอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น และ

เนื่องจากน้ำมีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูง สามารถดูดซับและถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าอากาศ โดยผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะสามารถทำให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากนักน้อยจากการทำวิจัยในครั้งนี้

1.2. วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในการประจุและคายประจุ เมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นตัวถ่ายเทความร้อนที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนด้วยอลูมิเนียมที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ กับการถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศ

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650 4.2 V 3.2 A

1.3.2 ชุดทดลองการถ่ายเทความร้อนผ่านอลูมิเนียมที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ

1.3.3 การประจุและคายประจุแบตเตอรี่ (C-Rating) 0.5 C 1 C และ 1.5 C

1.3.4 ปั้มน้ำอัตราการไหล 800L/hr.

1.4. ประโยชน์ของการวิจัย

1.4.1 ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.4.2 สามารถหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยการถ่ายเทความร้อนด้วยอลูมิเนียมที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งขั้นตอนดังนี้

- 2.1 ทฤษฎีและเทคโนโลยีในปัจจุบันหลักการระบายความร้อนของแบตเตอรี่
- 2.2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน
- 2.3 ปัจจัยการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน
- 2.4 ค่า SOC, DOD ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน
- 2.5 กระแส ความต้านทาน และแรงดันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน
- 2.6 ทฤษฎีการชาร์จและดิสชาร์จลิเทียมไอออน
- 2.7 ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน
- 2.8 เทอร์โมคัปเปิล
- 2.9 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger)
- 2.10 เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester)
- 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและเทคโนโลยีในปัจจุบันหลักการระบายความร้อนของแบตเตอรี่

หากมีการใช้งานแพ็คแบตเตอรี่ที่มาจากการอัดประจุ หรือการคายประจุ จะมีความร้อนเกิดขึ้นในตัวแพ็คแบตเตอรี่เสมอ และในการใช้งานของแพ็คแบตเตอรี่ในสภาพอากาศของประเทศไทย ที่มีสภาพอากาศค่อนข้างร้อนทำให้การระบายความร้อนออกจากแพ็คแบตเตอรี่ ด้วยตัวเองค่อนข้างทำได้ยาก หากความร้อนที่สะสมภายในแพ็คแบตเตอรี่มากขึ้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ และยังทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง ดังนั้น ระบบการระบายความร้อนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะช่วยให้การทำงานของแพ็คแบตเตอรี่ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น

2.1.1 หลักการระบายความร้อนของแบตเตอรี่ ระบบการระบายของความร้อนให้แพ็คแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ รูปทรงของแบตเตอรี่ ชนิดของแบตเตอรี่ อัตราการจ่ายไฟและ

การอัดประจุ 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

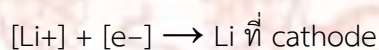
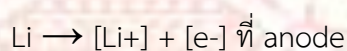
$Q_{Conduction}$ = ความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากตัวแพ็คแบตเตอรี่ โดยผ่านวัสดุนำความร้อนไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ โดยความสามารถในการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ และผลต่างของอุณหภูมิ

$Q_{Convection}$ = ความร้อนที่ถูกระบายออกหรือถูกพัดพาออกจากตัวแบตเตอรี่โดยมีสารพาความร้อนเคลื่อนที่ โดยความสามารถในการพาความร้อนจะขึ้นอยู่กับค่าการพาความร้อน ปริมาณสารพาความร้อนและ ผลต่างของอุณหภูมิ

2.1.2 ความต้านทานภายใน และการสูญเสียของแบตเตอรี่ โดยในทางทฤษฎีนั้นไม่สามารถใช้งานได้ในระหว่างการใช้งาน เนื่องจากพื้นที่ที่กระแสไฟเริ่มไหลผ่านแบตเตอรี่จะไหลผ่านความต้านทานภายใน (Internal Resistance) ของเซลล์แบตเตอรี่ด้วยการลดลงของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Drops) ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากความต้านทานภายในเป็นผลมาจากกระบวนการต่างๆที่แตกต่างกัน และผลลัพธ์ของผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกันซึ่ง voltage drops เกิดจากกระบวนการต่างๆดังนี้

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

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



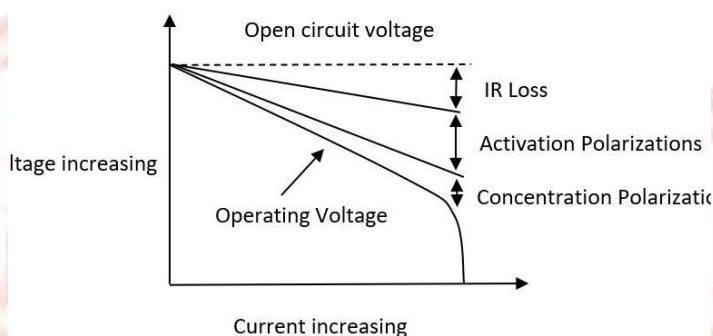
3) Internal ohmic resistance คือ ความต้านทานของอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เช่นเดียว กับความต้านทานของวัสดุอิเล็กโทรด (Electrode Materials) ขั้ว (Terminals) การเชื่อมต่อ ระหว่างกัน (Interconnections) พื้นที่ติดต่อกันระหว่างอิเล็กโทรด กับอิเล็กโทรไลต์ และส่วนประกอบอื่นๆ ที่เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ Ohmic 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 2-1 กราฟแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ของแบตเตอรี่

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 2-2 ภาพความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่

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

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

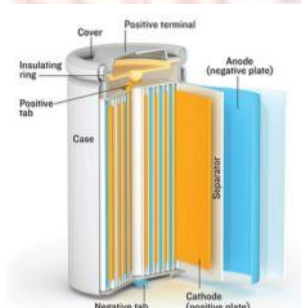
- โดยที่ R_{int} = ความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่ (Ω)
- R_{Ohm} = (Ohmic resistance) ความต้านทานที่เกิดจากอิเล็กโทรไลต์ อิเล็กโทรด และส่วนประกอบอื่น ๆ ของแบตเตอรี่ ที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านภายใน (Ω)
- R_{ch} = (Charge – transfer resistance) ความต้านทานที่เกี่ยวข้องกับ activation reactions เนื่องจาก ในระหว่างกระบวนการไอออนลิเทียมจะแทรกตัวที่อินเตอร์เฟซระหว่างอิเล็กโทรด/อิเล็กโทรไลต์ (Ω)
- R_d = (Diffusion resistance) ความต้านทานที่เกิดจากการแพร่ของไอออนภายในอิเล็กโทรไลต์(Ω)

2.2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

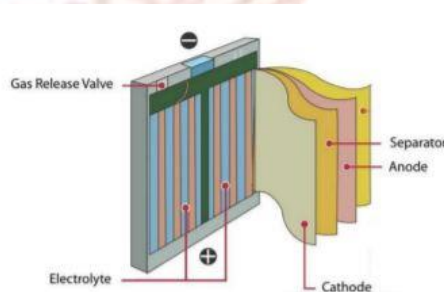
โดยทั่วไป แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม จะประกอบไปด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี (electrochemical cell) ที่ประกอบไปด้วยโครงสร้าง 3 ชั้น ที่ถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุหุ้ม (case) ดังแสดงในภาพที่ 2-3 โครงสร้างหลัก 3 ชั้น ประกอบไปด้วย แผ่น วัสดุแคโทด (อิเล็กโทรดขั้วบวก) แผ่นวัสดุแอโนด (อิเล็กโทรดขั้วลบ) อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งเป็นตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายเกลือของลิเทียม โดยมีแผ่น

วัสดุเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (microporous membrane) แยกขั้วทั้งสองออกจากกัน (separator) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจร เซลล์ไฟฟ้าเคมีนี้ถูกประกอบเข้าด้วยกันในกรอบโลหะ (metal case) หรือวัสดุห่อหุ้มอื่น เช่น พลาสติก ตารางที่ 2-1 อธิบายหน้าที่ และประเภทของ องค์ประกอบ โดยแต่ละประเภทจะมีรูปแบบการจัดวางของเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิด ของแบตเตอรี่ มีทั้งประเภทที่ประจุไฟใหม่ได้ (rechargeable) และประจุไฟใหม่ไม่ได้ (non-rechargeable) ขั้วอิเล็กโทรดบวก หรือแคโทดจะประกอบไปด้วยสารประกอบไปด้วย สารประกอบลิเทียม ส่วนมากจะเป็นสารประกอบลิเทียมเมทัลออกไซด์ (lithium-metal-oxide) เช่น ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ และลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ เป็นต้น สารประกอบลิเทียมชนิดอื่น ๆ เช่น ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตและลิเทียมไททาเนต เป็นต้น ดังภาพที่ 2-4 ส่วนวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็น ขั้วแอโนด คือ คาร์บอนชนิดต่างๆ ได้แก่ แกรไฟต์ (graphite) คาร์บอนแข็ง (hard carbon) หรือ แกรฟีน (graphene) นอกจากนี้ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เป็นสารประกอบของ เกลือของลิเทียม ซึ่งจะ ละลายอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น lithium hexafluorophosphate (LiPF_6) lithium perchlorate (LiClO_4) และ lithium hexafluoro arsenate (LiAsF_6) เป็นต้น ดังตารางที่ 2-1

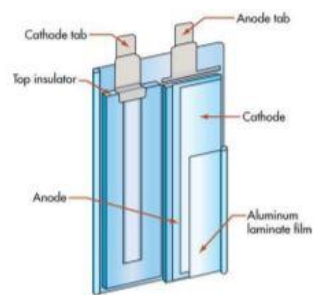
สรุปหน้าที่ขององค์ประกอบต่างๆ ในแบตเตอรี่ลิเทียม [16-18] ในส่วนของวัสดุห่อหุ้มอาจทำ จากโลหะ เช่น อะลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม หรือเป็นชั้นฟิล์มของอะลูมิเนียม-พลาสติก ส่วนแผ่นแยก หรือวัสดุเมมเบรน อาจทำมาจากโพลีพรพิลีน หรือโพลีเอทิลีน เป็นต้น ดังภาพที่ 2-3 แสดงการ เปรียบเทียบลักษณะโครงสร้าง ภายในของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดแท่งกลม – cylindrical แบตเตอรี่ชนิด แท่งเหลี่ยมที่มีวัสดุห่อหุ้มแข็ง prismatic hard case และแบตเตอรี่ชนิดพอนช์เซลล์ pouch cell หรือ แบบกระเปาะเหลี่ยมและมีวัสดุห่อหุ้มเป็น อะลูมิเนียมแผ่นฟอยล์ และพลาสติกซึ่งมีความยืดหยุ่นกว่า แบตเตอรี่ 2 ชนิดแรกจะมีแผ่นขั้วอิเล็กโทรดสลับกัน ไปมาแบบเจลลี่โรล (jellyroll) ส่วนแบตเตอรี่ แบบพาสเซลล์จะเป็นการประกบแผ่นวัสดุขั้วอิเล็กโทรดแบบ แซนวิช (sandwich) [12]



a)



b)



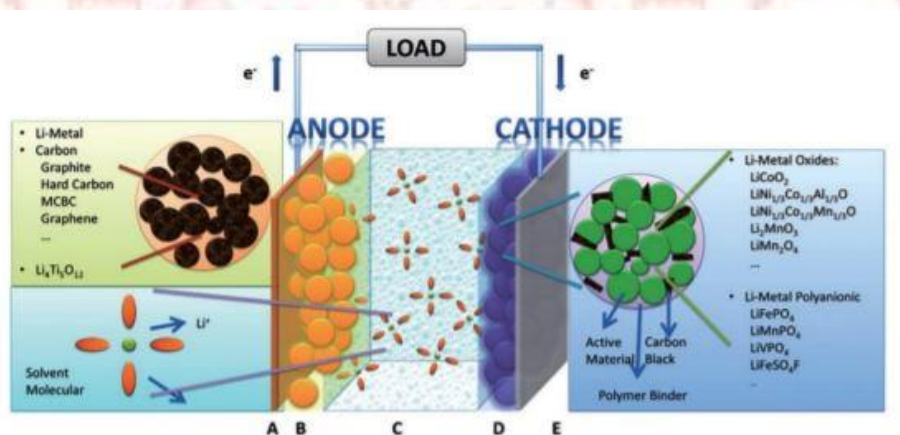
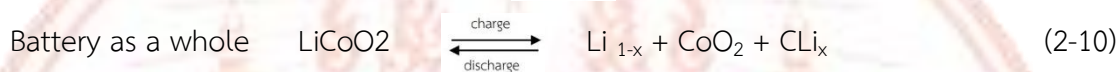
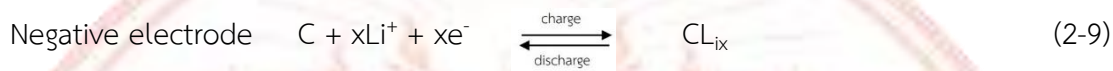
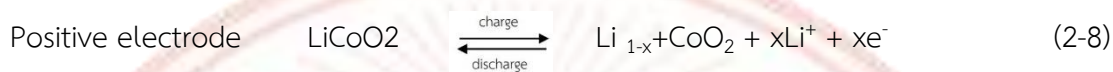
c)

ภาพที่ 2-3 โครงสร้างแบตเตอรี่ลิเทียม a)แบบแท่งกลม b)แบบแท่งเหลี่ยม c)แบบเพาซ์เซลล์ [12]

ตารางที่ 2-1 หน้าที่ขององค์ประกอบในแบตเตอรี่ลิเทียม [12]

องค์ประกอบ	หน้าที่	วัสดุ
แคโทด	- ปลดปล่อยอิเล็กตรอนของลิเทียมไปยังขั้วแอโนดระหว่างการคายประจุ - รับอิเล็กตรอนของลิเทียมระหว่างการประจุไฟฟ้าใหม่	ลิเทียมเมทัลออกไซด์/ สารประกอบลิเทียม
แอโนด	- รับอิเล็กตรอนของลิเทียมจากแคโทดระหว่างการคายประจุ - ปลดปล่อยอิเล็กตรอนของลิเทียมระหว่างการประจุไฟฟ้าใหม่	แกรไฟต์สารละลาย/ คาร์บอน/กราไฟท์
อิเล็กโทรไลต์	- เป็นตัวกลางให้อิออนของลิเทียมเคลื่อนที่ผ่านระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนด	เกลือของลิเทียม/สารละลายอินทรีย์
แผ่นแยก	- ป้องกันการลัดวงจรระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนด - ให้อิออนของลิเทียมเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนของตัวเนื้อวัสดุ	โพลีพรพิลีน/โพลีเอทิลีน
ตัวเชื่อมต่อ	- หนึ่ยวนำอิเล็กตรอนไปยังแคโทดและจากแอโนด	ทองแดง/อะลูมิเนียม

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



ภาพที่ 2-4 องค์ประกอบของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมและหลักการทำงาน [12]

2.2.1 ข้อดี ข้อเสีย และข้อควรระวังของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.2.1.1 ข้อดีของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.2.1.1.1 ความหนาแน่นพลังงานสูง (High Energy Density) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีความสามารถในการเก็บพลังงานในปริมาณมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักและขนาด ทำให้เหมาะสำหรับอุปกรณ์พกพาและรถยนต์ไฟฟ้า

2.2.1.1.2 การคายประจุต่ำ (Low Self-Discharge) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจะคายประจุในอัตราที่ต่ำเมื่อไม่ได้ใช้งาน ทำให้สามารถเก็บประจุได้นานกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น

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

2.2.1.1.4 อายุการใช้งานยาวนาน (Long Cycle Life) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสามารถชาร์จและใช้งานได้หลายรอบ (Cycles) โดยที่ประสิทธิภาพการเก็บพลังงานลดลงช้ากว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น

2.2.1.1.5 การบำรุงรักษาต่ำ (Low Maintenance) ไม่ต้องการการบำรุงรักษาเฉพาะทางบ่อย ๆ เหมือนกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น เช่น การเติมน้ำกลั่นในแบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮดรายด์ (NiMH)

2.2.1.2 ข้อเสียของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

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

2.2.1.2.2 ราคาแพง (High Cost) วัสดุและกระบวนการผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีค่าใช้จ่ายสูง ทำให้มีราคาสูงกว่าชนิดอื่น

2.2.1.2.3 อ่อนไหวต่ออุณหภูมิ (Temperature Sensitivity) การทำงานในอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปอาจทำให้ประสิทธิภาพลดลงหรือเสียหายได้ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนควรถูกเก็บและใช้งานในอุณหภูมิที่เหมาะสม

2.2.1.2.4 การลดประสิทธิภาพตามอายุการใช้งาน (Degradation Over Time) แม้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจะมีอายุการใช้งานยาวนาน แต่ประสิทธิภาพการเก็บพลังงานจะลดลงตามระยะเวลาการใช้งาน

2.2.1.3 ข้อควรระวังในการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.2.1.3.1 หลีกเลี่ยงการชาร์จหรือใช้งานในอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไป (Avoid Extreme Temperatures) การใช้งานในอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปอาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้นหรือเกิดความเสียหาย

2.2.1.3.2 หลีกเลี่ยงการชาร์จเกิน (Avoid Overcharging) การชาร์จเกินสามารถทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายและเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดไฟไหม้หรือระเบิด ควรใช้เครื่องชาร์จที่มีมาตรฐานและถูกต้อง

2.2.1.3.3 ไม่ควรคายประจุจนหมด (Avoid Deep Discharge) การคายประจุจนหมดสามารถทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น ควรหลีกเลี่ยงการใช้แบตเตอรี่จนหมดประจุทุกครั้ง

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

2.2.1.3.5 ตรวจสอบแบตเตอรี่เป็นประจำ (Regular Inspection)

ควรตรวจสอบแบตเตอรี่เป็นประจำเพื่อหาความเสียหายหรือการบวมของแบตเตอรี่ และหยุดใช้งานหากพบปัญหา

2.2.1.3.6 ใช้เครื่องชาร์จที่ถูกต้องและมีมาตรฐาน (Use Appropriate Chargers) การใช้เครื่องชาร์จที่ถูกต้องและมีมาตรฐานจะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหาย

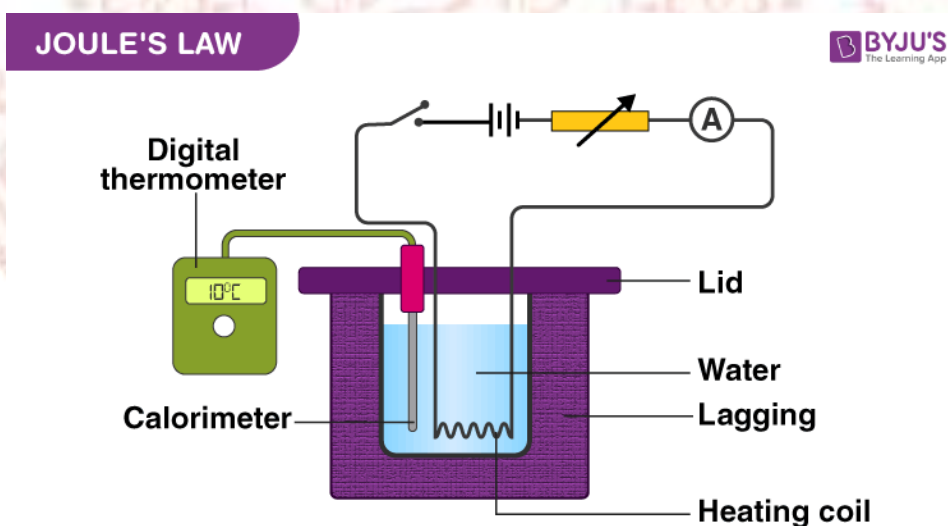
2.3 ปัจจัยการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอาจเกิดความร้อนจากหลายปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแบตเตอรี่ ปัจจัยหลัก ๆ ที่ทำให้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเกิดความร้อนมีดังหัวข้อต่อไปนี้

2.3.1 ปัจจัยการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.3.1.1 การชาร์จและคายประจุเร็ว (Fast Charging and Discharging) การชาร์จหรือคายประจุที่มีอัตราเร็วสูงเกินไปทำให้เกิดความร้อนสะสม เนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนลิเทียมและปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในอัตราที่สูง

2.3.1.2 ความต้านทานภายใน (Internal Resistance) ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ที่สูงสามารถทำให้เกิดความร้อนเมื่อมีการชาร์จหรือคายประจุ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานภายในทำให้เกิดความร้อนตามหลักการของจูล (Joule's Law) [8]



ภาพที่ 2-5 กฎของจูล [8]

2.3.1.3 การลัดวงจร (Short Circuit) การลัดวงจรภายในแบตเตอรี่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในปริมาณมากในช่วงเวลาสั้น ๆ ทำให้เกิดความร้อนสูงและอาจทำให้แบตเตอรี่ระเบิดหรือไฟไหม้

2.3.1.4 การชาร์จเกิน (Overcharging) การชาร์จแบตเตอรี่เกินความจุที่กำหนดทำให้เกิดความร้อนและสามารถทำให้เกิดการแตกตัวของอิเล็กโทรไลต์ภายในแบตเตอรี่ นำไปสู่ความเสียหายและอันตราย

2.3.1.5 การคายประจุจนหมด (Deep Discharge) การคายประจุจนหมดทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์แบตเตอรี่และเพิ่มความต้านทานภายใน ซึ่งทำให้เกิดความร้อนมากขึ้นในระหว่างการชาร์จและคายประจุ

2.3.1.6 การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง (High Temperature Environment) การใช้งานหรือเก็บแบตเตอรี่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงทำให้เกิดความร้อนสะสมเนื่องจากแบตเตอรี่ไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ทนทานต่ออุณหภูมิสูง

2.3.1.7 ปฏิกิริยาเคมีภายใน (Internal Chemical Reactions) ปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการชาร์จและคายประจุทำให้เกิดความร้อน การเคลื่อนที่ของไอออนลิเทียมและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่ทำให้เกิดความร้อน

2.3.2 การจัดการและลดความร้อนในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.3.2.1 การควบคุมอัตราการชาร์จและคายประจุ (Control Charging and Discharging Rates) ใช้การชาร์จและคายประจุในอัตราที่เหมาะสมเพื่อลดความร้อนสะสม

2.3.2.2 การระบายความร้อน (Heat Dissipation) การออกแบบระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ เช่น การใช้วัสดุนำความร้อนและพัดลมระบายความร้อน

2.3.2.3 การตรวจสอบความต้านทานภายใน (Monitoring Internal Resistance) การตรวจสอบและบำรุงรักษาแบตเตอรี่เพื่อให้ความต้านทานภายในอยู่ในระดับต่ำ

2.3.2.4 การป้องกันการลัดวงจร (Short Circuit Protection) ใช้ระบบป้องกันการลัดวงจรและการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดความร้อนสูง

2.3.2.5 การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (Suitable Environment) หลีกเลี่ยงการใช้งานหรือเก็บแบตเตอรี่ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง

การจัดการและลดความร้อนในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการใช้งาน

2.4 ค่า SOC, DOD ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

SOC (State of Charge) และ DOD (Depth of Discharge) เป็นค่าวัดสำคัญที่ใช้ในการประเมินสถานะและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยทั่วไปอายุการใช้งานที่ถือว่าสิ้นสุดของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน หมายถึง ค่าความจุของแบตเตอรี่ลดลง 20% ถึง 30% ของค่าความจุเริ่มต้น ซึ่งอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยนี้

2.4.1 SOC (State of Charge)

State of Charge (SOC) คือค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่เมื่อเปรียบเทียบกับความจุสูงสุด โดยปกติจะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์

2.4.1.1 สูตรในการคำนวณ SOC สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$SOC(\%) = \left(\frac{\text{ความจุปัจจุบัน (Current Capacity)}}{\text{ความจุสูงสุด (Maximum Capacity)}} \right) \times 100 \quad (2-11)$$

2.4.1.1 การใช้งาน SOC

2.4.1.1.1 ใช้ในการตรวจสอบระดับพลังงานที่เหลืออยู่ของแบตเตอรี่

2.4.1.1.2 ใช้ในการควบคุมและการจัดการพลังงานในระบบต่าง ๆ เช่น รถยนต์ไฟฟ้า สมาร์ทโฟน และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

2.4.1.1.3 ใช้ในการประเมินอายุการใช้งานและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่

2.4.2 DOD (Depth of Discharge)

Depth of Discharge (DOD) คือค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ไปจากแบตเตอรี่เมื่อเปรียบเทียบกับความจุสูงสุด โดยปกติจะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์

2.4.2.1 สูตรในการคำนวณ DOD สามารถคำนวณได้จากสมการ

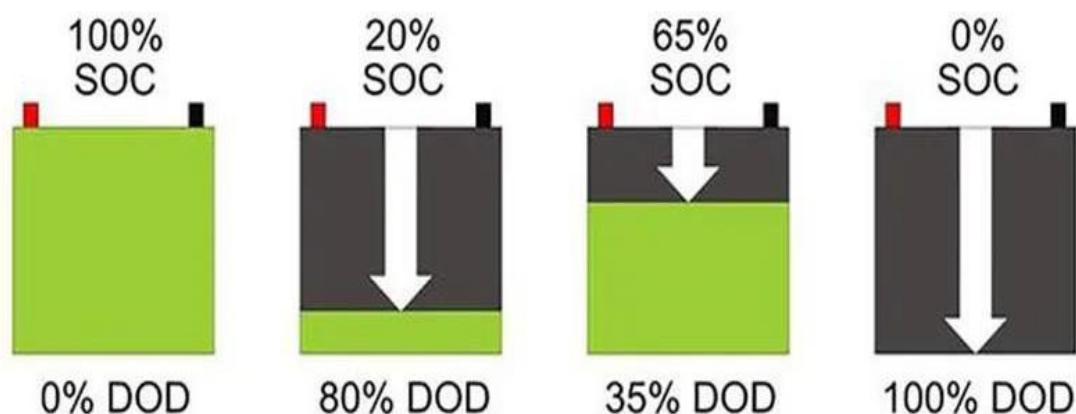
$$DOD(\%) = \left(\frac{\text{ความจุที่ใช้ไป (Used Capacity)}}{\text{ความจุสูงสุด (Maximum Capacity)}} \right) \times 100 \quad (2-12)$$

2.4.1.2 การใช้งาน DOD

2.4.1.2.1 ใช้ในการวัดการใช้งานของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาหนึ่ง

2.4.1.2.2 ใช้ในการคาดการณ์อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เนื่องจากการคายประจุเต็มรอบ (Full Cycle) จะทำให้อายุการใช้งานลดลง

2.4.1.2.3 ใช้ในการจัดการการชาร์จและการคายประจุเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่



ภาพที่ 2-6 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง SOC และ DOD [9]

2.5 กระแส ความต้านทาน และแรงดันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.5.1 กระแสไฟฟ้า (Current)

กระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นปริมาณของการไหลของประจุไฟฟ้าผ่านวงจร ซึ่งมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere, A) หรือมิลลิแอมแปร์ (Milliampere, mA)

2.5.1.1 กระแสชาร์จ (Charging Current) คือกระแสที่ไหลเข้าไปในแบตเตอรี่ระหว่างการชาร์จ

2.5.1.2 กระแสคายประจุ (Discharging Current) คือกระแสที่ไหลออกจากแบตเตอรี่เมื่อใช้งาน

2.5.1.3 C-rate เป็นการวัดอัตรากระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถรับหรือส่งได้เมื่อเปรียบเทียบกับความจุของมัน เช่น 1C หมายถึงการชาร์จหรือคายประจุด้วยกระแสที่เท่ากับ ความจุของแบตเตอรี่ ถ้าแบตเตอรี่มีความจุ 2000 mAh, 1C จะเท่ากับ 2000 mA หรือ 2 A

2.5.2 ความต้านทานภายใน (Internal Resistance)

ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนคือความต้านทานที่ประจุไฟฟ้าต้องผ่านภายในแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohm, Ω)

2.5.2.1 ผลของความต้านทานภายใน

2.5.2.1.1 ความต้านทานภายในสูงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปแบบของความร้อน

2.5.2.1.2 ส่งผลให้แรงดันที่เอาต์พุตลดลงเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านวงจร

2.5.2.1.3 เพิ่มความร้อนสะสมภายในแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น

2.5.3 แรงดันไฟฟ้า (Voltage)

แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนคือความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt, V)

2.5.3.1 แรงดันที่กำหนด (Nominal Voltage) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนทั่วไปมีแรงดันที่กำหนดอยู่ที่ประมาณ 3.6-3.7 V ต่อเซลล์

2.5.3.2 แรงดันสูงสุด (Maximum Voltage) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจะชาร์จได้ถึงแรงดันสูงสุดที่ประมาณ 4.2 V ต่อเซลล์

2.5.3.3 แรงดันต่ำสุด (Cut-off Voltage) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนไม่ควรคายประจุจนแรงดันต่ำกว่า 2.5-3.0 V ต่อเซลล์เพื่อป้องกันการเสียหาย

2.5.4 การใช้งานและผลกระทบ

2.5.4.1 การจัดการพลังงาน (Energy Management) การควบคุมกระแสชาร์จและคายประจุ, ความต้านทานภายใน, และแรงดันของแบตเตอรี่เป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2.5.4.2 ความปลอดภัย (Safety) การป้องกันการชาร์จเกินและการคายประจุเกิน, การระบายความร้อน และการควบคุมแรงดันเป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันการระเบิดหรือไฟไหม้ของแบตเตอรี่

2.6 ทฤษฎีการชาร์จและดิสชาร์จลิเทียมไอออน

ทฤษฎีการชาร์จและดิสชาร์จ (Charge and Discharge Theory) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของไอออนลิเทียม (Li^+) ระหว่างขั้วบวก (Cathode) และขั้วลบ (Anode) ผ่านอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในทั้งสองทิศทางขึ้นอยู่กับกำลังชาร์จหรือดิสชาร์จแบตเตอรี่

2.6.1 ทฤษฎีการชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Charging Theory)

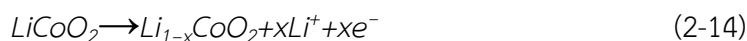
2.6.1.1 การชาร์จ (Charging) เมื่อแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนถูกชาร์จ กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งเข้าสู่แบตเตอรี่ ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วลบ (Anode) และปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วบวก (Cathode)

2.6.1.2 กระบวนการเคมี (Chemical Processes)

ขั้วลบ (Anode): ลิเทียมไอออน (Li^+) ถูกแทรกเข้าไปในโครงสร้างของกราไฟท์ (Graphite) โดยปฏิกิริยาเคมีจะเป็น



ขั้วบวก (Cathode): ลิเทียมไอออนจะถูกดึงออกจากโครงสร้างของวัสดุ เช่น LiCoO_2 และจะปล่อยอิเล็กตรอน (e^-) ผ่านวงจรภายนอก:



2.6.1.2 ขั้นตอนการชาร์จ (Charging Stages)

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

2.6.1.2.2 Constant Voltage (CV) Stage: เมื่อแรงดันถึงค่าที่กำหนด กระแสจะถูกลดลงและแรงดันจะคงที่จนกระทั่งกระแสชาร์จลดลงถึงระดับที่ปลอดภัย

2.6.2 ทฤษฎีการดิสชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Discharging Theory)

2.6.2.1 การดิสชาร์จ (Discharging) เมื่อแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนถูกใช้งาน (ดิสชาร์จ) ไฟฟ้าจะถูกส่งออกจากแบตเตอรี่ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วลบและปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วบวก

2.6.2.2 กระบวนการเคมี (Chemical Processes)

ขั้วลบ (Anode): ลิเทียมไอออนจะถูกปล่อยออกจากโครงสร้างของกราไฟท์และจะปล่อยอิเล็กตรอน



ขั้วบวก (Cathode): ลิเทียมไอออนจะถูกแทรกเข้าไปในโครงสร้างของวัสดุเช่น LiCoO_2



2.6.2.3 ขั้นตอนการดิสชาร์จ (Discharging Stages)

2.6.2.3.1 ในขั้นตอนการดิสชาร์จ กระแสจะถูกดึงออกจากแบตเตอรี่โดยที่แรงดันจะลดลงตามระยะเวลาการใช้งาน จนกระทั่งแรงดันถึงค่าต่ำสุดที่กำหนด (ประมาณ 2.5-3.0 V ต่อเซลล์)

2.7 ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

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

2.7.1 สาเหตุของความร้อนในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.7.1.1 ปฏิกิริยาเคมีภายใน (Internal Chemical Reactions) ในระหว่างการชาร์จและการคายประจุ แบตเตอรี่จะมีการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ ปฏิกิริยาเหล่านี้สามารถสร้างความร้อนขึ้นมาได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีการชาร์จหรือคายประจุอย่างรวดเร็ว

2.7.1.2 ความต้านทานภายใน (Internal Resistance) ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะทำให้เกิดความร้อนเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ความต้านทานภายในอาจเพิ่มขึ้นเมื่อแบตเตอรี่เสื่อมสภาพหรือมีการใช้งานหนัก

2.7.1.3 การลัดวงจร (Short Circuit) การลัดวงจรภายในแบตเตอรี่เกิดจากการที่ขั้วบวกและขั้วลบสัมผัสกันโดยตรง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสูงและความร้อนขึ้นมาก ซึ่งอาจทำให้แบตเตอรี่เกิดการลุกไหม้หรือระเบิดได้

2.7.1.4 การชาร์จและคายประจุอย่างรวดเร็ว (Rapid Charging and Discharging) จะทำให้เกิดความร้อนมากกว่าการชาร์จหรือคายประจุอย่างช้า ๆ

2.7.2 ผลกระทบของความร้อนในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.7.2.1 การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ (Battery Degradation) ความร้อนสามารถเร่งการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้นลง ความร้อนยังสามารถทำลายโครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ ทำให้เกิดปัญหาทางเคมีและไฟฟ้า

2.7.2.2 ความเสี่ยงต่อความปลอดภัย (Safety Risks) ความร้อนที่สูงเกินไปสามารถทำให้เกิดการลุกไหม้หรือระเบิด ซึ่งเป็นปัญหาที่อันตรายอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในกรณีที่แบตเตอรี่ถูกใช้งานในอุปกรณ์ที่มีการระบายความร้อนไม่เพียงพอ

2.7.2.3 ลดประสิทธิภาพการทำงาน (Reduced Performance) ความร้อนสูงสามารถลดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ทำให้ความจุไฟฟ้าลดลงและแบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างเต็มที่

2.7.3 การจัดการความร้อนในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.7.3.1 การระบายความร้อน (Thermal Management) การออกแบบระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ เช่น การใช้วัสดุที่นำความร้อนได้ดี, การใช้พัดลมหรือระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว

2.7.3.2 การควบคุมการชาร์จและคายประจุ (Charge and Discharge Control) การควบคุมกระแสไฟฟ้าในการชาร์จและคายประจุเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนมากเกินไป รวมถึงการใช้เทคโนโลยีการชาร์จแบบช้า ๆ

2.7.3.3 การตรวจสอบและควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Monitoring and Control) การใช้เซ็นเซอร์ตรวจสอบอุณหภูมิและระบบควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป

2.7.3.4 การออกแบบแบตเตอรี่ที่ทนทานต่อความร้อน (Heat-Resistant Battery Design) การพัฒนาแบตเตอรี่ที่มีความทนทานต่อความร้อนและมีความสามารถในการจัดการความร้อนที่ดี

ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นปัญหาที่สำคัญที่ต้องการการจัดการและการควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อรักษาความปลอดภัยและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในระยะยาว

2.8 เทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ โดยหลักการการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลอาศัยปรากฏการณ์ซีเบ็ค (Seebeck Effect) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเชื่อมต่อโลหะสองชนิดที่ต่างกันเข้าด้วยกันและมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างจุดเชื่อมต่อสองจุด ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดเล็กในวงจร

2.8.1 หลักการทำงาน

เมื่อโลหะสองชนิดที่แตกต่างกันถูกเชื่อมต่อกันที่ปลายหนึ่ง (เรียกว่า จุดเชื่อมร้อนหรือ Hot Junction) และปลายอื่นๆ ถูกเชื่อมต่อที่จุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน (เรียกว่า จุดเชื่อมเย็นหรือ Cold Junction) จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดเล็กที่เรียกว่า แรงดันเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Voltage) แรงดันนี้จะแปรผันตามอุณหภูมิและสามารถวัดได้เพื่อนำไปคำนวณอุณหภูมิที่ต้องการวัด

2.8.2 ประเภทของเทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิลมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำ ข้อกำหนด และช่วงอุณหภูมิที่สามารถวัดได้ โดยแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ประเภทหลัก ๆ ได้แก่

2.8.2.1 เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Type K)

- วัสดุ: โครเมิล (Chromel) และอลูเมล (Alumel)
- ช่วงอุณหภูมิ: -200°C ถึง $1,372^{\circ}\text{C}$
- ข้อดี: ราคาถูก ทนทาน และมีความเสถียร

2.8.2.2 เทอร์โมคัปเปิลชนิด J (Type J)

- วัสดุ: ไอร์ออน (Iron) และคอนสแตนแทน (Constantan)
- ช่วงอุณหภูมิ: -40°C ถึง 750°C
- ข้อดี: ราคาถูก แต่มีช่วงการวัดที่จำกัดและไม่ทนทานเท่าชนิด K

2.8.2.3 เทอร์โมคัปเปิลชนิด T (Type T)

- วัสดุ: คอปเปอร์ (Copper) และคอนสแตนแทน (Constantan)
- ช่วงอุณหภูมิ: -200°C ถึง 350°C
- ข้อดี: มีความแม่นยำสูงที่อุณหภูมิต่ำ

2.8.2.4 เทอร์โมคัปเปิลชนิด E (Type E)

- วัสดุ: โครเมิล (Chromel) และคอนสแตนแทน (Constantan)
- ช่วงอุณหภูมิ: -200°C ถึง 900°C
- ข้อดี: มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าเทอร์โมคัปเปิลชนิดอื่น ๆ ที่อุณหภูมิต่ำ

2.8.2.5 เทอร์โมคัปเปิลชนิด S, R, B (Type S, R, B)

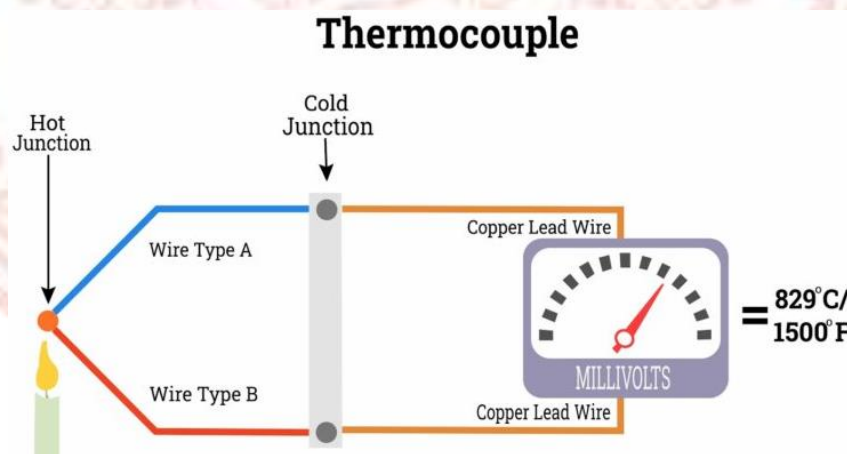
- วัสดุ: แพลทินัม (Platinum) และโรเดียม (Rhodium)
- ช่วงอุณหภูมิ: ประมาณ 0°C ถึง $1,700^{\circ}\text{C}$ (ชนิด S), 0°C ถึง $1,760^{\circ}\text{C}$ (ชนิด R), และ 0°C ถึง $1,820^{\circ}\text{C}$ (ชนิด B)
- ข้อดี: ความแม่นยำสูง เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิสูง

2.8.3 ข้อดีของเทอร์โมคัปเปิล

- 2.8.3.1 สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วงกว้างมาก ตั้งแต่อุณหภูมิต่ำถึงอุณหภูมิสูง
- 2.8.3.2 ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรง เช่น การสั่นสะเทือนและการช็อก
- 2.8.3.3 ราคาถูกเมื่อเทียบกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิอื่น ๆ

2.8.4 ข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิล

- 2.8.4.1 ความแม่นยำต่ำกว่าอาร์ทีดี (RTD) และเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบอื่น ๆ ในบางช่วงอุณหภูมิ
- 2.8.4.2 ต้องการการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอเพื่อรักษาความแม่นยำในการวัด



ภาพที่ 2-7 หลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล [10]

2.9 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger)

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



ภาพที่ 2-8 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ [10]

2.10 เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester)

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



ภาพที่ 2-9 Battery Tester

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพล บุญไสย์ และคณะ (2565) ได้ศึกษาเรื่อง พฤติกรรมความร้อน, อุณหภูมิ, และประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายใต้สภาวะอุณหภูมิแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง ผลการวิจัยพบว่า เมื่อทำการอัดประจุของแบตเตอรี่ในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จะพบว่าเวลาที่ใช้ในการอัดประจุของแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิสูงจะน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิสภาพแวดล้อม ส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น รวมถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่มากขึ้นซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพพลังงานของแบตเตอรี่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงขึ้นตามลำดับ ดังนั้นแบตเตอรี่ที่อยู่ในอุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูง จึงสามารถอัดประจุของแบตเตอรี่เต็มได้เร็วและมีประสิทธิภาพพลังงานของแบตเตอรี่มากกว่าแบตเตอรี่ที่อยู่ในอุณหภูมิสภาพแวดล้อมต่ำ

สรารุณี สิริเกษมสุข และคณะ (2564) ได้ศึกษาเรื่อง การทบทวนเทคนิคและวิธีการในการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมในรถยนต์ไฟฟ้า ศึกษาเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการจัดการความร้อนในแบตเตอรี่ เช่น การทำความเย็นด้วยอากาศ (air cooling), ระบบทำความเย็นด้วยของเหลว (liquid cooling), และเทคนิคการใช้วัสดุกระจายความร้อน ผลการศึกษาพบว่า การควบคุมอุณหภูมิในแบตเตอรี่เป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ระบบทำความเย็นด้วยของเหลว (liquid cooling) ถือว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดในการรักษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่ โดยสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่และลดความเสี่ยงจากความร้อนสูงได้และการเลือกวัสดุที่มีความสามารถในการกระจายความร้อนดี เช่น วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง (เช่น คาร์บอน) สามารถช่วยให้การระบายความร้อนทำได้ดียิ่งขึ้น

Li, Y., Chen และคณะ (2562) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการพักระหว่างการชาร์จและปล่อยประจุของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน ขนาดใหญ่ และผลกระทบต่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ โดยใช้การวิเคราะห์ทั้งทางทฤษฎีและการทดลองเพื่อหาช่วงเวลาพักที่เหมาะสมที่ทำให้แบตเตอรี่ถึงสมดุลทางความร้อนโดยใช้แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนขนาด 20Ah (LiFePO₄ cathode และ graphite anode) การทดสอบได้ทำในห้องทดสอบที่ควบคุมอุณหภูมิ โดยเปลี่ยนสภาวะอุณหภูมิ (จาก -20°C ถึง 55°C) และอัตราการชาร์จ/ปล่อยประจุต่างๆ (C/2, 1C, 2C, 3C) ใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) วัดอุณหภูมิในจุดต่างๆ บนแบตเตอรี่เพื่อสังเกตการกระจายตัวของอุณหภูมิ ผลการศึกษาสรุปได้ว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและค่า C-rate มีผลต่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ในการชาร์จและดิสชาร์จ และช่วงเวลาการพักตัวของแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ในกรณีวิเคราะห์แบบ Lump parameter สุดท้ายคือสามารถยืนยันได้ว่าแบตเตอรี่เข้าสู่ช่วงสภาวะสมดุลทางความร้อนแล้วก็ต่อเมื่ออุณหภูมิพื้นผิวมีแนวโน้มที่จะคงที่

Barcellona, S และคณะ (2565) ได้ทำการศึกษาเรื่องผลกระทบของอายุที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของแบตเตอรี่ Li-ion ในฟังก์ชันของอุณหภูมิและ SOC เพื่อวิเคราะห์และทดสอบการเพิ่มขึ้นของความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ทำการประมาณค่าความต้านทานภายในโดยใช้ Galvanostatic EIS ในโดยความถี่ สำหรับสภาวะ SOC และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เซลล์แบตเตอรี่มีอายุภายใต้สภาวะคงที่สำหรับ SOC, อุณหภูมิ, และพิกัดกระแส โดยการใช้แบตเตอรี่เซลล์ชนิด Lithium Cobalt Oxide หรือ LCO ใช้ในการทดสอบ การทดสอบดำเนินการโดยการใช้ Booter 100A เชื่อมต่อกับ Potentiostat ที่ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม EC-LAB สายเคเบิล Ethernet ในการควบคุมและรักษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้คงที่ในระหว่างการทดสอบ ได้มีการเชื่อมต่อแผ่นเซลล์ Peltier แบบอนุกรมทั้งหมด 3 แผ่นไว้ใต้แบตเตอรี่ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ผลการทดลองความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นตามการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และที่อุณหภูมิสูงขึ้นการเคลื่อนตัวของไอออนที่ดีขึ้นจะช่วยถ่วงดุลการเสื่อมสภาพของอิเล็กโทรด

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยจะมีวิธีการดำเนินงานดังนี้

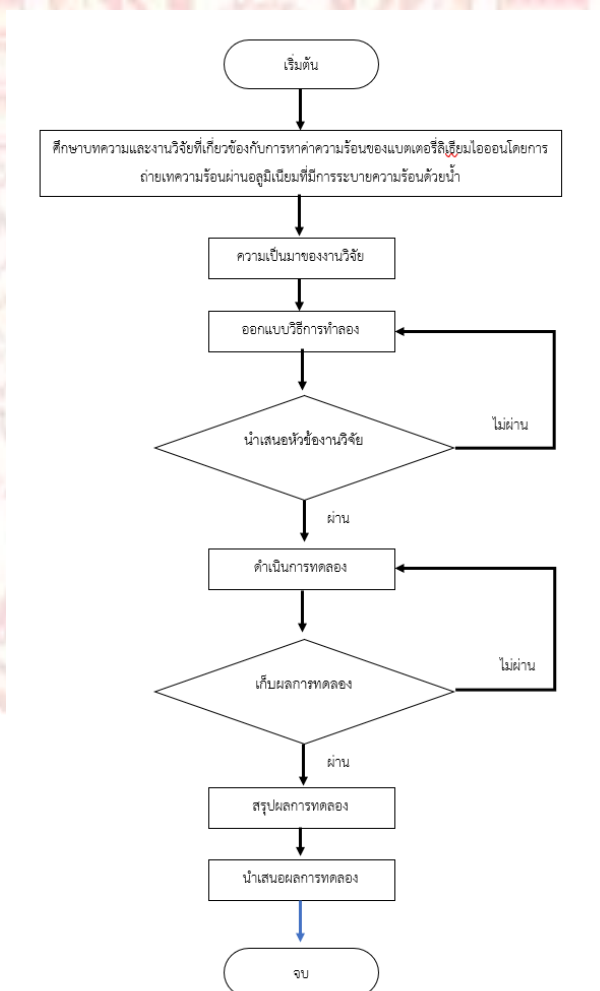
3.1 ศึกษาข้อมูล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.2 การออกแบบชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.4 ดำเนินการทดลอง และเก็บผล

3.1 ศึกษาข้อมูล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 3-1 แผนการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาข้อมูล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน รวมไปถึงการศึกษาหาข้อมูลการหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ การเกิดความร้อนที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ลิเทียมในปัจจัยต่างๆ โดยศึกษาจากการอ่านงานวิจัย หนังสือที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการหาข้อมูลในอินเทอร์เน็ต ที่มีความเกี่ยวข้องที่สามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

3.1.1 ออกแบบชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ด้วยโปรแกรมออกแบบทางวิศวกรรม ในการออกแบบและสร้างชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน จะใช้โปรแกรม SolidWorks 2021 ช่วยในการออกแบบ

3.1.2 ดำเนินการสร้างชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบด้วย ถังเก็บน้ำ ปั้มน้ำ ท่อน้ำ ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data logger) และเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ (Battery Tester)

3.1.3 ทดสอบการทำงานของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการทดสอบการทำงานของปั้มน้ำ และหาค่าความร้อนที่เกิดจากการทำงานของปั้มน้ำ

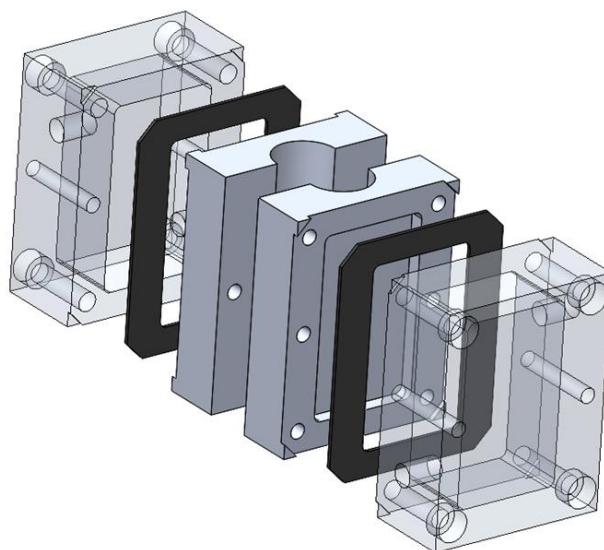
3.1.4 ดำเนินการทดลอง โดยการนำแบตเตอรี่ลิเทียม ประกอบเข้ากับชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน และดำเนินการทดลอง เพื่อหาค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการอัดประจุ และคายประจุ

3.1.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผล และสรุปผลการทดลองจากชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

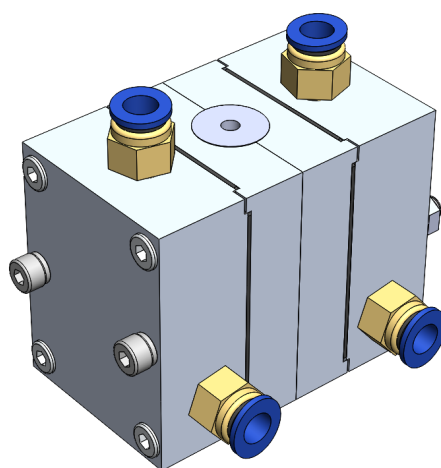
3.2 การออกแบบ และสร้างชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่

การออกแบบชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อทำการหาค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ โดยแบบชุดทดลองจะเริ่มใช้แบตเตอรี่ลิเทียม 1 ก้อน ขนาด 3.7V 3200mAh ประกอบเข้ากับชุดทดลอง เปิดการทำงานของปั้มน้ำ และรองอุณหภูมิในถังเก็บน้ำเริ่มต้นก่อนการทดลองที่ 28°C ปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำ 500 ml

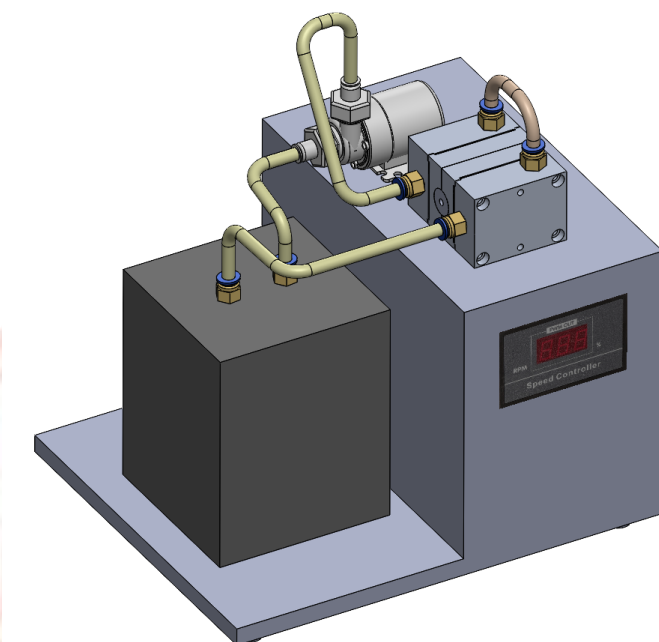
จากนั้นทำการทดสอบโดยเครื่อง Battery Tester เพื่อให้แบตเตอรี่เกิดความร้อน โดยใช้ Thermocouple type K ทำการวัดอุณหภูมิภายในช่องทางเข้า ทางออก และภายในถังเก็บน้ำ เพื่อทำการพล็อตกราฟ วิเคราะห์ผลการทดลอง และเปรียบเทียบผลการทดลอง



ภาพที่ 3-2 ส่วนประกอบที่ติดตั้งแบตเตอรี่ของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่
โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน



ภาพที่ 3.3 รูปแบบการติดตั้งแบตเตอรี่กับชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่
โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน



ภาพที่ 3-4 แบบจำลองชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน



ภาพที่ 3-5 ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเรื่อง ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

3.3.1 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ชนิด Lithium-ion ใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุไฟ (Charge) และการคายประจุ (Discharge)



ภาพที่ 3-6 แบตเตอรี่ชนิด Lithium-ion INR18650-320



ภาพที่ 3-7 แบตเตอรี่ชนิด Lithium-ion ยี่ห้อ Vapcell โมเดล F35

3.3.2 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger)

ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิและเก็บผลซึ่งผลที่ทำการบันทึกซึ่งจะทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ซึ่งผลที่ได้ออกมาจะอยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล และสามารถนำมาแปลงเปลี่ยนเป็นรูปแบบกราฟหรือตารางได้



ภาพที่ 3-8 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ Data logger ยี่ห้อ HIOKI รุ่น lr8431-20

3.3.3 เครื่องวัดแบตเตอรี่ (Battery Tester)

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



ภาพที่ 3-9 Battery Tester

3.3.4 เซ็นเซอร์อุณหภูมิ

เซ็นเซอร์อุณหภูมิใช้ในการเก็บค่าอุณหภูมิภายในท่อน้ำทางเข้า ทางออก และภายในถังเก็บน้ำ



ภาพที่ 3-10 Thermocouple type k

3.3.5. Nickle strip

ใช้ในการต่อขั้วแบตเตอรี่เพื่อใช้คิขั้วของเครื่องทดสอบแบตเตอรี่



ภาพที่ 3-11 Nickle strip

3.3.6 ปั๊มน้ำ

ปั๊มน้ำใช้ในการหมุนเวียนน้ำหรือของเหลวภายในระบบชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน



ภาพที่ 3-12 ปั๊มน้ำ

3.3.7 ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ปั้มน้ำเพื่อปรับการอัตราการไหลของน้ำภายในระบบให้เหมาะสม



ภาพที่ 3-13 ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

3.4 ดำเนินการทดลองและเก็บผล

ทำการทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมทั้งสองชนิด คือ INR18650-320 และ Vapcell model F35 โดยใช้ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งอุณหภูมิของน้ำในระบบต้องมีค่าอุณหภูมิก่อนเริ่มการทดลองอยู่ที่ 28°C ทดลองในสภาพแวดล้อมทั่วไป และทดลองกระบวนการประจุ (Charge) และคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 2 ชนิด ที่อัตรา 0.5C, 1C และ 1.5C ตามลำดับ และเปรียบเทียบผลกับการหาค่าความร้อนโดยใช้วิธี Thermostatic chamber จากนั้นจดบันทึกค่าและทำซ้ำ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.4.1 ทำการติดตั้งแบตเตอรี่กับชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

3.4.2 ต่อเครื่องวัดและบันทึกข้อมูล เข้ากับชุดทดลอง

3.4.3 เปิดการทำงานของปั้มน้ำ และตั้งค่าตามที่กำหนด

3.4.4 รออุณหภูมิของน้ำในระบบต้องมีค่าอุณหภูมิก่อนเริ่มการทดลองอยู่ที่ 28°C และเริ่มต้นการทดลอง

3.4.5 จดค่าบันทึกผลอุณหภูมิ แต่ละจุด ของระบบการจัดการความร้อนของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน แสดงดังภาพที่ 3-14

Time(s)	Discharge		C Rating	
	Ttank (°C)	Tin (°C)	Tout (°C)	Tmean (°C)

Time(s)	Charge		C Rating	
	Ttank (°C)	Tin (°C)	Tout (°C)	Tmean (°C)

ตารางที่ 3-1 ตารางบันทึกผล

โดย

Time	คือ	ช่วงระยะเวลาในการเก็บผลการทดลอง
Discharge	คือ	การคายประจุของแบตเตอรี่ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ
Charge	คือ	การอัดประจุของแบตเตอรี่ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ
C Rating	คือ	อัตราการการอัดประจุและคายประจุ
Ttank	คือ	อุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำ
Tin	คือ	อุณหภูมิภายในท่อน้ำทางเข้าถังเก็บน้ำ
Tout	คือ	อุณหภูมิภายในท่อน้ำทางออกถังเก็บน้ำ
Tmean	คือ	อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 จุด (Ttank, Tin, Tout)

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ในการศึกษาชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ในครั้งนี้เป็นการศึกษาที่มุ่งเน้นทดลองพิจารณาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดค่าความร้อนของแบตเตอรี่ และเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยควบคุมอุณหภูมิของน้ำในระบบไม่ให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาพแวดล้อมภายนอก ซึ่งอุณหภูมิของน้ำในระบบต้องมีค่าอุณหภูมิก่อนเริ่มการทดลองอยู่ที่ 28°C และทดลองกระบวนการประจุ (Charge) และคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 2 ชนิด ที่อัตรา 0.5C, 1C และ 1.5C ตามลำดับ และเปรียบเทียบผลกับการหาค่าความร้อนโดยใช้วิธี Thermostatic chamber ซึ่งผลทั้งหมดมีดังนี้

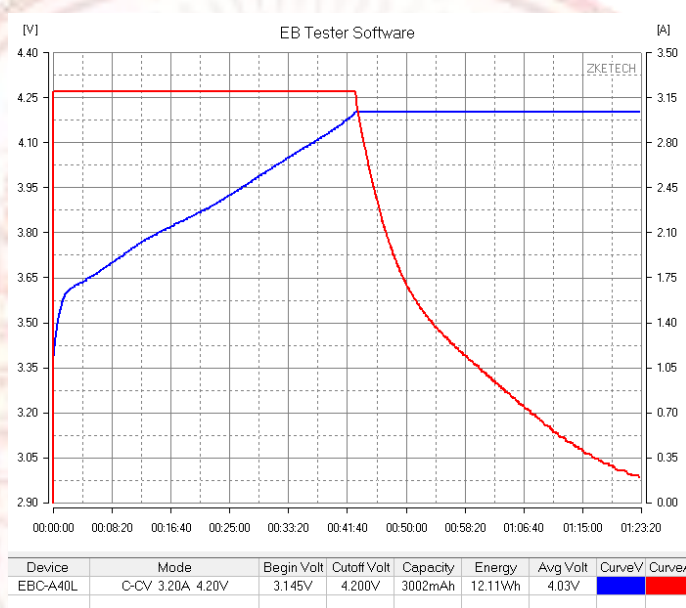
4.1 ดำเนินการทดลองและเก็บผลชุดทดลองการหาค่าความร้อนแบตเตอรี่

โดยการทดลองจะทำการทดลองภายในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิทั่วไป ซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิของน้ำในระบบก่อนเริ่มทดลองที่ 28°C และควบคุมการประจุและคายประจุที่ 0.5C, 1C และ 1.5C ตามลำดับ จากนั้นบันทึกค่าอุณหภูมิภายในท่อทางน้ำเข้า-ออก และถังเก็บน้ำภายในระบบ ของแต่ละช่วงเวลาทั้งขณะที่ประจุ และคายประจุ โดยจะทำการครบที่ 3 รูปแบบ และนำค่าในแต่ละรูปแบบมาพล็อตกราฟโดยจะมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

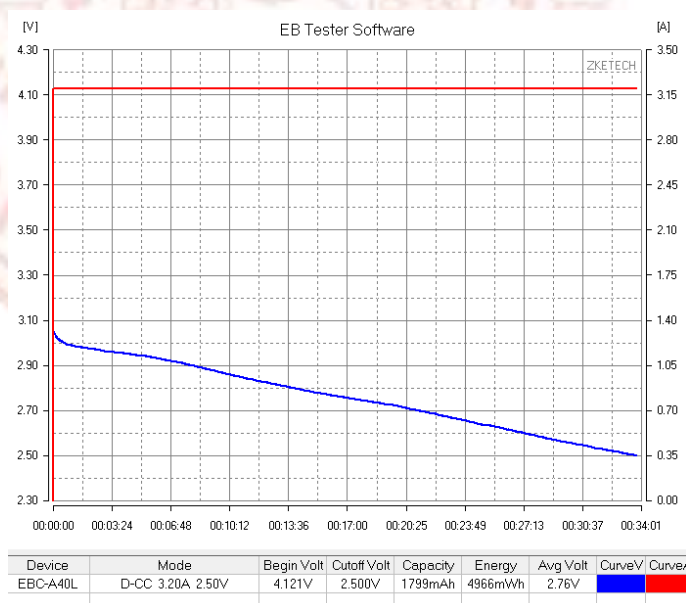
4.1.1 การดำเนินการทดลองหาค่าความร้อนรวมทั้งระบบ

1. นำแบตเตอรี่ประกอบเข้ากับชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง
2. นำสาย Thermocouple ที่ พ่วงมาจากเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิมาติดที่บริเวณท่อทางน้ำเข้า-ออก และถังเก็บน้ำภายในระบบ
3. คีบสายพ่วงจากเครื่อง Battery Tester เข้าที่ขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่
4. เสียบปลั๊กเครื่อง Battery Tester และเปิดเครื่อง
5. นำสาย USB ที่พ่วงกับ Battery Tester เข้ากับ Computer
6. ปิดโปรแกรม EB Tester Software
7. ตั้งค่ากระแสที่ใช้ประจุ และคายประจุ
8. เปิดปั้มน้ำภายในระบบ ตั้งอัตราการไหลของปั้มน้ำ และรอจนอุณหภูมิเริ่มทดลองที่ 28°C
9. กดเริ่มทำการทดลองที่เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิและ Computer พร้อมกัน
10. ค่าที่ได้จากโปรแกรมจะออกมาเป็นค่ากราฟที่บ่งบอกถึงค่าการประจุดังภาพที่ 4-1

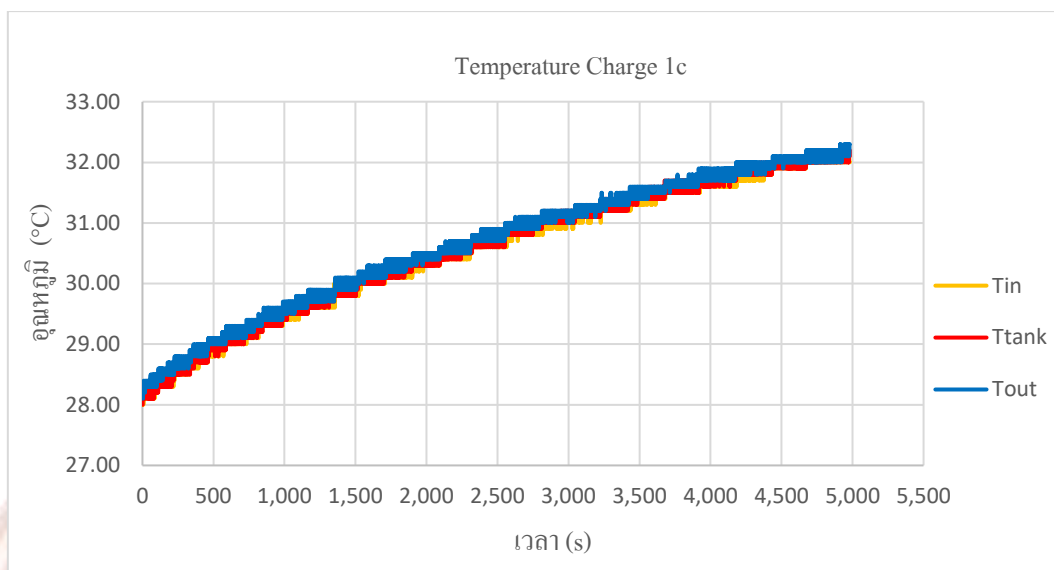
11. ค่าที่ได้จากโปรแกรมจะออกมาเป็นค่ากราฟที่บ่งบอกถึงค่าการคายประจุภาพที่ 4-2
12. นำค่าที่ได้จากเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิเข้าสู่ Computer และทำการคำนวณเพื่อหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่ขณะทำการทดลอง และบันทึกผล
13. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาพล็อตเป็นกราฟในโปรแกรม Microsoft excel ดังภาพที่ 4-3, 4-4



ภาพที่ 4-1 แสดงถึงกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะทำการอัดประจุ

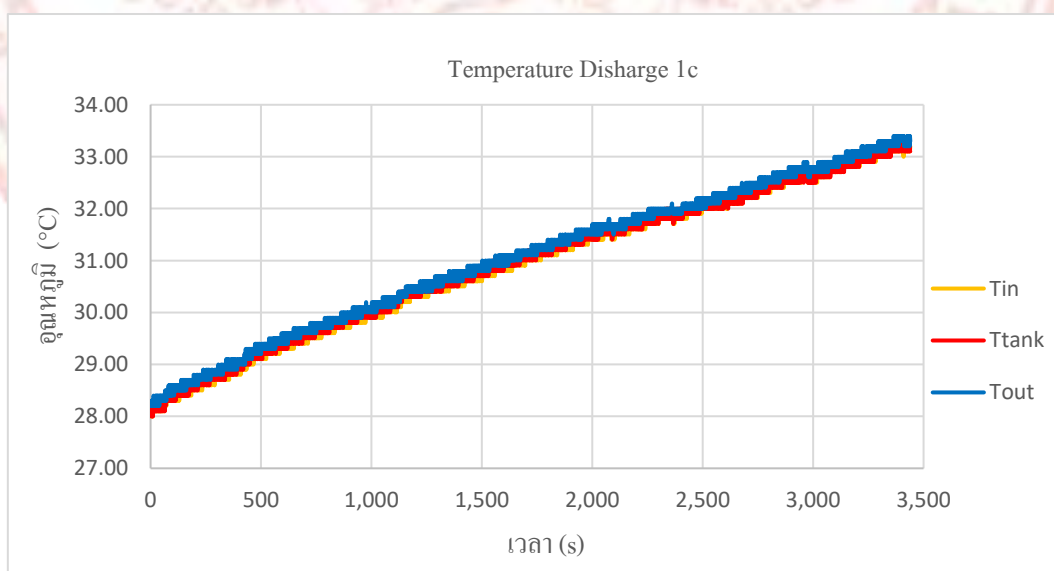


ภาพที่ 4-2 แสดงถึงกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะทำการคายประจุ



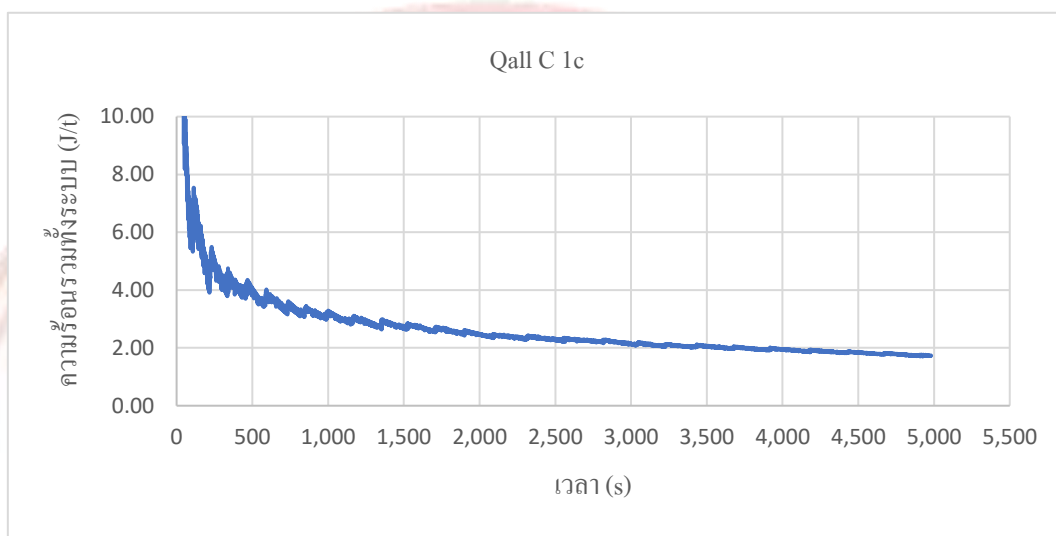
ภาพที่ 4-3 แสดงถึงอุณหภูมิภายในท่อทางน้ำเข้า-ออก และถังเก็บน้ำภายในระบบขณะทำการอัดประจุ

จากภาพผลของอุณหภูมิภายในท่อทางน้ำเข้า-ออก และถังเก็บน้ำภายในระบบขณะทำการอัดประจุ ที่อุณหภูมิน้ำในระบบเริ่มต้นที่ 28°C จะพบว่า อุณหภูมิของน้ำในระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเกิดจากความร้อนจากการอัดประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ และความร้อนที่เกิดขึ้นจะการทำงานของปั้มน้ำ



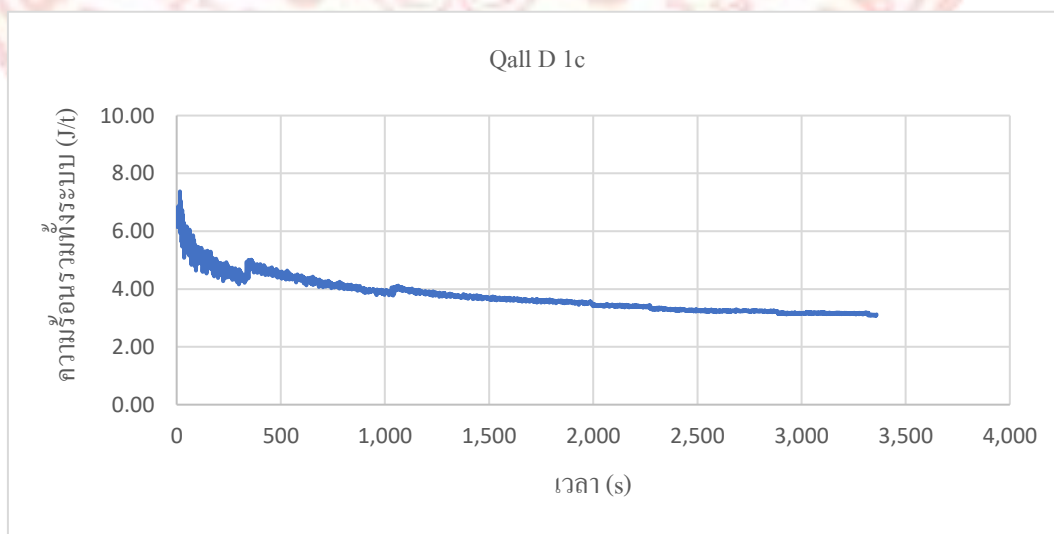
ภาพที่ 4-4 แสดงถึงอุณหภูมิภายในท่อทางน้ำเข้า-ออก และถังเก็บน้ำภายในระบบขณะทำการคายประจุ

จากภาพผลของอุณหภูมิภายในท่อทางน้ำเข้า-ออก และถังเก็บน้ำภายในระบบขณะทำการคายประจุ ที่อุณหภูมิน้ำในระบบเริ่มต้นที่ 28°C จะพบว่า อุณหภูมิของน้ำในระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเกิดจากความร้อนจากการคายประจุแบตเตอรี่ และความร้อนที่เกิดขึ้นจะการทำงานของปั้มน้ำ



ภาพที่ 4-5 แสดงถึงค่าความร้อนรวมทั้งระบบขณะทำการอัดประจุ

จากภาพผลของค่าความร้อนรวมทั้งระบบขณะทำการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ ซึ่งความร้อนเกิดขึ้นจากการประจุไฟเข้าแบตเตอรี่ และการทำงานของปั้มน้ำ จะพบว่าค่าความร้อนแบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามระยะเวลาเนื่องเป็นการประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ และค่าความร้อนรวมทั้งระบบจะตกลงเมื่อการประจุไฟเป็นการประจุแบบแรงดันคงที่

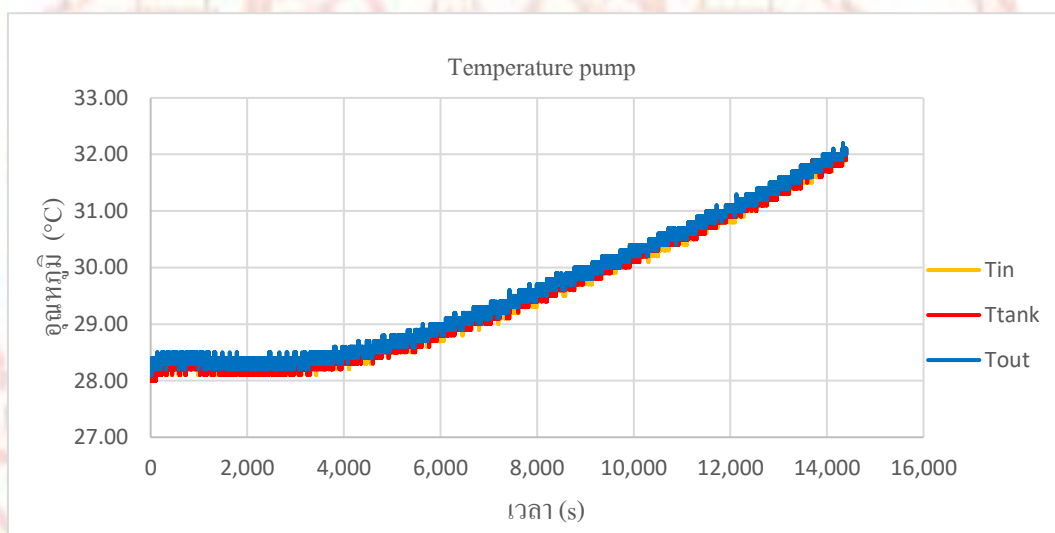


ภาพที่ 4-6 แสดงถึงค่าความร้อนรวมทั้งระบบขณะทำการคายประจุ

จากภาพผลของค่าความร้อนรวมทั้งระบบขณะทำการคายประจุแบตเตอรี่ ซึ่งความร้อนเกิดขึ้นจากการคายประจุแบตเตอรี่ และการทำงานของปั้มน้ำ จะพบว่าค่าความร้อนแบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านมา เนื่องจากการคายประจุโดยใช้กระแสไฟฟ้าคงที่

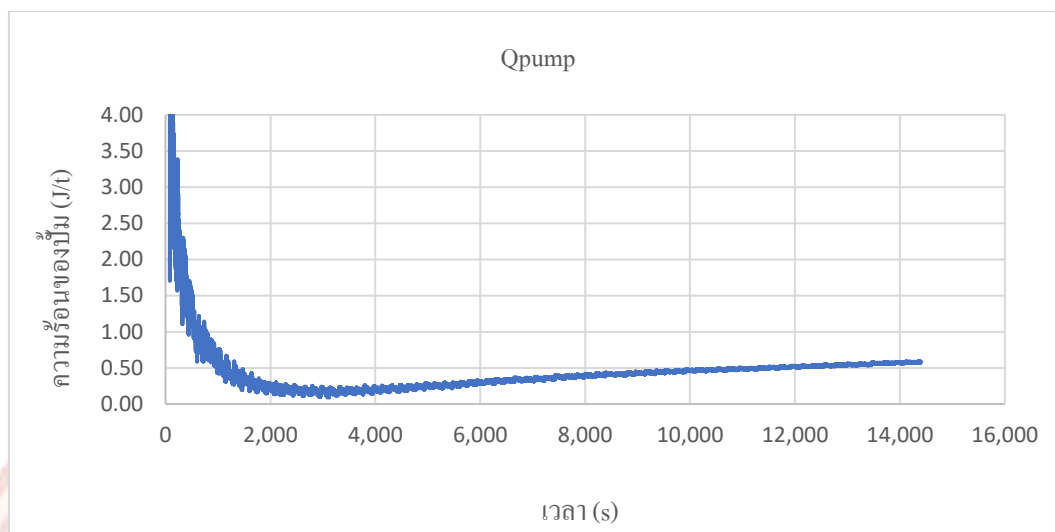
4.1.2 การดำเนินการทดลองหาค่าความร้อนที่เกิดจากปั้มน้ำ

1. เปิดปั้มน้ำภายในระบบ ตั้งอัตราการไหลของปั้มน้ำ และรอจนอุณหภูมิเริ่มลดลงที่ 28°C
2. กดเริ่มทำการทดลองที่เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ
3. นำค่าที่ได้จากเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิเข้าสู่ Computer และทำการคำนวณเพื่อหาค่าความร้อนของปั้มน้ำขณะทำการทดลอง และบันทึกผล
4. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาพล็อตเป็นกราฟในโปรแกรม Microsoft excel ดังภาพที่ 4-7 และ 4-8



ภาพที่ 4-7 แสดงถึงอุณหภูมิภายในท่อทางน้ำเข้า-ออก และถังเก็บน้ำภายในระบบ

จากภาพผลของอุณหภูมิภายในท่อทางน้ำเข้า-ออก และถังเก็บน้ำภายในระบบขณะทำการทดลองหาค่าความร้อนที่เกิดจากปั้มน้ำ โดยใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง จะพบว่า ช่วงเริ่มต้นอุณหภูมิภายในระบบคงที่ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการทำงานเพิ่มขึ้น

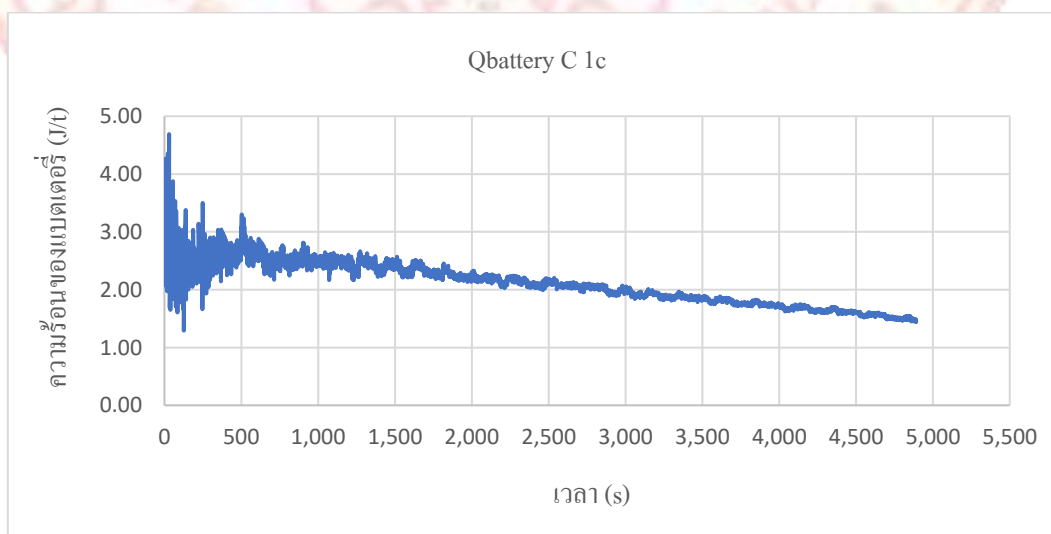


ภาพที่ 4-8 แสดงถึงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของปั๊มน้ำ

จากภาพผลของอุณหภูมิภายในท่อทางน้ำเข้า-ออก และถังเก็บน้ำภายในระบบขณะทำการทดลองหาค่าความร้อนที่เกิดจากปั๊มน้ำ โดยใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง จะพบว่า ช่วงเริ่มต้นอุณหภูมิภายในระบบคงที่ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการทำงานเพิ่มขึ้น

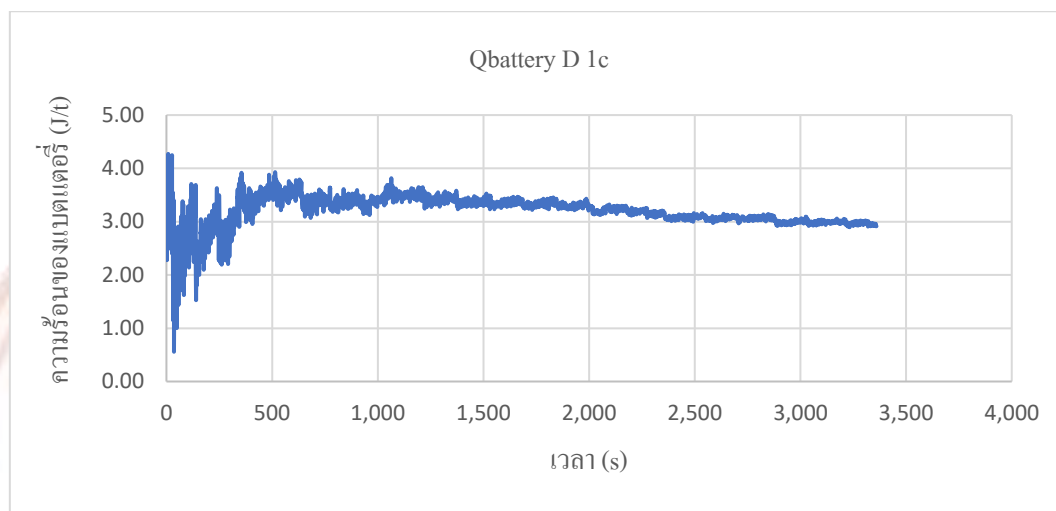
4.1.3 ค่าความร้อนของแบตเตอรี่

1. นำค่าที่ได้จากการทดลองหาค่าความร้อนรวมทั้งระบบ และค่าความร้อนที่เกิดจากปั๊มน้ำมาคำนวณหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่
2. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาพล็อตเป็นกราฟในโปรแกรม Microsoft excel ดังภาพที่ 4-9 และ 4-10



ภาพที่ 4-9 แสดงถึงค่าความร้อนของแบตเตอรี่ ขณะทำการอัดประจุ

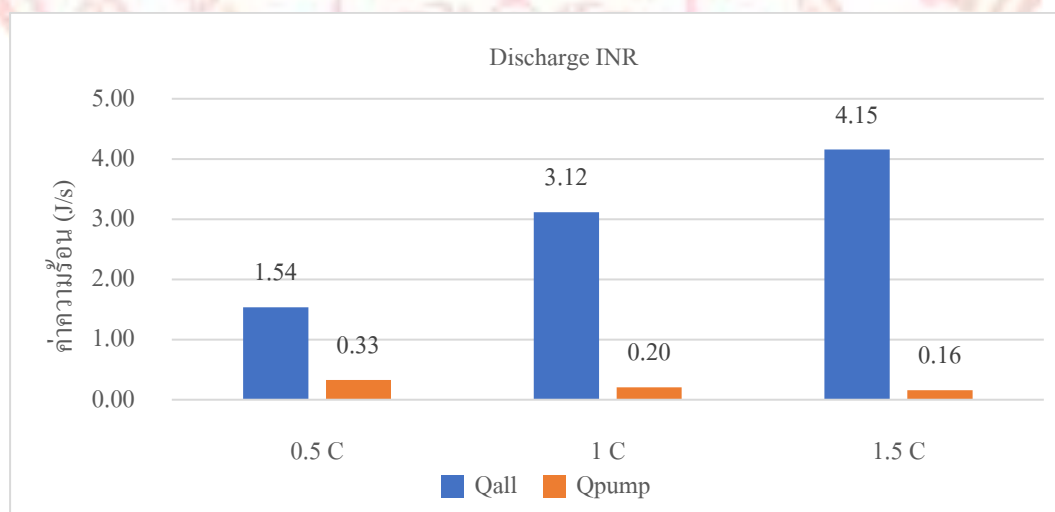
จากภาพผลของค่าความร้อนของแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ ซึ่งความร้อนเกิดขึ้นจากการประจุไฟเข้าแบตเตอรี่ จะพบว่าค่าความร้อนแบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามระยะเวลาเนื่องเป็นการประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ และค่าความร้อนรวมทั้งระบบจะตกลงเมื่อการประจุไฟเป็นการประจุแบบแรงดันคงที่



ภาพที่ 4-10 แสดงถึงค่าความร้อนของแบตเตอรี่ ขณะทำการคายประจุ

จากภาพผลของค่าความร้อนรวมทั้งระบบขณะทำการคายประจุแบตเตอรี่ ซึ่งความร้อนเกิดขึ้นจากการคายประจุแบตเตอรี่ จะพบว่าค่าความร้อนแบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นการคายประจุโดยใช้กระแสไฟฟ้าคงที่

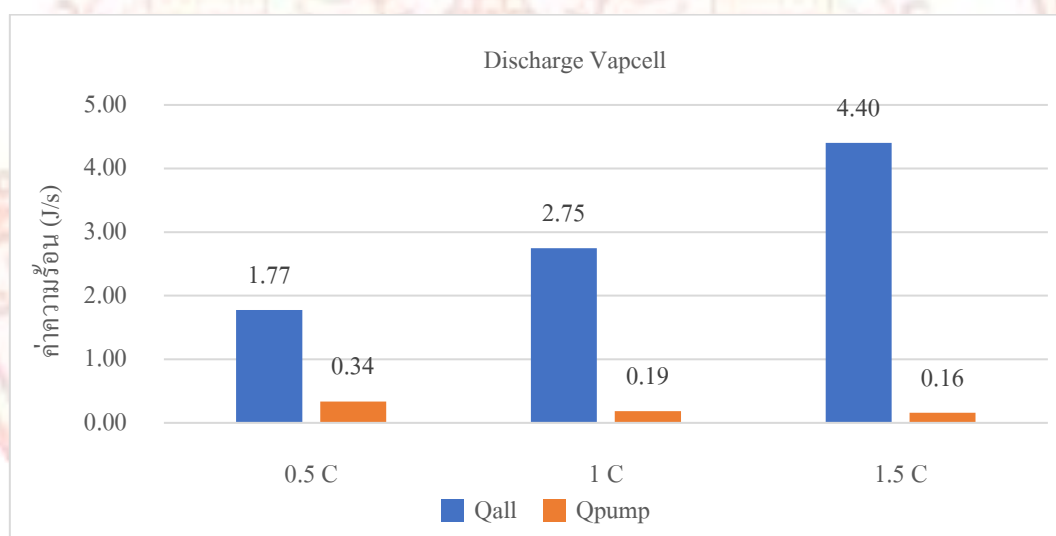
4.2 การเปรียบเทียบความร้อนรวมทั้งระบบและปั๊มในกระบวนการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320



ภาพที่ 4-11 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ที่อัตราการคายประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C

จากภาพเป็นการทดลองภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน $17\text{m}\Omega$ ในกระบวนการคายประจุ (Discharge) ที่ 0.5C , 1C และ 1.5C ที่อุณหภูมิน้ำในระบบเริ่มต้นที่ 28°C จากการทดลองพบว่าที่อัตราคายประจุ 0.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ (Q_{all}) เท่ากับ 1.54 J/s และค่าความร้อนจากปั๊ม (Q_{pump}) เท่ากับ 0.33 J/s ที่อัตราคายประจุ 1C : ค่าความร้อนรวมของระบบ (Q_{all}) เท่ากับ 3.12 J/s และค่าความร้อนจากปั๊ม (Q_{pump}) เท่ากับ 0.20 J/s และที่อัตราคายประจุ 1.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ (Q_{all}) เท่ากับ 4.15 J/s และค่าความร้อนจากปั๊ม (Q_{pump}) เท่ากับ 0.16 J/s ที่ความร้อนจากแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นตามอัตราคายประจุ 0.5C , 1C และ 1.5C แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่เมื่ออัตราคายประจุสูงขึ้น Q_{pump} (ความร้อนจากปั๊ม) มีค่าต่ำและแทบไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราคายประจุ

4.3 การเปรียบเทียบความร้อนทั้งระบบและปั๊มในกระบวนการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650

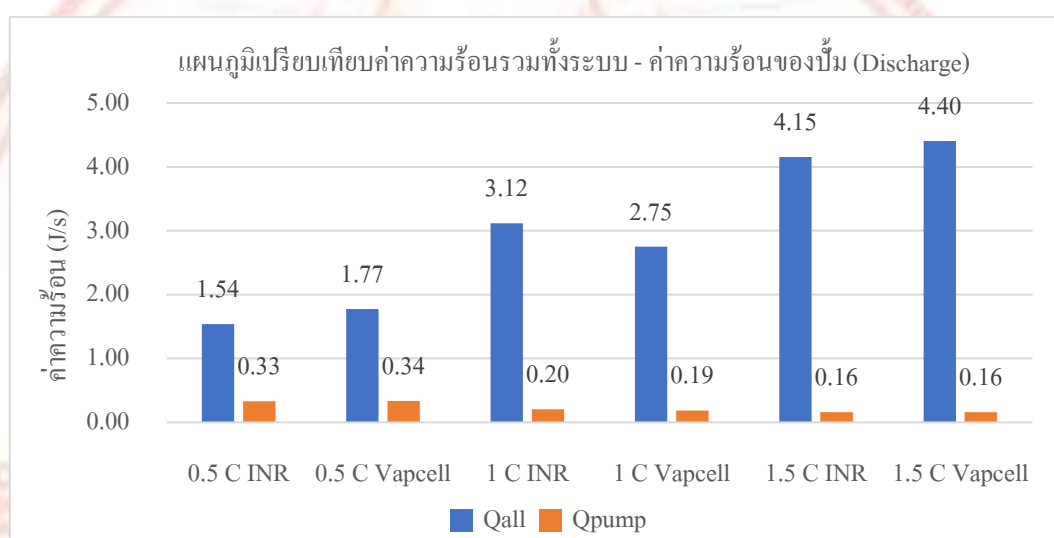


ภาพที่ 4-12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 ที่อัตราการคายประจุ 0.5C , 1C , และ 1.5C

จากภาพเป็นการทดลองภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน $26\text{m}\Omega$ ในกระบวนการคายประจุ (Discharge) ที่ 0.5C , 1C และ 1.5C ที่อุณหภูมิน้ำในระบบเริ่มต้นที่ 28°C จากการทดลองพบว่าที่อัตราคายประจุ 0.5C : ค่าความร้อนรวมของระบบ (Q_{all}) เท่ากับ 1.77 J/s และค่าความร้อนจากปั๊ม (Q_{pump}) เท่ากับ 0.34 J/s ที่อัตราคายประจุ 1C : ค่าความร้อนรวมของระบบ (Q_{all}) เท่ากับ 2.75 J/s และค่าความร้อนจากปั๊ม (Q_{pump}) เท่ากับ 0.19 J/s และที่อัตราคายประจุ 1.5C : ค่าความ

ร้อนรวมของระบบ (Q_{all}) เท่ากับ 4.40 J/s และค่าความร้อนจากปั๊ม (Q_{pump}) เท่ากับ 0.16 J/s ที่ความร้อนจากแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นตามอัตราการคายประจุ 0.5C, 1C และ 1.5C แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่เมื่ออัตราการคายประจุ สูงขึ้น Q_{pump} (ความร้อนจากปั๊ม) มีค่าต่ำและแทบไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการคายประจุ

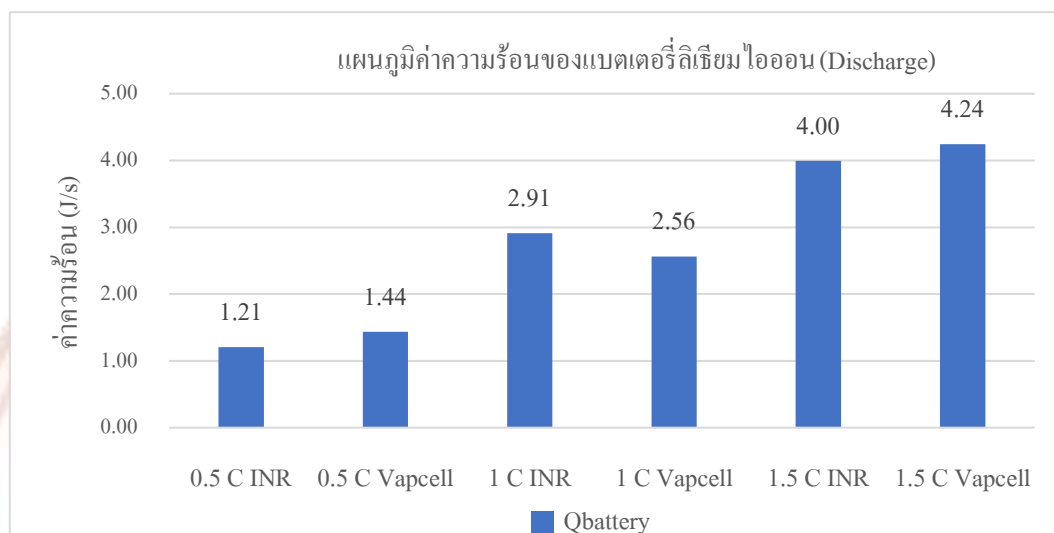
4.4 การเปรียบเทียบความร้อนรวมทั้งระบบและปั๊มในกระบวนการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320



ภาพที่ 4-13 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการคายประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และปั๊ม ที่อัตราการคายประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C

จากภาพเป็นผลการเปรียบเทียบระหว่างความร้อนรวมทั้งระบบและปั๊ม ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 ภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน 26mΩ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน 27mΩ และปั๊ม ในกระบวนการคายประจุ (Discharge) ที่ 0.5C, 1C และ 1.5C โดยทดลองที่อุณหภูมิน้ำในระบบเริ่มต้นที่ 28°C พบว่าค่าความร้อนรวมทั้งระบบ (Q_{all}) จะสูงขึ้นตามอัตราการคายประจุที่สูงขึ้น (0.5C, 1C, 1.5C) ในทั้งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 โดยที่อัตราการคายประจุ 0.5C และ 1.5C แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 จะปล่อยความร้อนมากกว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 และอัตราการคายประจุ 1C แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 จะปล่อยความร้อนมากกว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650

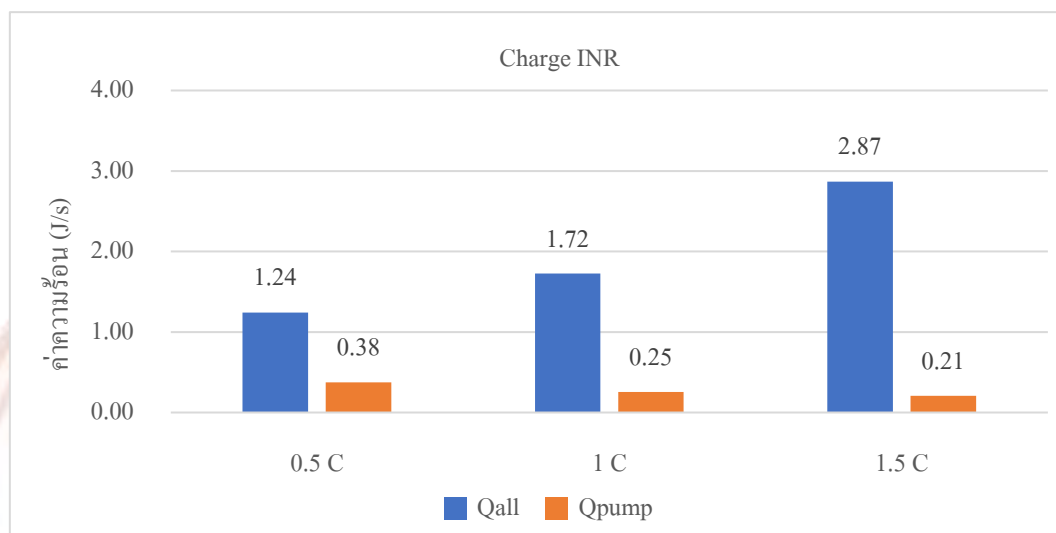
4.5 ค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Discharge)



ภาพที่ 4-14 แสดงค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Discharge) ที่อัตราการคายประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C

จากภาพเป็นผลค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 ภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน 26mΩ และ INR 18650-320 ภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน 17mΩ ในกระบวนการคายประจุ (Discharge) ที่อัตราการคายประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบบเริ่มต้นที่ 28°C พบว่าค่าความร้อนจากแบตเตอรี่ (Q_{battery}) จะสูงขึ้นตามอัตราการคายประจุที่สูงขึ้น (0.5C, 1C, 1.5C) ในทั้งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 โดยอัตราการคายประจุ 0.5C และ 1.5C แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 จะปล่อยความร้อนมากกว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 และอัตราการคายประจุ 1C แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 จะปล่อยความร้อนมากกว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650

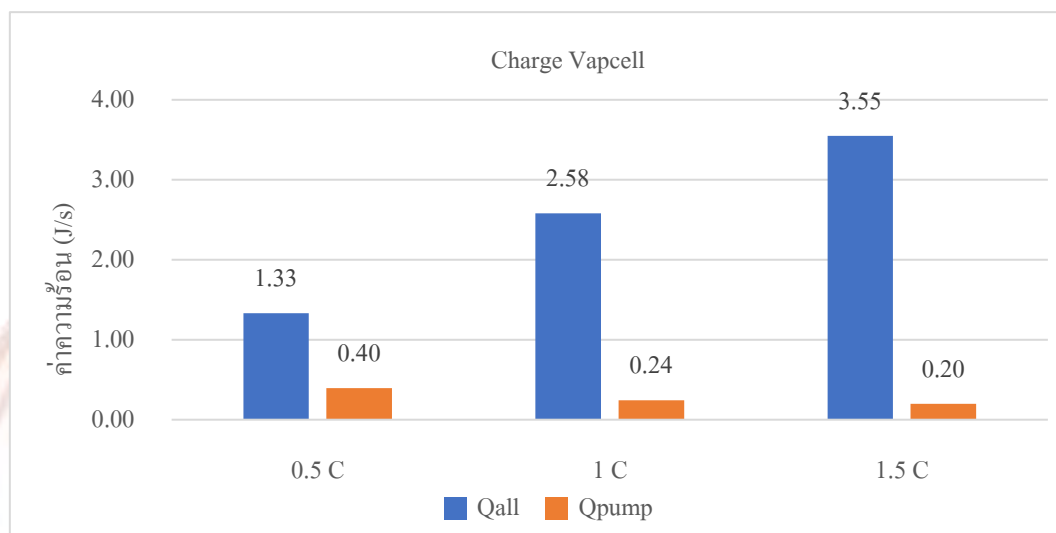
4.6 การเปรียบเทียบความร้อนรวมทั้งระบบและปั๊มในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320



ภาพที่ 4-15 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C

จากภาพเป็นการทดลองภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน $17\text{m}\Omega$ ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5C, 1C และ 1.5C ที่อุณหภูมิน้ำในระบบเริ่มต้นที่ 28°C จากการทดลองพบว่าที่อัตราการอัดประจุ 0.5C: ค่าความร้อนรวมของระบบ (Q_{all}) เท่ากับ 1.24 J/s และค่าความร้อนจากปั๊ม (Q_{pump}) เท่ากับ 0.38 J/s ที่อัตราการอัดประจุ 1C: ค่าความร้อนรวมของระบบ (Q_{all}) เท่ากับ 1.72 J/s และ ค่าความร้อนจากปั๊ม (Q_{pump}) เท่ากับ 0.25 J/s และที่อัตราการอัดประจุ 1.5C: ค่าความร้อนรวมของระบบ (Q_{all}) เท่ากับ 2.87 J/s และค่าความร้อนจากปั๊ม (Q_{pump}) เท่ากับ 0.21 J/s ที่ความร้อนจากแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นตามอัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C และ 1.5C แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่เมื่ออัตราการอัดประจุ สูงขึ้น Q_{pump} (ความร้อนจากปั๊ม) มีค่าต่ำและแทบไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการอัดประจุ

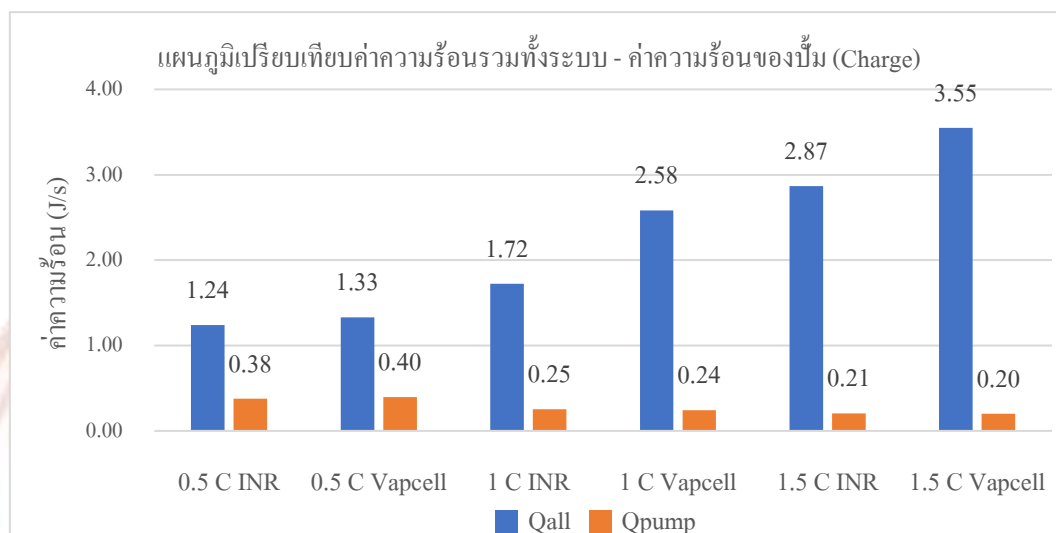
4.7 การเปรียบเทียบความร้อนรวมทั้งระบบและปั๊มในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650



ภาพที่ 4-16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C

จากภาพเป็นการทดลองภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน 26mΩ ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5C, 1C และ 1.5C ที่อุณหภูมิน้ำในระบบเริ่มต้นที่ 28°C จากการทดลองพบว่าที่อัตราการอัดประจุ 0.5C: ค่าความร้อนรวมของระบบ (Q_{all}) เท่ากับ 1.33 J/s และค่าความร้อนจากปั๊ม (Q_{pump}) เท่ากับ 0.40 J/s ที่อัตราการอัดประจุ 1C: ค่าความร้อนรวมของระบบ (Q_{all}) เท่ากับ 2.58 J/s และค่าความร้อนจากปั๊ม (Q_{pump}) เท่ากับ 0.24 J/s และที่อัตราการอัดประจุ 1.5C: ค่าความร้อนรวมของระบบ (Q_{all}) เท่ากับ 3.55 J/s และค่าความร้อนจากปั๊ม (Q_{pump}) เท่ากับ 0.20 J/s ที่ความร้อนจากแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นตามอัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C และ 1.5C แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่เมื่ออัตราการอัดประจุ สูงขึ้น Q_{pump} (ความร้อนจากปั๊ม) มีค่าต่ำและแทบไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการอัดประจุ

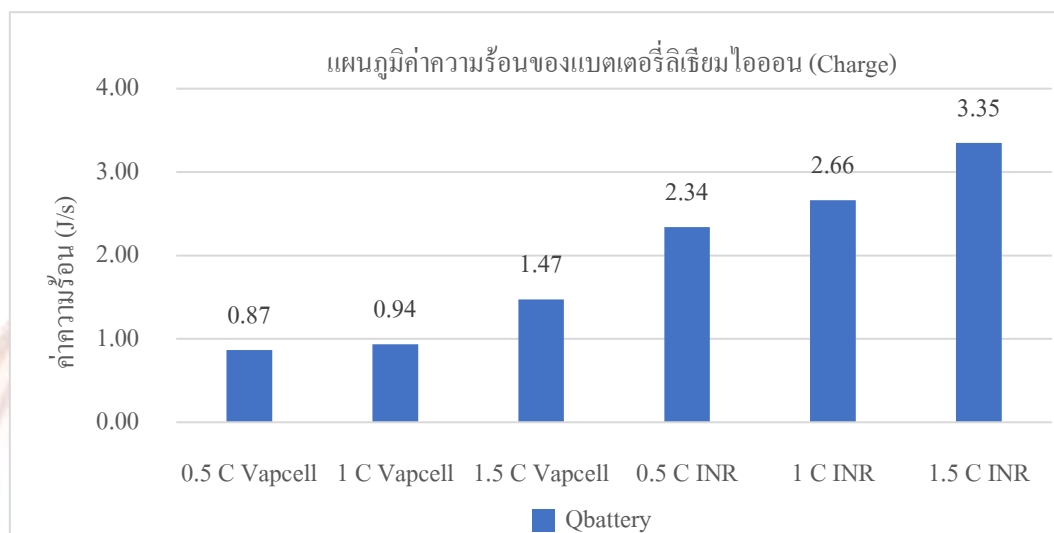
4.8 การเปรียบเทียบความร้อนรวมทั้งระบบและปั๊มในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ของ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320



ภาพที่ 4-17 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากปั๊ม ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C

จากภาพเป็นผลการเปรียบเทียบระหว่างความร้อนรวมทั้งระบบและปั๊ม ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 ภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน 26mΩ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน 17mΩ และปั๊ม ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5C, 1C และ 1.5C โดยทดลองที่อุณหภูมิในกระป๋องเริ่มต้นที่ 28°C พบว่าค่าความร้อนรวมทั้งระบบ (Q_{all}) จะสูงขึ้นตามอัตราการปล่อยประจุที่สูงขึ้น (0.5C, 1C, 1.5C) ในทั้งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 โดยที่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 จะปล่อยความร้อนมากกว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ในทุกอัตราการคายประจุ และค่าความร้อนที่เกิดจากปั๊ม (Q_{pump}) มีค่าใกล้เคียงกันตามอัตราการคายประจุ 0.5C, 1C และ 1.5C

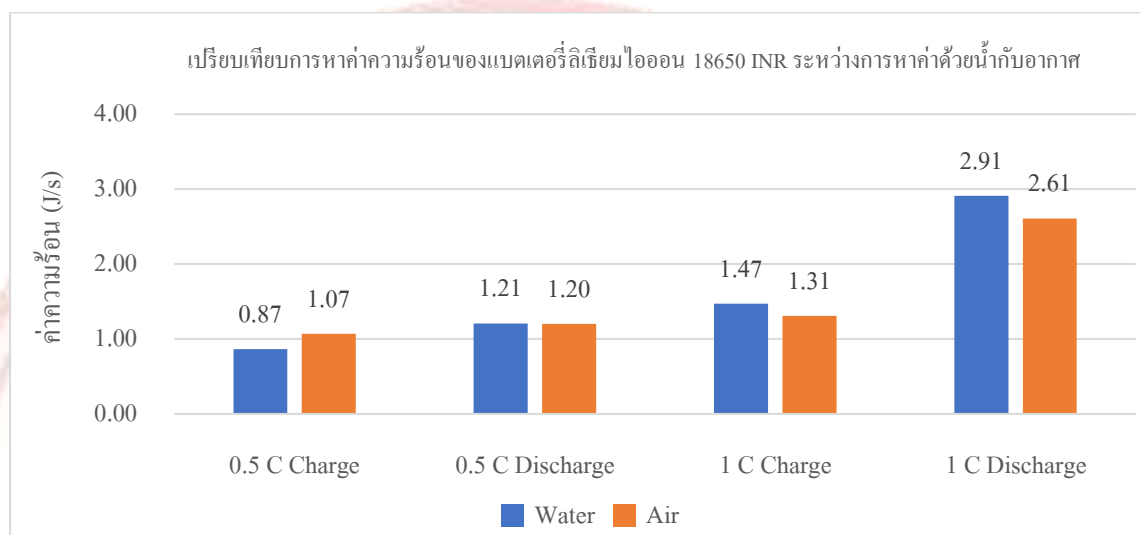
4.9 ค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge)



ภาพที่ 4-18 แสดงค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C

จากภาพเป็นผลค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 ภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน 26mΩ และ INR 18650-320 ภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน 17mΩ ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C โดยทดลองที่อุณหภูมิในระบเริ่มต้นที่ 28°C พบว่าค่าความร้อนจากแบตเตอรี่ (Q_{battery}) จะสูงขึ้นตามอัตราการปล่อยประจุที่สูงขึ้น (0.5C, 1C, 1.5C) ในทั้งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 โดยที่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 จะปล่อยความร้อนมากกว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ในทุกอัตราการคายประจุ

4.10 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ระหว่างชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน และการหาค่าความร้อนโดยใช้วิธี Thermostatic chamber ในกระบวนการอัดประจุและคายประจุที่ 0.5C และ 1C



ภาพที่ 4-19 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ระหว่างชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน และการหาค่าความร้อนโดยใช้วิธี Thermostatic chamber ในกระบวนการอัดประจุและคายประจุที่ 0.5C และ 1C

จากภาพเป็นการทดลองภายใต้เงื่อนไขแบตเตอรี่ความต้านทาน $17\text{m}\Omega$ ผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 พบว่าที่อัตราการอัดประจุ 1C และคายประจุ 1C ค่าความร้อนของแบตเตอรี่ที่หาจากชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน มีค่ามากกว่าการหาค่าความร้อนโดยใช้วิธี Thermostatic chamber ที่อัตราการคายประจุ 0.5C การหาค่าความร้อนจากวิธีทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน และที่อัตราการอัดประจุ 0.5C การหาค่าความร้อนโดยใช้วิธี Thermostatic chamber มีค่ามากกว่าชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่จะน้อย ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่มีความร้อนน้อย ทำให้ระบบระบายความร้อนมีเวลาเพียงพอในการถ่ายเทความร้อนออก และน้ำสามารถจัดการกับความร้อนปริมาณน้อยนี้ได้ดีกว่าอากาศ

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ค่าความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ในการประจุและคายประจุ เมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นตัวถ่ายเทความร้อนที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนด้วยอลูมิเนียมที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ กับการถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศทั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการหาค่าความร้อนที่เกิดจากการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน และเปรียบเทียบกับการใช้ Thermostatic chamber ในการวัดค่าความร้อน การทดลองนี้ทำที่อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่ 28°C และมีการควบคุมการประจุและคายประจุที่อัตรา 0.5C, 1C, และ 1.5C ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมีดังนี้

5.1.1 อุณหภูมิในระบบชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในขณะทำการประจุและคายประจุ โดยที่อุณหภูมิจะขึ้นตามอัตราการประจุและคายประจุ (0.5C, 1C, และ 1.5C)

5.1.2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 มีการปล่อยความร้อนมากกว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ที่อัตราการประจุและคายประจุต่ำ (0.5C และ 1.5C) ในขณะที่ที่อัตราการคายประจุ 1C แบตเตอรี่ INR 18650-320 ปล่อยความร้อนมากกว่า

5.1.3 ค่าความร้อนที่เกิดจากการทำงานของปั้มน้ำในระบบมีค่าต่ำ และแทบไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการประจุหรือคายประจุ

5.1.4 ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทดลองโดยใช้ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน และ Thermostatic chamber การถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน

5.2 อภิปรายผล

การทดลองโดยใช้ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน และ Thermostatic chamber การถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศ พบว่าค่า

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากทั้งสองวิธีมีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน โดยการทดลองนี้มุ่งเน้นศึกษาค่าความร้อนที่เกิดจากการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ ลิเทียมไอออน 2 ชนิด ที่อัตราประจุ 0.5C, 1C และ 1.5C ซึ่งในทั้งสองวิธีพบว่าความร้อนจากแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นตามอัตราการประจุและคายประจุที่สูงขึ้น ความร้อนที่เกิดจากปั้มน้ำในระบบแทบไม่เปลี่ยนแปลงและมีค่าไม่สูงมากเมื่อเทียบกับความร้อนจากแบตเตอรี่ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ น้ำเป็นตัวกลาง สามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสะท้อนถึงการทำงานในสภาพแวดล้อมจริงที่มีการระบายความร้อนต่อเนื่อง ในขณะที่ Thermostatic chamber สามารถให้ค่าความร้อนที่แม่นยำและเสถียรในการควบคุมอุณหภูมิ แต่ไม่สามารถจำลองการถ่ายเทความร้อนได้ดีเท่านี้จากการทำงานของแบตเตอรี่ในสภาพแวดล้อมที่มีการไหลเวียนของน้ำ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรมีการทดลองในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ในห้องทดลองที่มีการควบคุมอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอก เพื่อลดปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง

5.3.2 ควรมีการทดลองอุณหภูมิของน้ำในระบบในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน การเริ่มทดลองที่อุณหภูมิ มากกว่าหรือน้อยกว่า 28°C เพื่อเข้าใจพฤติกรรมของแบตเตอรี่ในสภาวะที่แตกต่างกัน

5.3.3 ควรทำการทดสอบที่อัตราการอัดประจุและคายประจุ ในอัตราที่สูงขึ้น และต่ำลง เช่น 0.2 C หรือ 2 C เพื่อดูแนวโน้มการทำงานของชุดทดลองที่เพิ่มขึ้น

5.3.4 ควรมีการใช้เซ็นเซอร์ที่สามารถวัดอุณหภูมิในหลายจุดของแบตเตอรี่ในระหว่างกระบวนการประจุและคายประจุจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการประเมินค่าความร้อนที่เกิดขึ้นและช่วยให้การออกแบบระบบการจัดการความร้อนในแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

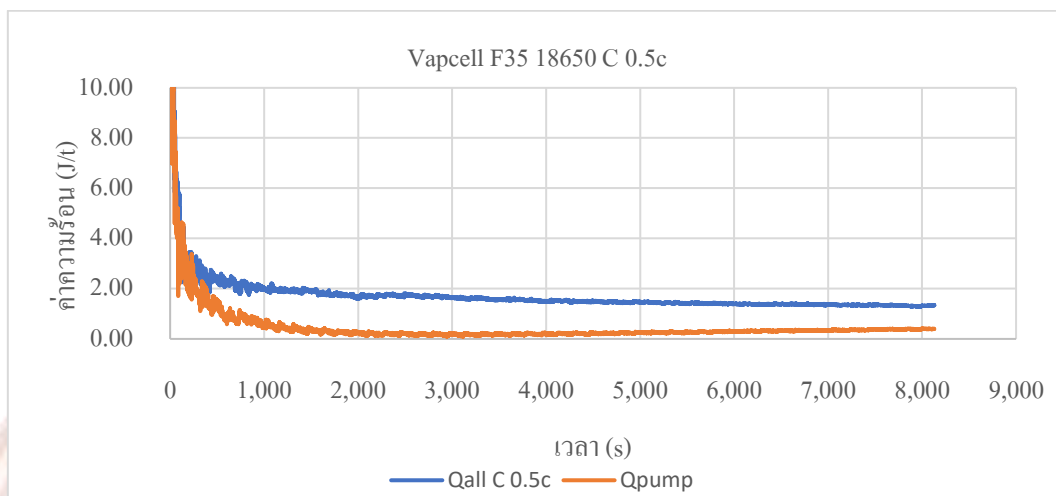
บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). **แนวทางการจัดการพลังงานและเทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน**. กระทรวงพลังงาน.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2564). **รายงานการศึกษาวิจัยเรื่องผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัยวัฒน์ ทองสุข. (2561). **ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ธีรศักดิ์ วงศ์พิทักษ์. (2562). **การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าและความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในสถานะแวดล้อมที่แตกต่างกัน**. วารสารวิจัยพลังงาน, 16(2), 55–68.
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. (2565). **คู่มือการจัดการพลังงานแบตเตอรี่ลิเทียมและผลกระทบจากอุณหภูมิแวดล้อม**. สำนักวิจัยและพัฒนา มจร.
- วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2563). **การศึกษาการจัดเก็บพลังงานในระบบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิที่แตกต่างกัน**. รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- เครื่องวัดแบตเตอรี่** [ออนไลน์] จาก <https://www.comcube.co.th/>
- Global electric car sales set for further strong growth after 40% rise in 2020 [ออนไลน์]. สืบค้น 1 กรกฎาคม 2567 จาก <https://www.iea.org/news/global-electric-car-sales-set-for-further-strong-growth-after-40-rise-in-2020>
- Golubkov, A. W., Fuchs, D., Wagner, J., Wiltsche, H., Stangl, C., Fauler, G., ... & Hacker, V. (2014). Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. *Rsc Advances*, 4(7), 3633-3642.
- Barcellona, S., Colnago, S., Dotelli, G., Latorrata, S., & Piegari, L. (2022). Aging effect on the variation of Li-ion battery resistance as function of temperature and state of charge. *Journal of Energy Storage*, 50, 104658.
- Li, Y., Chen, M., Bai, F., Song, W., & Feng, Z. (2019). Thermal equilibrium characteristic of large-size lithium-ion pouch battery: Resting time between charge and discharge. *Energy Procedia*, 158, 2623-2630.



ภาคผนวก ก

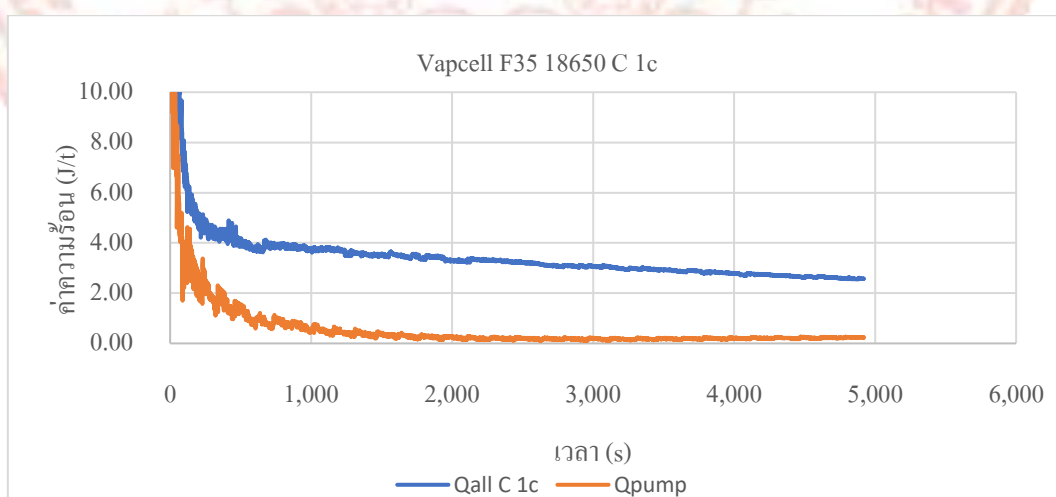
ผลการทดลอง และกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่
โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ของแบตเตอรี่ INR 18650-320
และ Vapcell F35 18650 ที่อัตรา 0.5C, 1C และ 1.5C



ภาพที่ ก-1 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ Vapcell F35 18650 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5c

Charge 0.5c 1.75a										
time(s)	Battery					Pump				
	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Q 0.5c	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Qpump
0.00	28.00	28.00	28.10	28.033		28.00	28.00	28.20	28.067	
8130.00	33.10	33.20	33.30	33.200	1.330973	29.60	29.50	29.60	29.567	0.3956

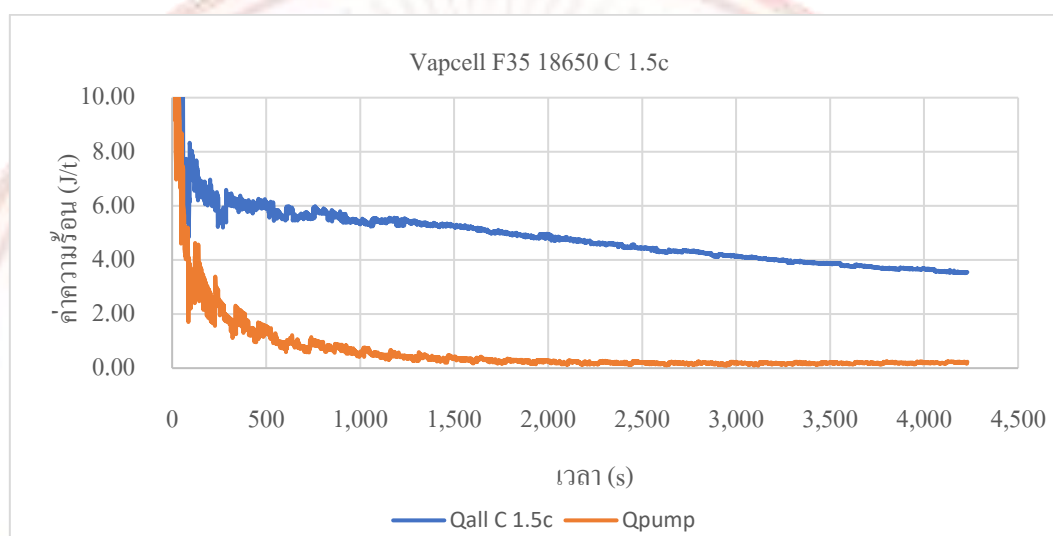
ตารางที่ ก-1 ตารางเก็บผลการทดลองอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ Vapcell F35 18650 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5c



ภาพที่ ก-2 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ Vapcell F35 18650 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5c

Charge 1c 3.5a										
time(s)	battery					pump				
	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Q 1c	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Qpump
0.00	28.00	28.00	28.10	28.033		28.00	28.00	28.20	28.067	
4920.00	34.00	34.10	34.20	34.100	2.582217	28.60	28.60	28.60	28.600	0.2425

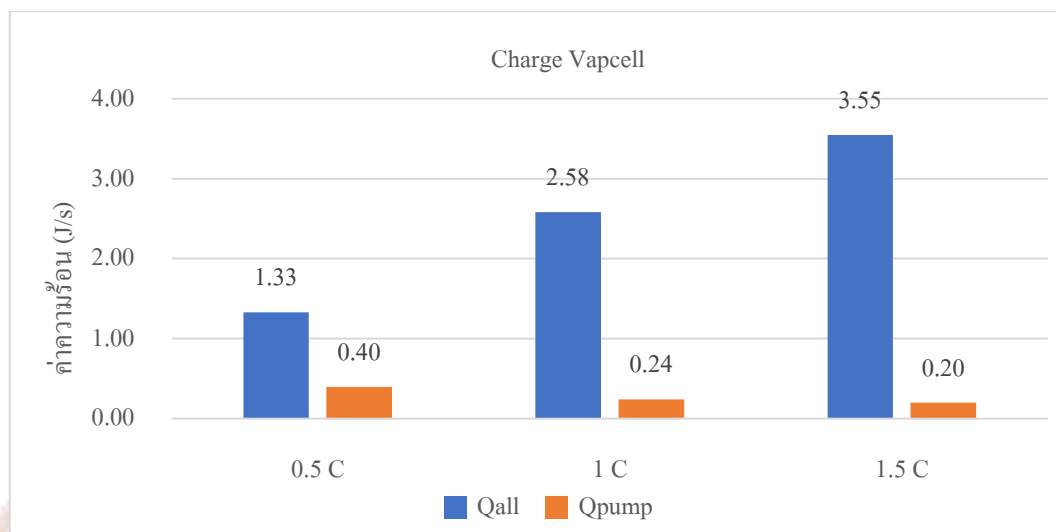
ตารางที่ ก-2 ตารางเก็บผลการทดลองอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ Vapcell F35 18650 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 1c



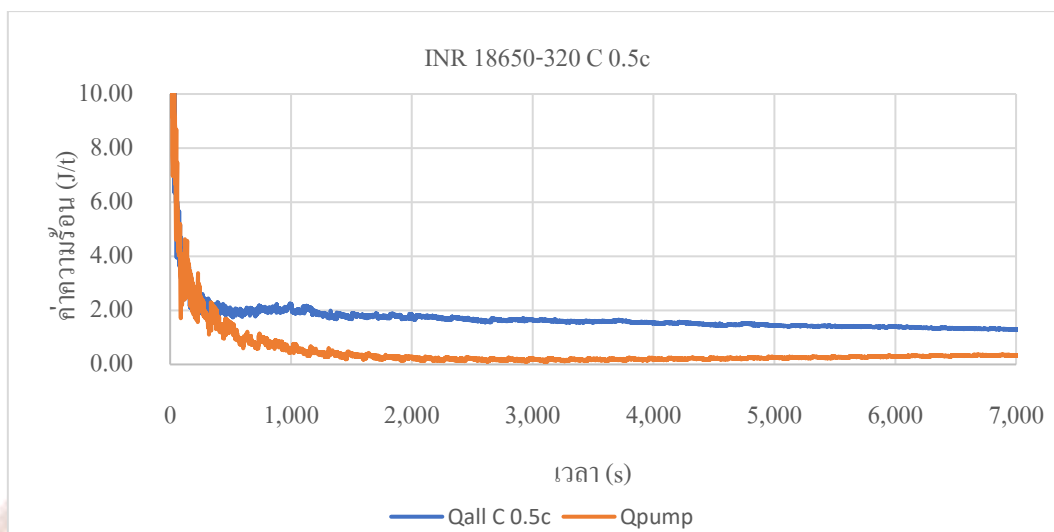
ภาพที่ ก-3 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ Vapcell F35 18650 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5c

Charge 1.5c 5.25a										
time(s)	battery					pump				
	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Q 1.5c	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Qpump
0.00	28.00	28.00	28.10	28.033		28.00	28.00	28.20	28.067	
4229.00	34.10	34.20	34.30	34.200	3.548548	28.40	28.40	28.50	28.433	0.1996

ตารางที่ ก-3 ตารางเก็บผลการทดลองอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ Vapcell F35 18650 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 1c



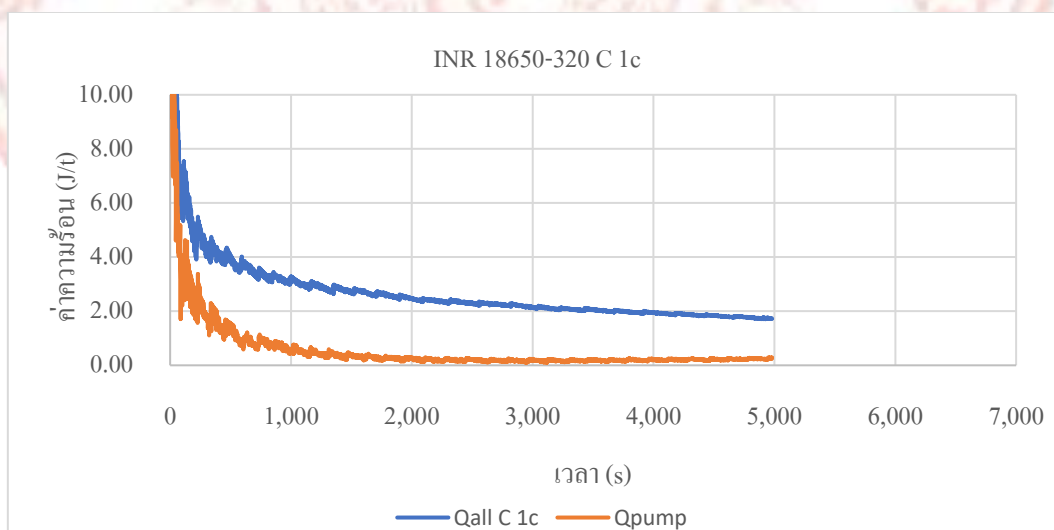
ภาพที่ ก-4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C



ภาพที่ ก-5 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5c

Charge 0.5c 1.6a										
time(s)	battery					pump				
	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Q 0.5c	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Qpump
0.00	28	28	28.1	28.033		28.00	28.00	28.20	28.067	
7814.00	32.5	32.8	32.7	32.667	1.241059	29.50	29.40	29.40	29.433	0.3759

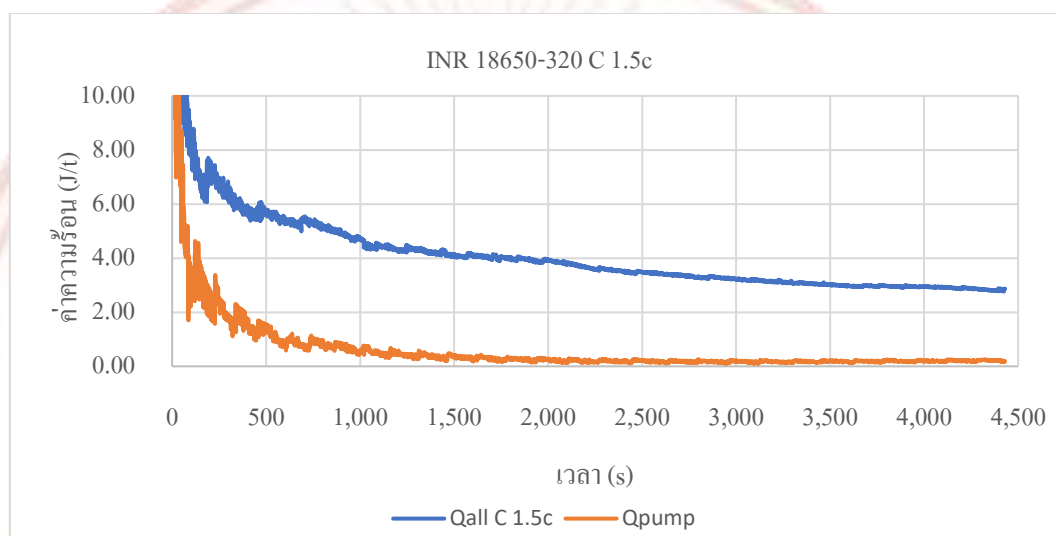
ตารางที่ ก-4 ตารางเก็บผลการทดลองอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 0.5c



ภาพที่ ก-6 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 1c

Charge 1c 3.2a										
time(s)	battery					pump				
	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Q 1c	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Qpump
0.00	28.00	28.00	28.10	28.033		28.00	28.00	28.20	28.067	
4980.00	32.10	32.00	32.30	32.133	1.724554	28.60	28.60	28.70	28.633	0.2536

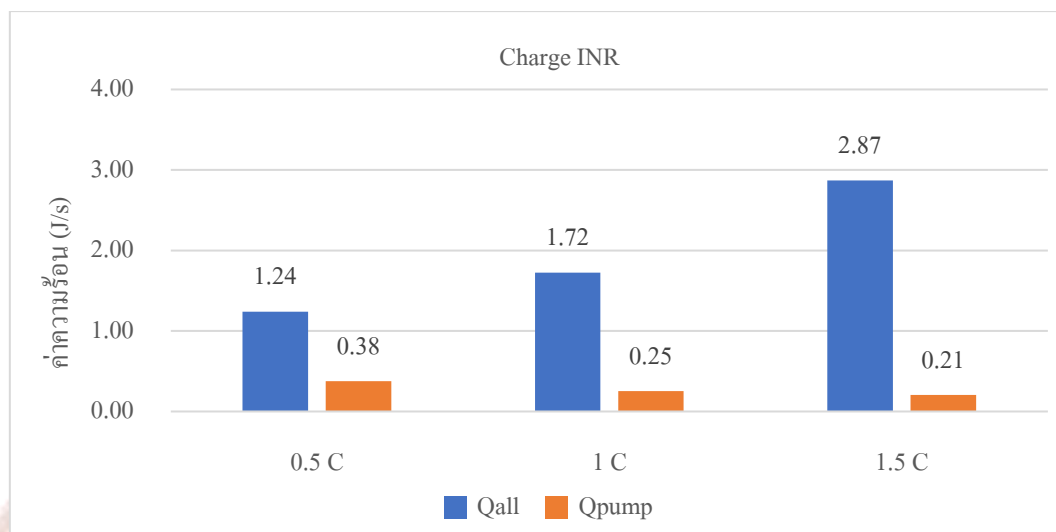
ตารางที่ ก-5 ตารางเก็บผลการทดลองอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 1c



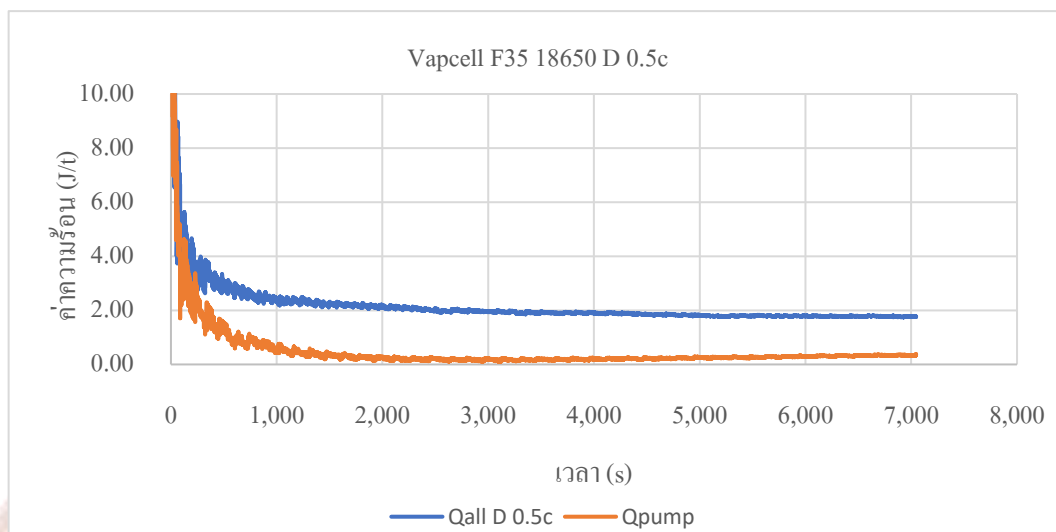
ภาพที่ ก-7 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 1.5c

Charge 1.5c 4.8a										
time(s)	battery					pump				
	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Q 1.5c	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Qpump
0.00	28.10	28.10	28.20	28.133		28.00	28.00	28.20	28.067	
4429.00	34.10	34.20	34.30	34.200	2.868483	28.40	28.50	28.50	28.467	0.2064

ตารางที่ ก-6 ตารางเก็บผลการทดลองอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ที่ 1c



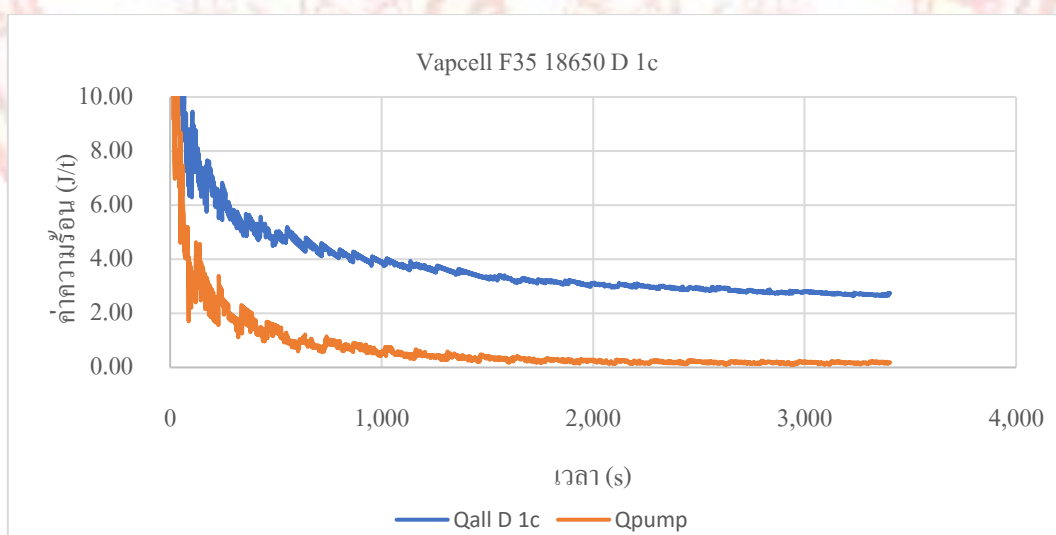
ภาพที่ ก-8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ที่อัตราการอัดประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C



ภาพที่ ก-9 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 0.5c

Discharge 0.5c 1.75a										
time(s)	battery					pump				
	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Q 0.5c	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Qpump
0.00	28.00	28.00	28.10	28.033		28.00	28.00	28.20	28.067	
7046.00	33.90	34.00	34.10	34.000	1.773376	29.00	29.00	29.10	29.033	0.3368

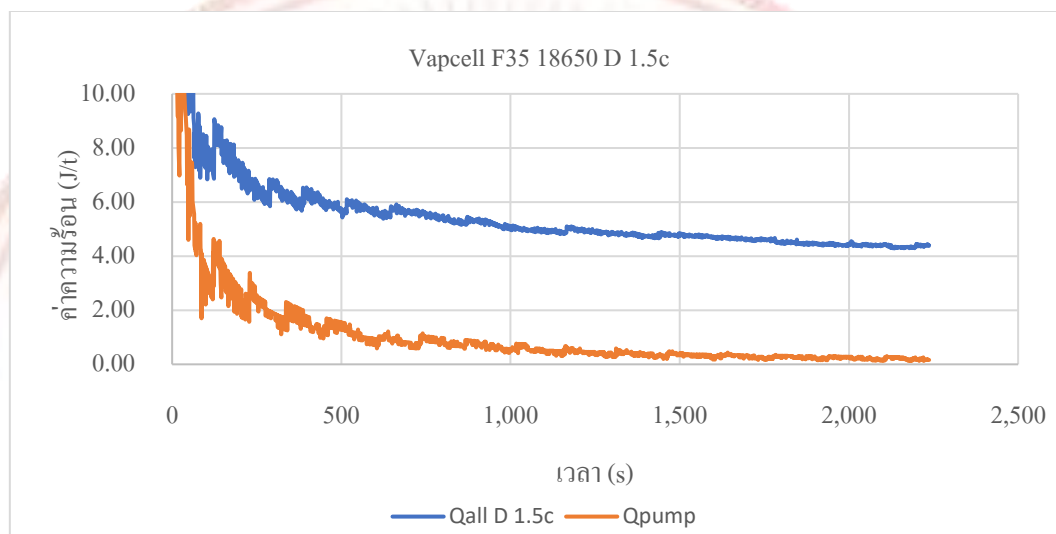
ตารางที่ ก-7 ตารางเก็บผลการทดลองอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 0.5c



ภาพที่ ก-10 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 1c

Discharge 1c 3.5a										
time(s)	battery					pump				
	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Q 1c	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Qpump
0.00	28.00	28.00	28.10	28.033		28.00	28.00	28.20	28.067	
3403.00	33.10	33.30	33.40	33.267	2.749254	28.30	28.30	28.40	28.333	0.1866

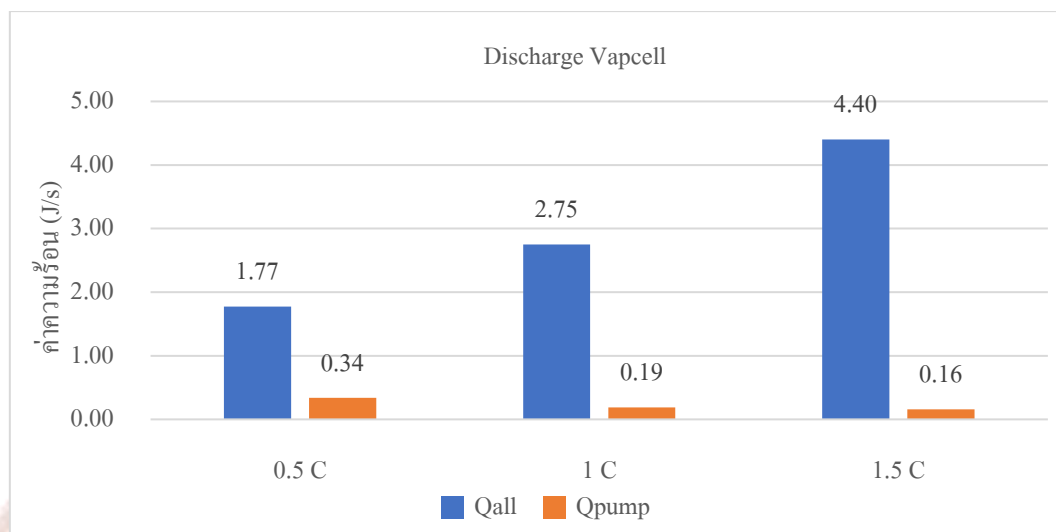
ตารางที่ ก-8 ตารางเก็บผลการทดลองอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 1c



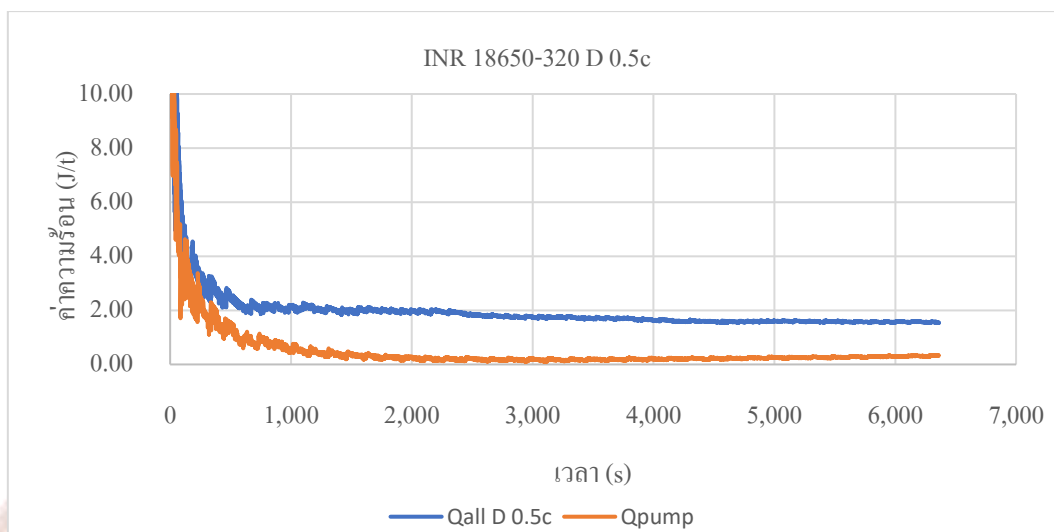
ภาพที่ ก-11 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 1.5c

Discharge 1.5c 5.25a										
time(s)	battery					pump				
	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Q 1.5c	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Qpump
0.00	28.00	28.00	28.10	28.033		28.00	28.00	28.20	28.067	
2236.00	32.70	32.70	32.80	32.733	4.402539	28.10	28.10	28.40	28.200	0.15913

ตารางที่ ก-9 ตารางเก็บผลการทดลองอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 1.5c



ภาพที่ ก-12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Vapcell F35 18650 ที่อัตราการคายประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C



ภาพที่ ก-13 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 0.5c

Discharge 0.5c 1.6a										
time(s)	battery					pump				
	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Q 0.5c	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Qpump
0.00	28.1	28	28.1	28.067		28.00	28.00	28.20	28.067	
6360.00	32.6	32.7	32.9	32.733	1.535635	29.00	29.00	29.10	29.033	0.3302

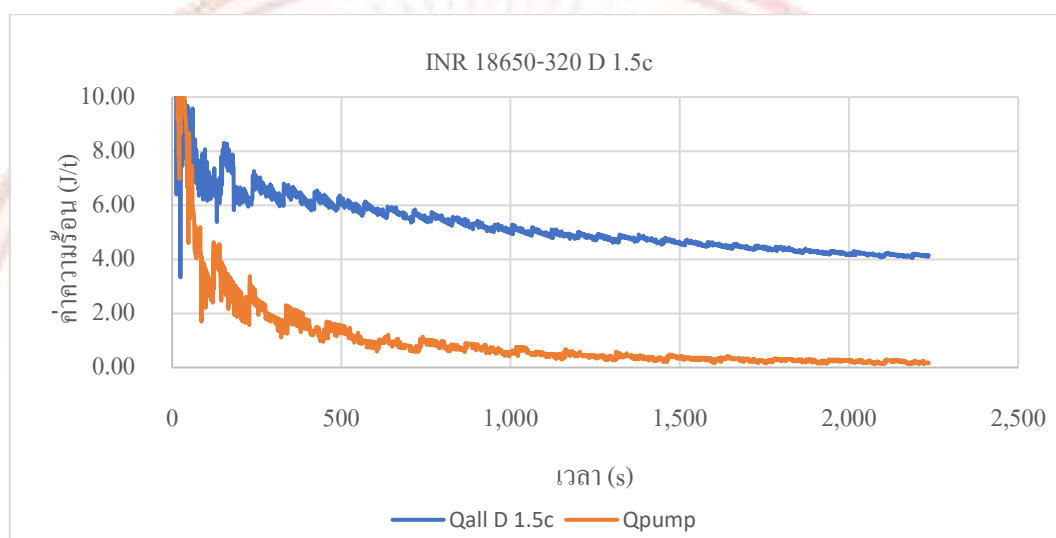
ตารางที่ ก-10 ตารางเก็บผลการทดลองอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 0.5c



ภาพที่ ก-14 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 1c

Discharge 1c 3.2a										
time(s)	battery					pump				
	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Q 1c	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Qpump
0.00	28.20	28.00	28.20	28.133		28.00	28.00	28.20	28.067	
3449.00	33.10	33.30	33.40	33.267	3.117148	28.20	28.30	28.40	28.300	0.2043

ตารางที่ ก-11 ตารางเก็บผลการทดลองอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 1c

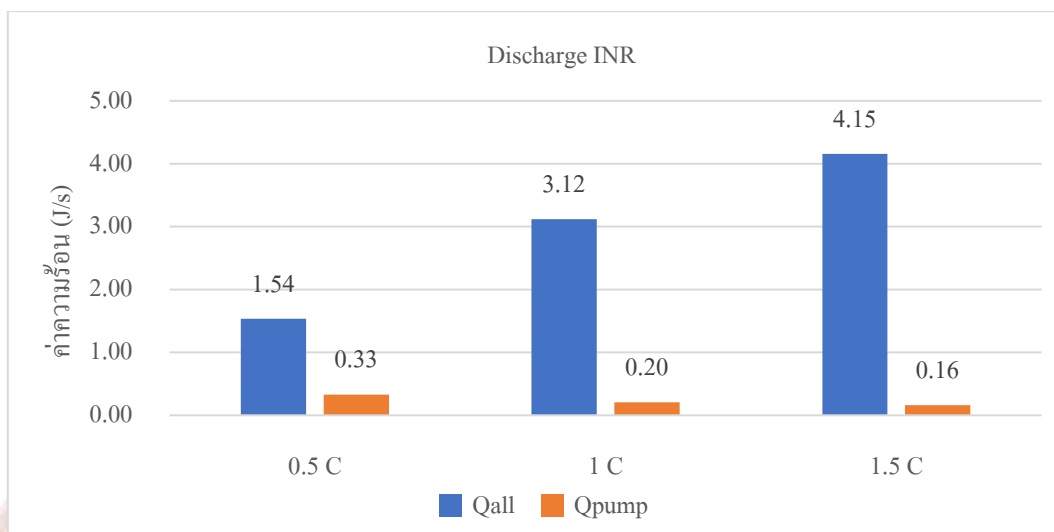


ภาพที่ ก-15 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 1.5c

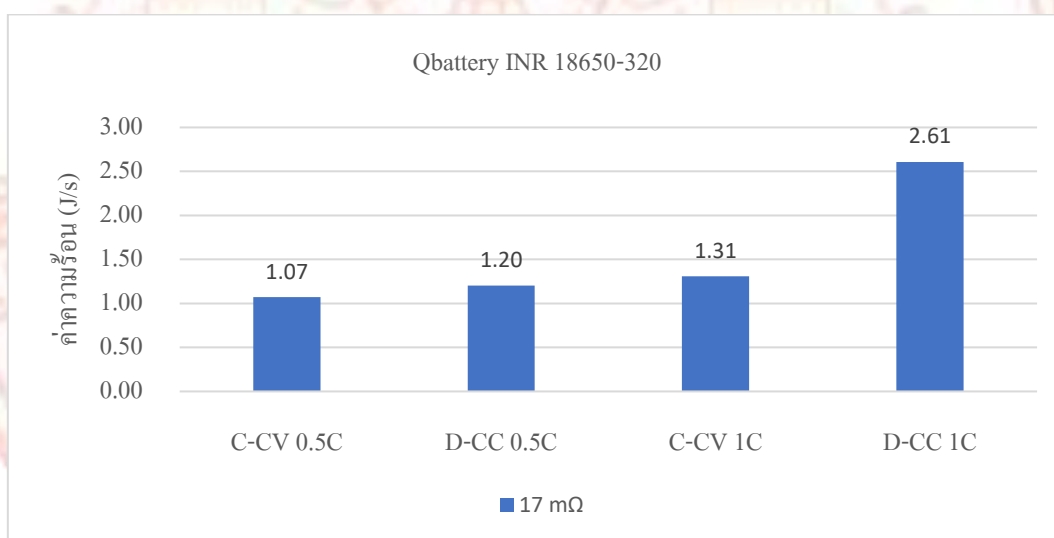
Discharge 1.5c 4.8a										
time(s)	battery					pump				
	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Q 1.5c	Ttank	Tin	Tout	Tmean	Qpump
0.00	28.10	28.20	28.10	28.133		28.00	28.00	28.20	28.067	
2235.00	32.50	32.60	32.60	32.567	4.154784	28.30	28.20	28.20	28.233	0.1592

ตารางที่ ก-

12 ตารางเก็บผลการทดลองอุณหภูมิทั้งระบบ และปั๊มของแบตเตอรี่ INR 18650-320 ในกระบวนการคายประจุ (Charge) ที่ 1.5c



ภาพที่ ก-16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุ (Charge) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน INR 18650-320 ที่อัตราการคายประจุ 0.5C, 1C, และ 1.5C

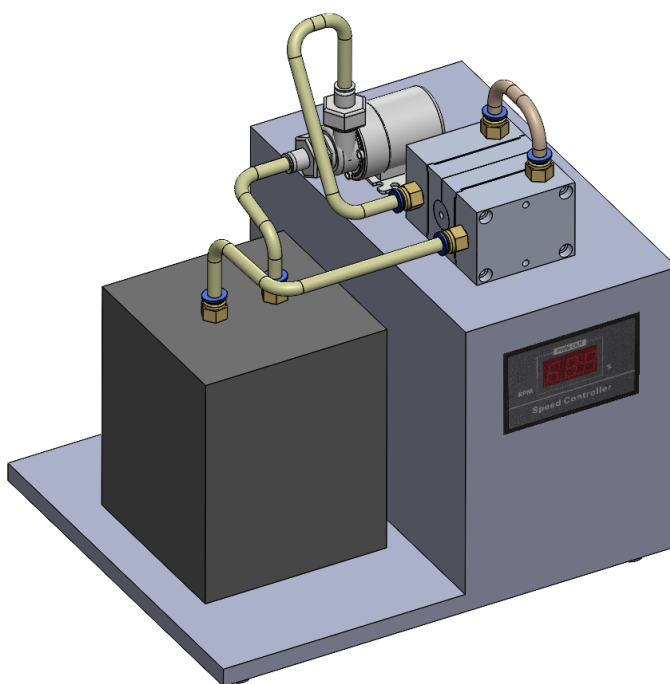


ภาพที่ ก-17 แสดงค่าความร้อนโดยใช้วิธี Thermostatic chamber ในกระบวนการอัดประจุและคายประจุที่ 0.5C และ 1C ของแบตเตอรี่ INR 18650-320

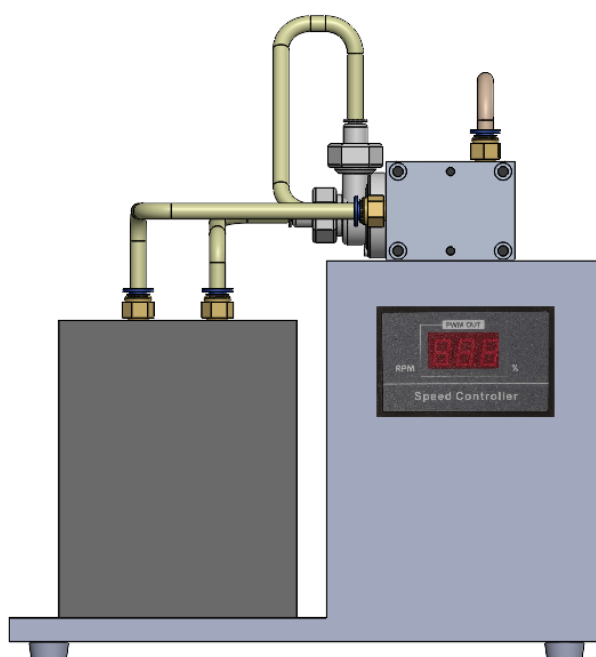
ภาคผนวก ข

แบบชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่
โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน

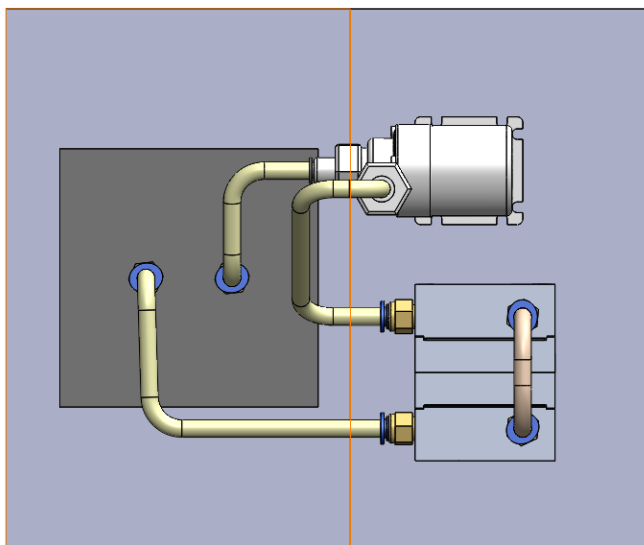




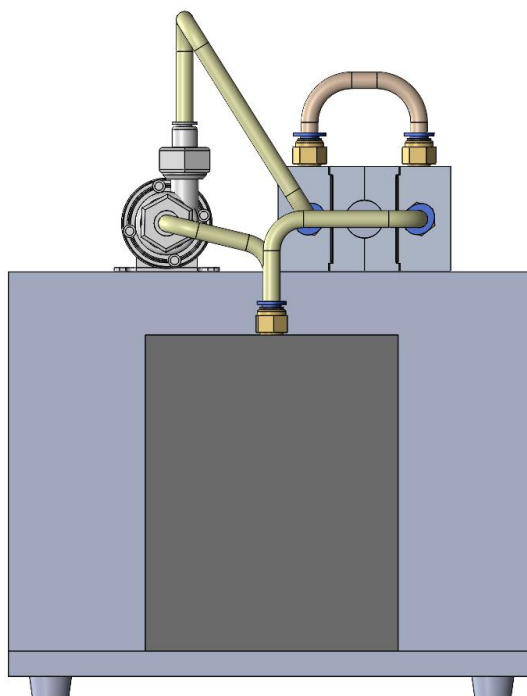
ภาพที่ ข-1 ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน



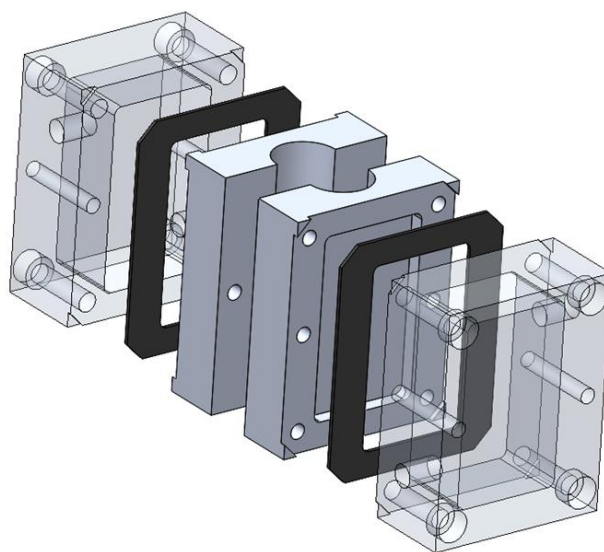
ภาพที่ ข-2 ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (ด้านหน้า)



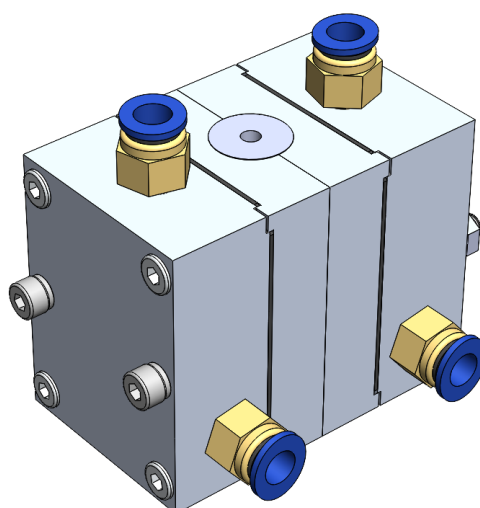
ภาพที่ ข-3 ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (ด้านบน)



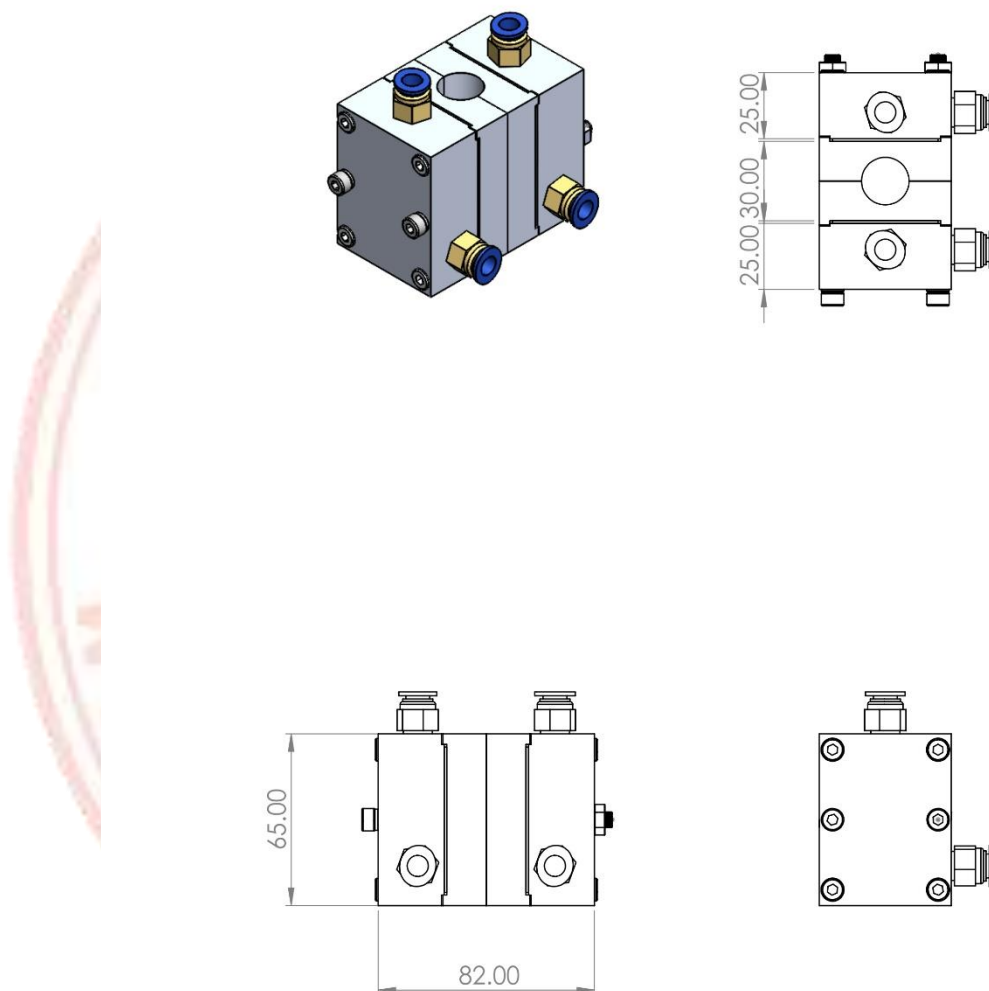
ภาพที่ ข-4 ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (ด้านข้าง)



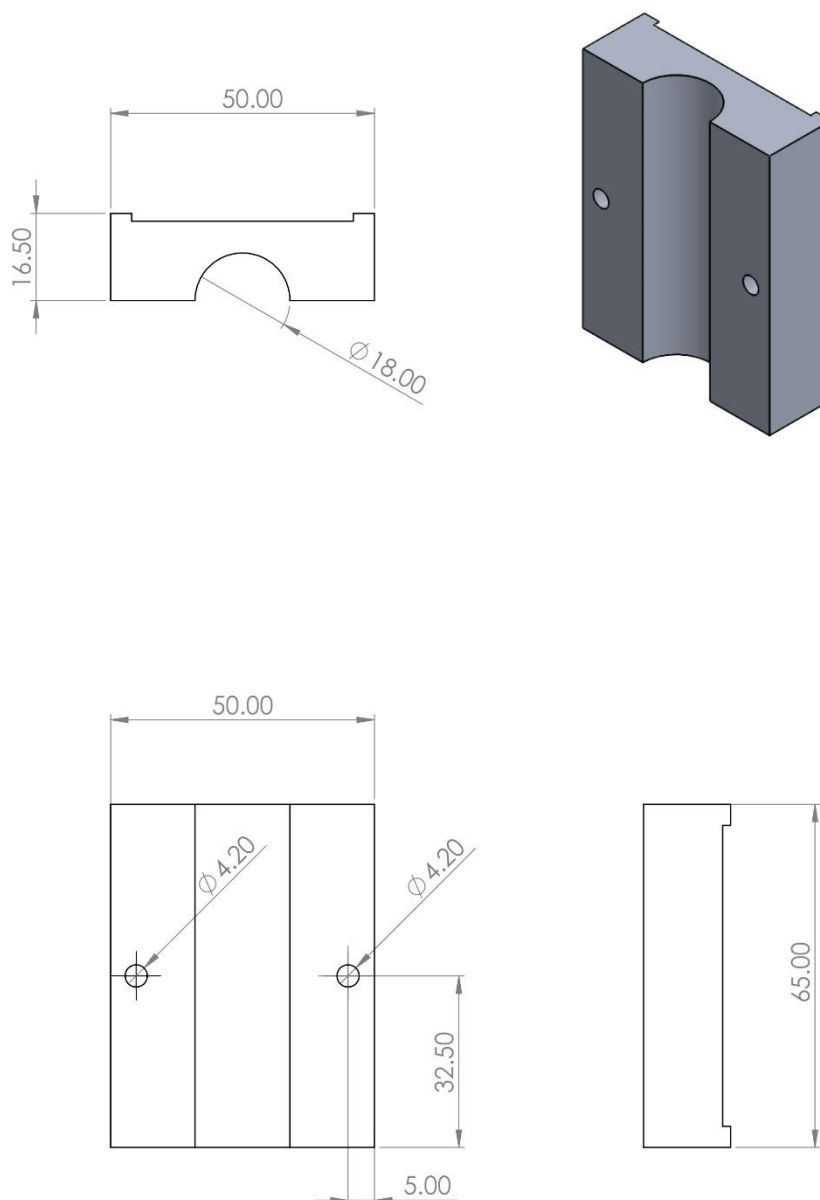
ภาพที่ ข-5 ส่วนประกอบที่ติดตั้งแบตเตอรี่ของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน



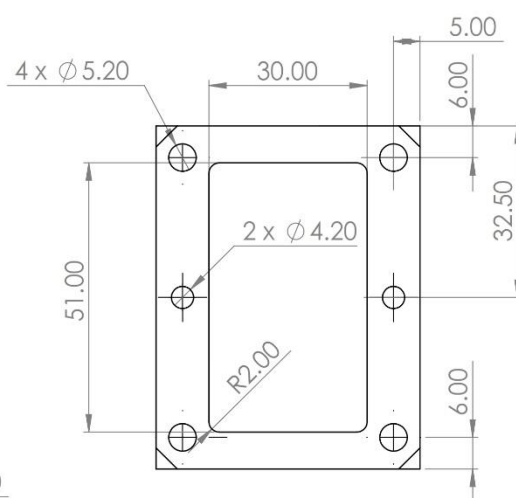
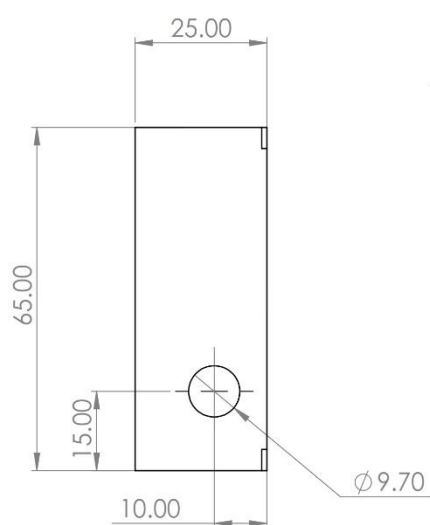
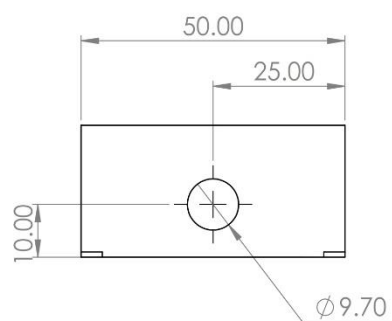
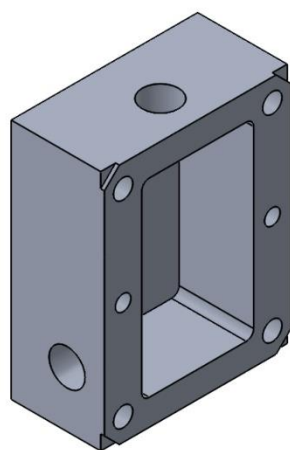
ภาพที่ ข-6 รูปแบบการติดตั้งแบตเตอรี่กับชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน



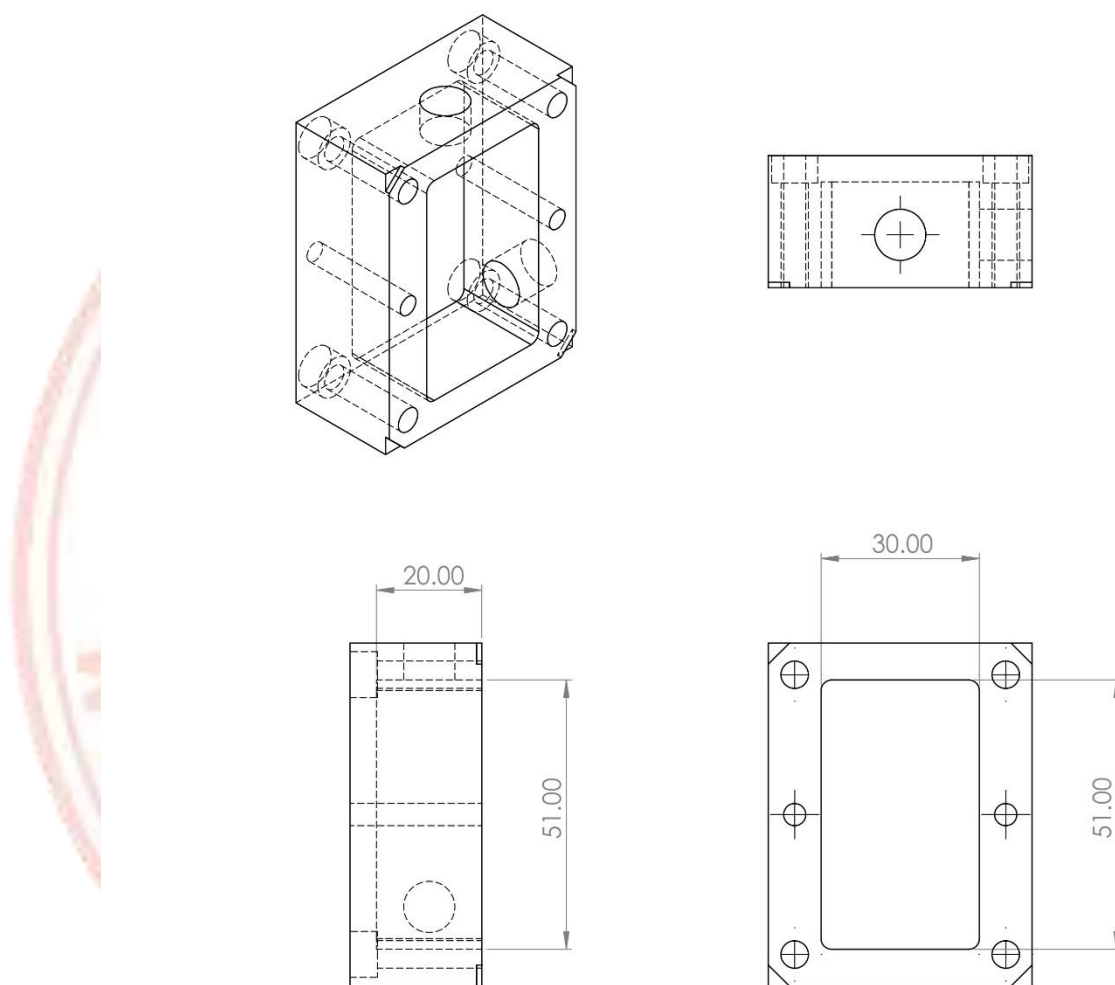
ภาพที่ ข-7 ส่วนประกอบที่ติดตั้งแบตเตอรี่ของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน



ภาพที่ ข-8 ส่วนประกอบที่ติดตั้งแบตเตอรี่ของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (1)



ภาพที่ ข-9 ส่วนประกอบที่ติดตั้งแบตเตอรี่ของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (2)



ภาพที่ ข-10 ส่วนประกอบที่ติดตั้งแบตเตอรี่ของชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (3)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายเสกฐวุฒิ สารบุรุษ

ชื่อการค้นคว้าอิสระ ชุดทดลองหาค่าความร้อนของแบตเตอรี่โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง
ในการแลกเปลี่ยนความร้อน

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกลศึกษา

ประวัติ มัธยมศึกษาตอนต้น
โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ จังหวัดพะเยา
มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนพิริยาลัยจังหวัดแพร่
ปริญญาตรี
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
กำลังศึกษาปริญญาโท
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ
นครเหนือ