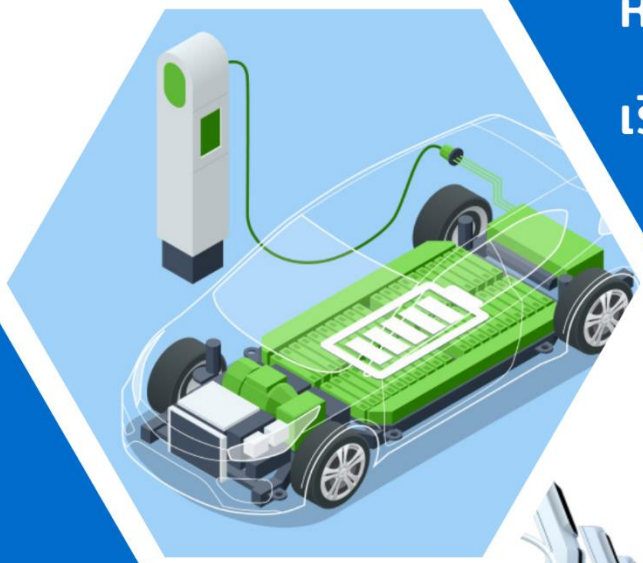
หน่วยการเรียนรู้

เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

เอกสารประกอบงานวิจัย

ห้องปฏิบัติการเสมือนจริง

เรื่องแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า



กฤษณะ บุญสอาด

คำนำ

หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า เป็นส่วนหนึ่งของเนื้อหาวิชาแบตเตอรี่ยานยนต์และระบบประจุไฟฟ้ายานยนต์ไฟฟ้า สาขางานยานยนต์ไฟฟ้า หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการประกอบการเรียนการสอน เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า การจัดทำหน่วยการเรียนรู้ฉบับนี้ ผู้จัดทำได้รวบรวมข้อมูลต่างๆที่ได้อ้างอิงเกี่ยวกับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า โดยใช้ความรู้ความสามารถทั้งด้านทฤษฎีและปฏิบัติ เกี่ยวกับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อนำมาจัดทำหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการจัดการเรียนการสอน โดยมีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ ใบความรู้ ใบงาน และแบบทดสอบก่อนและหลังการเรียน

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ ต่อผู้เรียนและผู้ที่สนใจศึกษาเรื่องแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า หากหน่วยการเรียนรู้ฉบับนี้ มีข้อบกหร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้ และยินดีรับคำติชมเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาในโอกาสต่อไป

กฤษณะ บุญสอาด
นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สารบัญ

หน้า

คำนำ

สารบัญ

หน่วยสมรรถนะ 1

ผังความสามารถ 2

กิจกรรมการเรียน 3

ใบความรู้

1. พื้นฐานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า 4

1.1 ประเภทของแบตเตอรี่ 4

1.2 ชนิดของเซลล์แบตเตอรี่ตามรูปทรง 9

1.3 ส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่ลิเธียม 10

1.4 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเธียม 11

1.5 คุณลักษณะต่างๆของแบตเตอรี่ลิเธียม 12

1.6 ความปลอดภัยทางไฟฟ้า 17

2. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและการจัดกลุ่มของเซลล์แบตเตอรี่ 24

2.1 การวัดแรงดัน 25

2.2 การวัดความต้านทานภายใน 26

2.3 การจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่ 28

3. การเชื่อมต่อแบตเตอรี่ 29

3.1 การเชื่อมต่อแบบอนุกรม 29

3.2 การเชื่อมต่อแบบขนาน 31

3.3 การเชื่อมต่อแบบผสม 33

3.4 ขั้นตอนการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ 35

4. ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ 37

4.1 หลักการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่ 37

4.2 ประเภทของระบบจัดการแบตเตอรี่ 39

4.3 การเลือกใช้ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ 41

4.4 การเชื่อมต่อระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่กับแพ็คแบตเตอรี่ 45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ใบงานที่ 1	47
ใบงานที่ 2	49
ใบงานที่ 3.1	51
ใบงานที่ 3.2	53
ใบงานที่ 3.3	55
ใบงานที่ 4	58
แบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน	61
อ้างอิง	71

หน่วยสมรรถนะ

เมื่อนักศึกษาเรียนหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ผู้เรียนจะเกิดสมรรถนะที่พึงประสงค์ ดังนี้

1. พื้นฐานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

1.1 บอกประเภทและชนิดของแบตเตอรี่ได้ถูกต้อง

1.2 บอกส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่ลิเธียมได้ถูกต้อง

1.3 อธิบายหลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเธียมได้

1.4 บอกคุณลักษณะต่างๆของเซลล์แบตเตอรี่ได้ถูกต้อง

1.5 คำนวณค่าทางไฟฟ้าแบตเตอรี่ได้ถูกต้อง

1.6 สามารถแยกประเภทและชนิดของเซลล์แบตเตอรี่ได้ถูกต้อง

2. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

2.1 ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ได้ถูกต้อง

2.2 ตรวจวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่ได้ถูกต้อง

2.3 จัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่ได้ถูกต้อง

3. การเชื่อมต่อแบตเตอรี่

3.1 เชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมได้ถูกต้อง

3.2 เชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบขนานได้ถูกต้อง

3.3 เชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบผสมได้ถูกต้อง

4. ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่

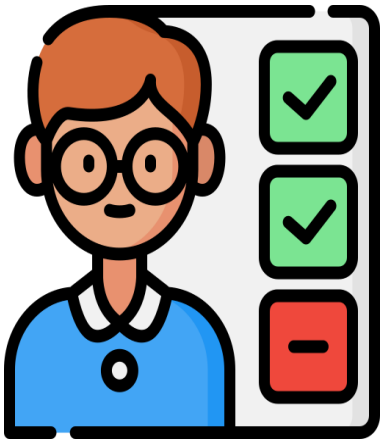
4.1 บอกความหมายของระบบจัดการแบตเตอรี่ได้ถูกต้อง

4.2 บอกประเภทของระบบจัดการแบตเตอรี่ได้ถูกต้อง

4.3 เชื่อมต่อวงจรแบตเตอรี่กับระบบจัดการแบตเตอรี่ได้ถูกต้อง

ผังความสามารถ ในการเรียนหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ความสามารถพื้นฐานที่นักศึกษาจำเป็นต้องมี ดังนี้

1. พื้นฐานการคำนวณ
2. พื้นฐานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า
3. การใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า
4. การเชื่อมต่อแบตเตอรี่
5. ระบบจัดการแบตเตอรี่



ก่อนการเรียนหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ต้องสำรวจตนเอง ว่ามีความสามารถพื้นฐานตามที่หน่วยการเรียนนี้กำหนดหรือไม่ ในหน่วยการเรียนนี้เป็นหน่วยการเรียนที่ต้องมีพื้นฐานในการคำนวณ พื้นฐานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า การใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า การเชื่อมต่อแบตเตอรี่ ระบบจัดการแบตเตอรี่ หากในกรณีที่นักศึกษามีความรู้พื้นฐานดังกล่าวจะทำให้เรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น

กิจกรรมการเรียน

ลำดับการเรียนรู้ต่อหน่วยการเรียนรู้ เรื่องแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ดังนี้

1. ศึกษาทำความเข้าใจวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมให้เข้าใจ เมื่อเสร็จสิ้นการเรียนแล้วต้องได้ความรู้และพัฒนาตนเองในด้านใดบ้าง

2. ศึกษาผังความสามารถแล้วตรวจสอบว่าถ้าจะเรียนหน่วยนี้ นักศึกษามีความสามารถพื้นฐานครบถ้วนเพียงพอหรือยัง

   “ถ้ายัง ให้นักศึกษาปรึกษาครูผู้สอน”

3. ศึกษาใบความรู้และศึกษาผ่านห้องปฏิบัติการเสมือนจริง เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ทบทวนกี่ครั้งก็ได้ใช้เวลาตามต้องการ

4. ปฏิบัติงานในใบงานการเรียนรู้ จนมีความรู้และทักษะต่อการประเมินในสมรรถนะต่างๆ

5. สามารถนัดครูผู้สอนเพื่อทดสอบความสามารถ

ใบความรู้

แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

รูปที่ 1 แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

1. พื้นฐานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

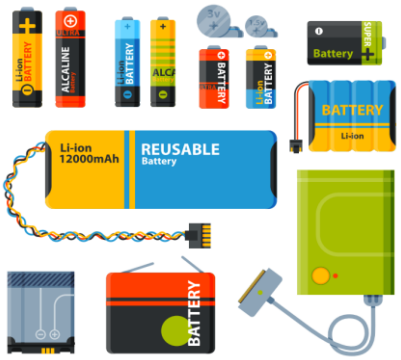
แบตเตอรี่ (Battery) หรือ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Chemical machine เป็นอุปกรณ์ที่เก็บพลังงานเคมี และเปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยที่ปฏิกิริยาทางเคมีในแบตเตอรี่ เกี่ยวข้องกับการไหลของอิเล็กตรอนจากวัสดุหนึ่งหรือเรียกว่าขั้วบวก ไปยังอีกวัสดุหนึ่งหรือเรียกว่าขั้วลบ ผ่านทางวงจรภายนอก ซึ่งแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานหลักในการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า ในปัจจุบันแบตเตอรี่นิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิด เนื่องจากสามารถนำอุปกรณ์ไฟฟ้า ไปใช้งานในสถานที่ต่างๆที่ไม่มีไฟฟ้าได้

1.1 ประเภทของแบตเตอรี่ [1]

พิจารณาตามลักษณะการใช้งานของแบตเตอรี่ สามารถแบ่งแบตเตอรี่ได้ 2 ชนิด คือแบตเตอรี่ปฐมภูมิ และแบตเตอรี่ทุติยภูมิ ดังนี้

1. แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary battery) คือ แบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้งานแล้ว จะไม่สามารถนำมาอัดประจุหรือนำมาชาร์จ (Non-Rechargeable batteries) เพื่อให้สามารถใช้งานได้อีกครั้ง เช่น แบตเตอรี่แบบอัลคาไลน์ หรือที่เรียกด้วยคำทั่วไปว่า “ถ่าน” สำหรับใช้ในวิทยุ นาฬิกา หรือรีโมทโทรทัศน์ เป็นต้น

รูปที่ 2 แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (primary battery)



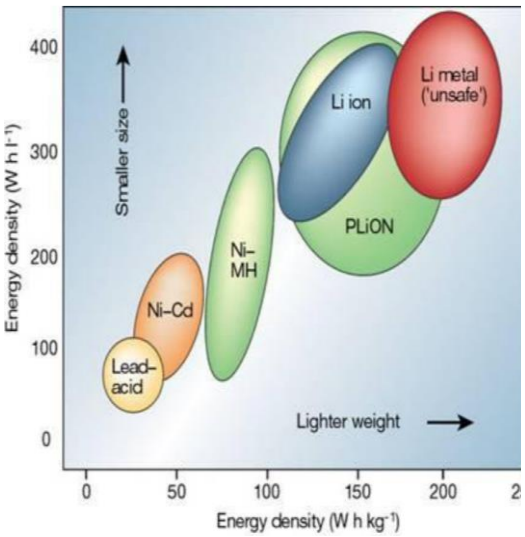
รูปที่ 3 แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary battery)

2. แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary battery) คือ แบตเตอรี่ที่ผ่านการใช้งานแล้ว สามารถนำมาอัดประจุหรือนำมาชาร์จ (Rechargeable batteries) เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ เช่น แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion) ที่ใช้ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ โน๊ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ หรือแบตเตอรี่รถยนต์ เป็นต้น

แบตเตอรี่ทูติยภูมิประเภทต่างๆ [2]

ในปัจจุบันแบตเตอรี่ถูกผลิตออกมาหลากหลายประเภท มีหลายขนาดและหลายรูปแบบ เพื่อความเหมาะสมในการใช้สำหรับสินค้าต่างประเภทกัน หากแบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็นองค์ประกอบเพื่อผลิตพลังงานจะสามารถแบ่งได้ หลากหลายกว่า เช่น ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead–acid: Pb) ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (Nm: NiCd) ชนิดนิกเกิล-ซิงค์ (Nickel-zinc: NiZn) ชนิดนิกเกิลเมทัลไฮดราย (NickelMetal Hydride: NiMH) และชนิดลิเทียมไอออน (Lithium Ion: Li-ion) เป็นต้น

ซึ่งความหลากหลายของวัสดุที่ใช้นี้เกิดจากวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ต้นทุนของการผลิต ความหนาแน่นของพลังงาน (Energy density) อายุการใช้งาน (Cycle life) ความปลอดภัย ขนาด และรวมถึงรูปร่าง อย่างไรก็ตามหากพิจารณารูปที่ 4 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงความสามารถในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น Wh/kg และ Wh/L (วัตต์-ชั่วโมง ต่อ กิโลกรัม และ วัตต์- ชั่วโมง ต่อ ลิตร) ของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ จะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีความสามารถในการเก็บพลังงานได้มากกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นทั้งในเชิงปริมาตร (Volumetric energy density) และเชิงมวล (Gravimetric energy density) รวมทั้งมีขนาดเล็กน้ำหนักเบาทำให้มีความสะดวกในการใช้งาน



รูปที่ 4 การกักเก็บพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

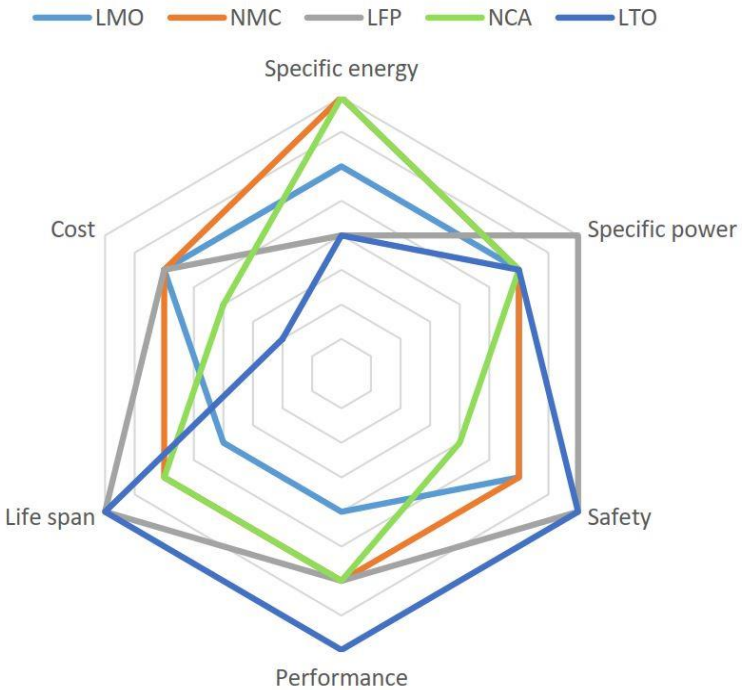
ลิเธียมเป็นวัสดุองค์ประกอบการผลิตแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตแบตเตอรี่ด้วยลิเทียมมีจุดเริ่มต้นจากการวิจัยในช่วงปี 1970 ซึ่งตอนนั้นเป็นชนิดใช้ครั้งเดียวคุณสมบัติที่ดีของลิเทียม คือ เป็นโลหะที่เบาให้แรงดันไฟฟ้าสูงและยังมีความหนาแน่นพลังงานสูงที่สุดในน้ำหนักที่เท่ากันการใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนนี้จะทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ กล้องถ่ายรูป คอมพิวเตอร์ พกพา

หรือแม้แต่อุปกรณ์ทางการแพทย์เคลื่อนที่ ที่เคยมีขนาดใหญ่ เทอะทะ ไม่สะดวกใน การใช้งานนอกสถานที่กลับมีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบา พกพาสะดวก นอกจากนี้ลิเทียม ไอออนยังมีความสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมรถยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น รถยนต์ไฮบริด รถยนต์ปลั๊กอินไฮบริดและรถยนต์ไฟฟ้า

คุณสมบัติในด้านต่างๆแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน [3]

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละประเภทมีคุณสมบัติและความเหมาะสมในการใช้งานแตกต่างกันไป โดยพิจารณาคุณสมบัติในด้านต่างๆ ดังนี้

- **ค่าความจุพลังงานจำเพาะ** (Specific Energy)หมายถึง ปริมาณความจุแบตเตอรี่ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก มีหน่วยเป็น Wh/kg
- **ค่ากำลังจำเพาะ** (Specific Power) หมายถึง กำลังที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก มีหน่วยเป็น W/kg
- **ความปลอดภัย** (Safety) หมายถึง ความสามารถในการระบายความร้อน ถ้าแบตเตอรี่สามารถระบายความร้อนได้ดีจะมีความปลอดภัยสูงกว่า
- **สมรรถนะ** (Performance) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน
- **อายุในการใช้งาน** (Life Span) หมายถึง จำนวนครั้งในการประจุไฟ
- **ต้นทุน** (Cost) หมายถึง ต้นทุนในการผลิตแบตเตอรี่ต่อ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง



รูปที่ 5 คุณสมบัติในด้านต่างๆแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ลิเธี่ยมแมงกานิสออกไซด์ (LMO : Lithium Manganese Oxide)
แบตเตอรี่ลิเธี่ยมนิเคิลแมงกานิสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC : Lithium Nikel Manganese Cobalt Oxide)
แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (LFP หรือ LiFePO4 : Lithium Ion Phosphate)
แบตเตอรี่ลิเธี่ยมนิเคิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์ (NCA : Lithium Nikel Cobalt Aluminum Oxide)
แบตลิเธี่ยมไททาเนต (LTO : Lithium Titanate)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ประเภทต่าง [4]

Specifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific Energy Density (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Internal Resistance (mΩ)	<100 12V pack	100-200 6V pack	200-300 6V pack	150-300 7.2V	25-75 per cell	25-50 per cell
Life Cycle (80% discharge)	200-300	1000	300-500	500-1,000	500-1,000	1,000-2,000
Fast-Charge Time	8-16h	1h typical	2-4h	2-4h	1h or less	1h or less
Overcharge Tolerance	High	Moderate	Low	Low. Cannot tolerate trickle charge		
Self-Discharge/month (Room temp)	5%	20%	30%	<10%		
Cell Voltage (nominal)	2V	1.2V	1.2V	3.6V	3.8V	3.3V
Charge Cutoff Voltage (V/cell)	2.40 Float 2.25	Full charge detection by voltage signature		4.20		3.60
Discharge Cutoff Voltage (V/cell, 1C)	1.75	1.00		2.50-3.00		2.80
Peak Load Current Best Result	5C 0.2C	20C 1C	5C 0.5C	>3C <1C	>30C <10C	>30C <10C
Charge Temperature	-20 to 50°C -4 to 122°F	0 to 45°C 32 to 113°F		0 to 45°C 32 to 113°F		
Discharge Temperature	-20 to 50°C -4 to 122°F	-20 to 65°C -4 to 149°F		-20 to 60°C -4 to 140°F		
Maintenance Requirement	3-6 Months (topping charge)	30-60 days (discharge)	60-90 days (discharge)	Not required		
Safety Requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection common		Protection circuit mandatory		

แบตเตอรี่นิกเกิลประเภทต่างๆ

แบตเตอรี่ในกลุ่มนี้ที่ใช้กันมากมี 5 ประเภทดังนี้ (ประเภทที่ 1 และ 2 มีใช้มากกว่าประเภทอื่น)

1) แบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium, Ni-Cd หรือ NiCadTM) ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป เช่น ไฟฉายฉุกเฉิน แฟลชสำหรับกล้องถ่ายรูป อุปกรณ์และเครื่องมือช่างแบบไร้สาย

2) แบตเตอรี่นิกเกิล-เมทัลไฮไดร์ด (Nickel-metal hybrid, Ni-MH) ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป เช่น อุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สาย หน่วยสำรองไฟฟ้า (UPS) สำหรับสถานีส่ง คลื่นโทรศัพท์และโทรทัศน์ และรถยนต์ไฟฟ้า

3) แบตเตอรี่นิกเกิล-เหล็ก (Nickel-iron, Ni-Fe) หรือแบตเตอรี่เอดิสัน (Edison Battery) ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป และรถยนต์ไฟฟ้า

4) แบตเตอรี่นิกเกิล-สังกะสี (Nickel-Zinc, Ni-Zn) ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป กล้องถ่ายรูป อุปกรณ์ และเครื่องมือช่างแบบไร้สาย

5) แบตเตอรี่นิกเกิล-ไฮโดรเจน (Nickel-Hydrogen, Ni-H_2) ใช้งานในอวกาศ เช่น ดาวเทียม

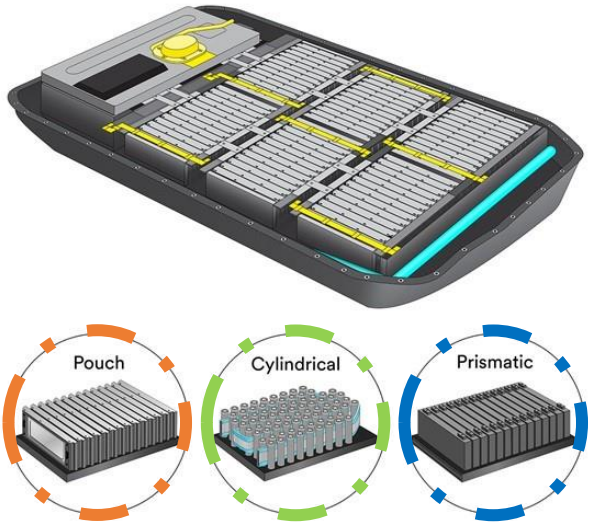
รูปที่ 6 แบตเตอรี่นิกเกิลประเภทต่างๆ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่นิกเกิลประเภทต่างๆ

สมบัติ	หน่วย	ประเภทของแบตเตอรี่นิกเกิล				
		Ni-Cd	Ni-MH	Ni-Fe	Ni-Zn	Ni-H_2
ความจุพลังงานต่อน้ำหนัก	Wh/Kg	10-40	45-110	30	60-110	64
ความจุพลังงานต่อปริมาตร	Wh/L	15-100	170-430	55	110-360	105
กำลังไฟฟ้า		ปานกลาง-สูง	สูง	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	ปานกลาง
ประสิทธิภาพการเก็บ/ปล่อยประจุ (Charge/discharge efficiency)	%	70-90	66	65-80		
อัตราการสูญเสียประจุระหว่างไม่ใช้งาน (Self discharge rate)	%/เดือน	5-15	15-30	20-40	20	สูงมาก
อายุการใช้งาน	ปี	5-25	5-10	8-25		
อายุการใช้งาน	ครั้ง	500-10000	500-1000	2000-4000	900	1500-6000
แรงดันของแบตเตอรี่ (Nominal cell voltage)	โวลต์	1.2	1.2	1.2	1.65	1.4
ช่วงอุณหภูมิใช้งาน	°C	-50 ถึง 70	-20 ถึง 65	-10 ถึง 45	-20 ถึง 45	0 ถึง 50

1.2 ชนิดของเซลล์แบตเตอรี่ตามรูปทรง [5]

รูปทรงของเซลล์แบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเป็นแหล่งพลังงานให้กับยานยนต์ไฟฟ้า นิยมนำมาใช้ 3 รูปทรง ได้แก่ เซลล์ถุง (Pouch cell) เซลล์ทรงกระบอก (Cylindrical cell) และเซลล์ทรงกล่อง (Prismatic cell) ดังนี้



รูปที่ 7 ชนิดของเซลล์แบตเตอรี่ตามรูปทรง [6]

เซลล์ทรงกระบอก จะมีโครงสร้างที่มี ความปลอดภัย สามารถรับแรงกดได้ โดยไม่เกิดการเสียรูป มีความาเสถียรภาพในการปล่อยกระแสไฟฟ้า พลังงานต่อน้ำหนักสูง แต่ใช้เซลล์เยอะในการประกอบ มีความนิมในอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า

รูปที่ 8 เซลล์ทรงกระบอก

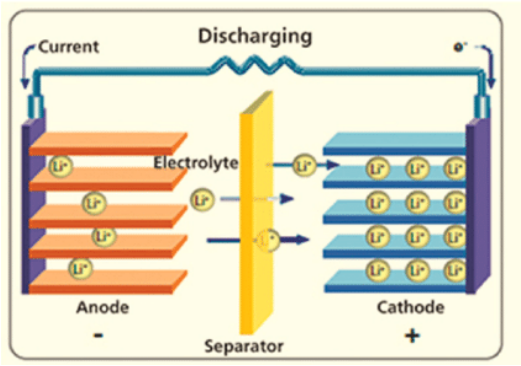
เซลล์ถุง จะมีน้ำหนักเบา ราคาถูก พลังงาน ต่อน้ำหนังสูง แต่มีการยืดหยุ่นของเซลล์ง่าย บวมง่าย ไม่สามารับแรงกระแทกได้ มี เสถียรภาพการระบายควมร้อนต่ำ ใช้เซลล์น้อยในการประกอบ

รูปที่ 9 เซลล์ถุง

เซลล์ทรงกล่อง ตัวถังจะรับแรงกดได้พอสมควร มีความแข็งแรง เก็บความจุได้มา กรูปทรงทำ ให้การระบายความร้อนได้น้อย ใช้เซลล์น้อย ในการประกอบ

รูปที่ 10 เซลล์ทรงกล่อง

1.3 ส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่ลิเธียม [7]



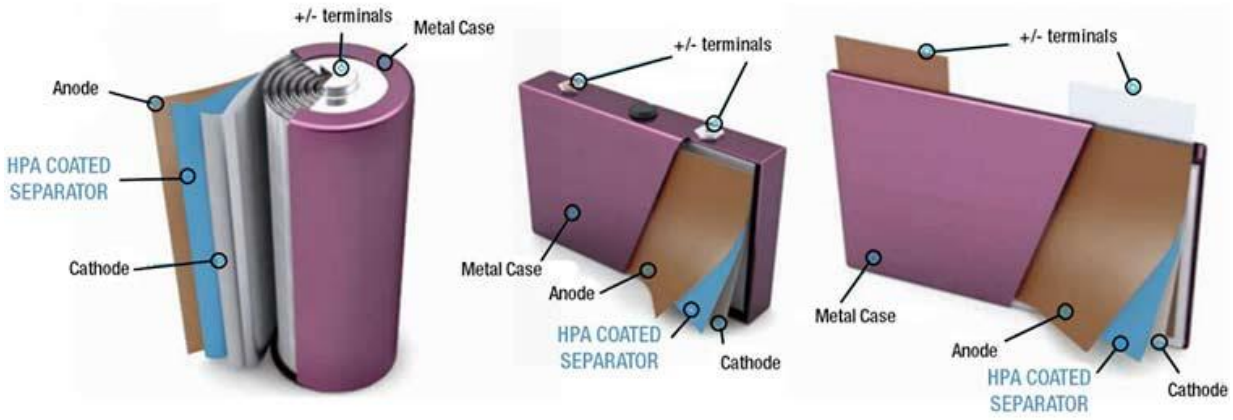
รูปที่ 11 ส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่ลิเธียม

ขั้วบวก (Anode) ขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือขั้วที่อิเล็กตรอนไหลเข้าหาเมื่อเกิดการคายประจุ (Discharge) โดยจะทำมาจากคาร์บอนที่มีรูพรุน เช่น แกรไฟต์ (Graphite) เคลือบบนแผ่นทองแดง

ขั้วลบ (Cathode) ขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันหรือขั้วที่อิเล็กตรอนไหลออกเมื่อเกิดการคายประจุ (Discharge) ทำมาจากเมทัลออกไซด์บนแผ่นอลูมิเนียม ซึ่งตัวนี้เป็นตัวหลักที่ทำให้แบตเตอรี่แต่ละยี่ห้อมีความแตกต่างกันในการใช้งานและความปลอดภัย

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) มีลักษณะเป็นของเหลว โดยทั่วไปประกอบด้วยเกลือลิเธียมและตัวทำละลายอินทรีย์

แผ่นกั้น (Separator) ป้องกัน ไม่ให้ขั้วแคโทดสัมผัสกับขั้วแอโนด เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจร ทำจาก พอลิโพรพิลีน (Polypropylene PP) / พอลิเอทิลีน (Polyethylene PE)

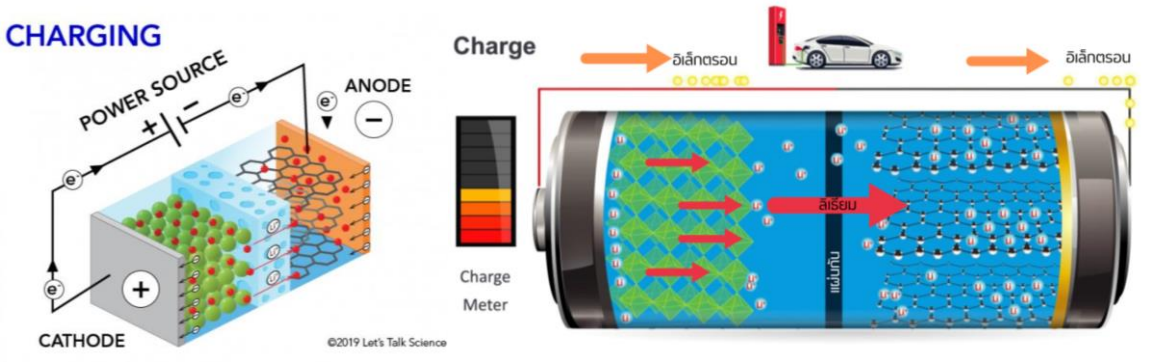


รูปที่ 12 ส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่ลิเธียมแบบทรงกระบอก แบบกล่อง และแบบถุง

1.4 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียม [8]

เมื่ออัดประจุ (Charge)

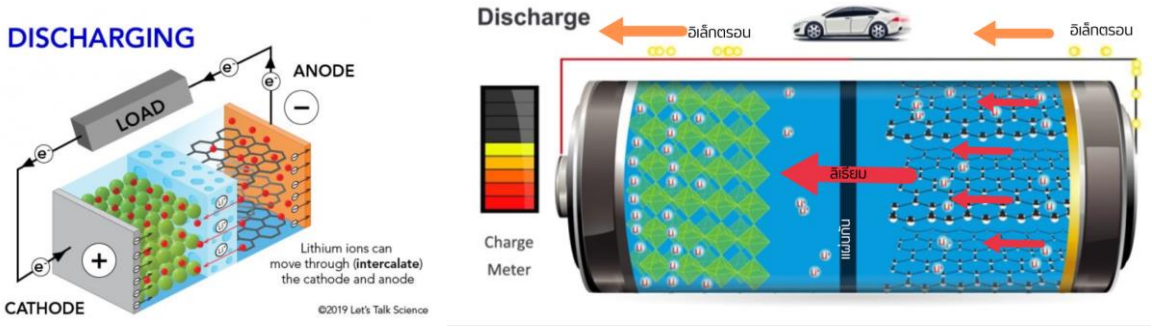
เมื่อทำการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ลิเธียมอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบ ลิเทียมไอออนบวกจะเคลื่อนที่โดนสารประกอบอิเล็กโตรไลต์ จากขั้วบวกไปขั้วลบโดยเคลื่อนที่ผ่านแผ่นกั้น (Separator) เพื่อไปรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากมาขั้วบวกจนเกิดการสมดุล จากนั้นขั้วบวกจะขาดอิเล็กตรอนจึงเรียกว่าไอออนบวก หรือ ขั้วบวก



รูปที่ 13 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมเมื่ออัดประจุ (Charge)

เมื่อคายประจุ (Discharge)

เมื่อมีโหลดไปต่อเข้ากับแบตเตอรี่ อิเล็กตรอนที่ถูกอัดประจุ(Charge) ไว้ที่ขั้วลบ จะเคลื่อนที่ผ่านโหลดเข้าไปที่เข้าบวก เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านโหลดจึงทำให้โหลดทำงานได้และลิเทียมไอออนก็จะเคลื่อนที่โดยสารประกอบอิเล็กโตรไลต์ผ่านแผ่นกั้นจากขั้วลบไปหาอิเล็กตรอนที่ขั้วบวก เมื่อลิเธียมไอออนกลับไปที่ขั้วบวกทั้งหมด หมายความว่าแบตหมดจะต้องทำการอัดประจุใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 14 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมเมื่อคายประจุ (Discharge)

1.5 คุณลักษณะต่างๆของเซลล์แบตเตอรี่

อัตราการคายประจุและการอัดประจุ (C-Rate)

C-Rate คือ หน่วยของการอัดประจุไฟฟ้าและการคายประจุไฟฟ้า จะคิดเป็นจำนวนเท่าของความจุของแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ NMC 3.7V 2.4 Ah

- อัตราการคายประจุ (Discharge) 0.5C คือ การคายประจุกระแสไฟฟ้า 1.2 A จะสามารถใช้งานได้นาน 2 ชั่วโมง
- อัตราการคายประจุ (Discharge) 1C คือ การคายประจุกระแสไฟฟ้า 2.4 A จะสามารถใช้งานได้นาน 1 ชั่วโมง
- อัตราการคายประจุ (Discharge) 2C คือ การคายประจุกระแสไฟฟ้า 4.8 A จะสามารถใช้งานได้นาน 30 นาที
- อัตราการอัดประจุ (Charge) 1C คือ ใช้เวลาในการอัดประจุ 1 ชั่วโมง
- อัตราการอัดประจุ (Charge) 2C คือ ใช้เวลาในการอัดประจุ 30 นาที

แต่การคายประจุไฟฟ้าที่ C-Rate สูงขึ้นประสิทธิภาพจะลดลง เช่น แบตเตอรี่ 2.4 Ah ถ้าคายประจุไฟฟ้า ที่ 1C ในทางปฏิบัติแล้ว จะจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ไม่ถึง 1 ชั่วโมง

การใช้งานการชาร์จเร็ว หรือ Fast charge หรือ Quick charge หรือ Supper charge จะทำให้เซลล์แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงและเสี่ยงต่อการเกิด ความเสียหายของแบตเตอรี่

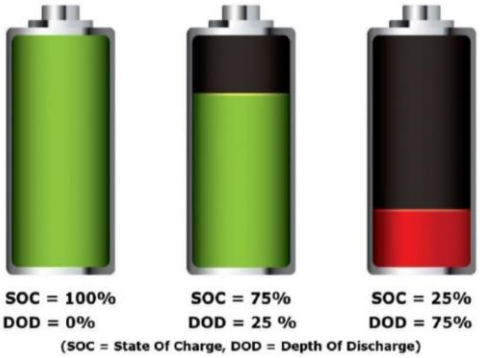
18650 3.7v 2400mAh Battery Basic specifications

tem	Parameters	
Rated Capacity	Typical	2400mAh
	Minimum	2350mAh
Alternating Internal Resistance	≤70mΩ	
Nominal Voltage	3.7V	
Voltage at end of Discharge	3.0V	
Charging at end of Voltage	4.20V	
Standard Charge	Constant Current 0.2C Constant Voltage 4.20V 0.02C cut-off	
Standard Discharge	Constant Current 0.2C end Voltage 3.0V	
Fast Charge	Constant Current 1C Constant Voltage 4.20V 0.02C5A cut-off	
Fast Discharge	Constant Current 1C end Voltage 3.0V	

รูปที่ 15 คุณลักษณะต่างๆของเซลล์แบตเตอรี่

State of charge (SOC) หรือสถานะการประจุไฟฟ้า เป็นค่าที่เป็นหลักในการใช้งานแบตเตอรี่ ใช้อธิบายความจุที่คงเหลือ อยู่ของแบตเตอรี่ หรือระดับการเก็บประจุ หรืออัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยบอกค่าเป็นเปอร์เซ็น เช่น SOC =100 % คือ แบตเตอรี่ที่ประจุไฟจนเต็มแล้ว

Deep of discharge (DOD) เป็นค่าเปอร์เซนต์ของความจุแบตเตอรี่ที่สามารถถูกคายประจุออกมาได้ต่อความจุที่มากที่สุด ที่สามารถคายออกมาได้ โดยบอกค่าเป็นเปอร์เซ็น ถ้าค่าความลึกของการคายประจุที่แสดงเป็น DOD อย่างน้อย 80% ถือว่าเป็น การคายประจุที่ลึกแล้ว ความสัมพันธ์ของค่า SOC กับ DOD เป็น DOD = 1 - SOC



รูปที่ 16 SOC และ DOD

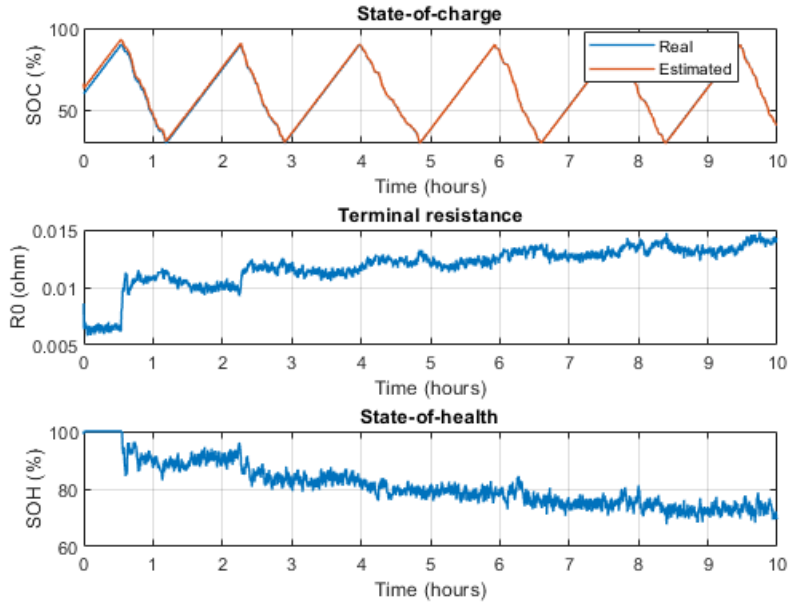
State of health (SOH) บ่งบอกการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ โดยใช้การคำนวนจากอัตราส่วนระหว่างค่าความจุสูงสุดแบตเตอรี่ที่ได้ใช้งานแล้ว(ที่ประจุเต็ม) ณ เวลานี้ ต่อค่าความจุสูงสุดของแบตเตอรี่ ณ เริ่มต้นใช้งานครั้งแรก โดยบอกค่าเป็นเปอร์เซ็น

SOH> 80% สภาพที่ดีเยี่ยม

80% - 60% สภาพดี

60% - 45% คำเตือนแบตเตอรี่ใกล้หมดอายุ

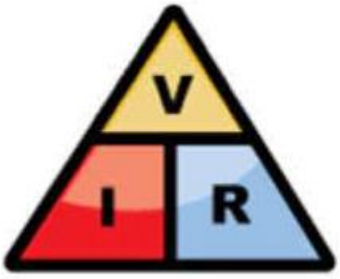
SOH <45% แนะนำให้เปลี่ยน



รูปที่ 17 SOC และ SOH

กฎของโอห์ม

จากกฎของโอห์มที่กล่าวไว้ว่า “ ในวงจรไฟฟ้าใด ๆ กระแสไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าและแปรผกผันกับค่าความต้านทานของวงจร” เพื่อให้ง่ายแก่การจำสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสามเหลี่ยมได้ดังนี้



สมการ $I = V/R$

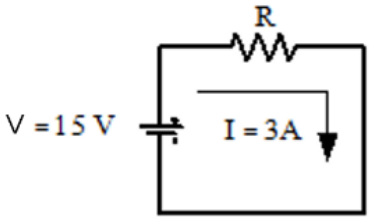
เมื่อ I กระแสไฟฟ้าของวงจร A
V แรงดันไฟฟ้า โวลต์ V
R ความต้านทานของวงจร Ω

รูปที่ 18 กฎสามเหลี่ยมของโอห์ม

เมื่อต้องการทราบค่าใดให้ใช้นิ้วปิดที่ค่านั้นจะได้สูตรความสัมพันธ์ กฎของโอห์มที่ต้องการได้ดังนี้

$$I = V/R$$
$$V = IR$$
และ $$R = V/I$$

ตัวอย่าง จงคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของวงจร



จากสมการ $R = V/I$
$R = 15V / 3A$
$R = 5\ \Omega$

การคำนวณหาค่าแรงดันรวมของแบตเตอรี่

สมการ $V_{total} = nV$

เมื่อ V_{total} พลังงานแบตเตอรี่ V
n จำนวนเซลล์แบตเตอรี่
V ความจุของแบตเตอรี่ V

การคำนวณหาค่าความจุรวมของแบตเตอรี่

สมการ $C_{total} = nC$

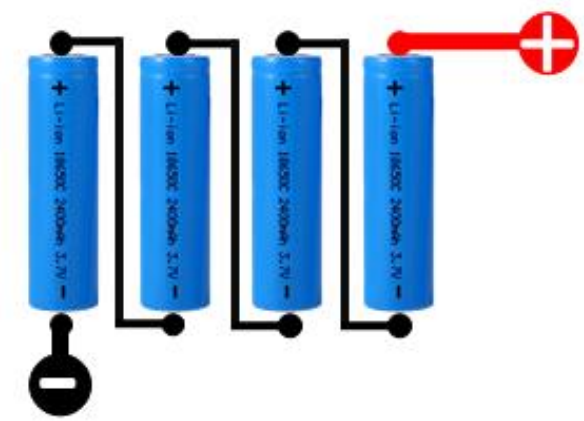
เมื่อ	C_{total}	พลังงานแบตเตอรี่	mAh , Ah
	n	จำนวนเซลล์แบตเตอรี่	
	C	ความจุของแบตเตอรี่	mAh , Ah

การคำนวณพลังงานทางไฟฟ้า

สมการ $P = CV$

เมื่อ	P	พลังงานแบตเตอรี่	Wh
	C	ความจุของแบตเตอรี่	Ah
	V	แรงดันไฟฟ้า	V

ตัวอย่างที่ 1 จากรูปเซลล์แบตเตอรี่ Li-ion 18650 2400 mAh 3.7V เชื่อมต่อแบบอนุกรม 4 เซลล์ จงคำนวณหาพลังงานทางไฟฟ้า



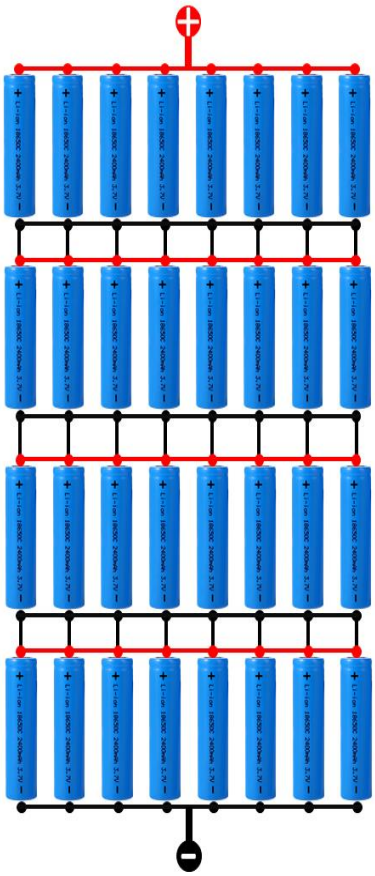
จากสมการ P=CV

แทนค่า P = 2.4 Ah × (4x3.7V)

P = 35.520 Wh

หรือ P = 0.035 kWh

ตัวอย่างที่ 2 จากรูปเซลล์แบตเตอรี่ Li-ion 18650 2400 mAh 3.7V เชื่อมต่อแบบนุกรมและแบบขนาน จงคำนวณหาพลังงานทางไฟฟ้า



ค่าทางไฟฟ้าแบบขนาน

การเชื่อมต่อแบบขนานจะได้ความจุของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นและแรงดันไฟฟ้าเท่าเดิม

ความจุของแบตเตอรี่ 1 เซลล์ คือ 2,400 mAh นำมาเชื่อมต่อแบบขนาน

จากสมการ $C_{total} = nC$

$C_{total} = 8 \times 2{,}400$ mAh

$C_{total} = 19{,}200$ mAh

ค่าทางไฟฟ้าแบบขนาน 8 เซลล์ หรือ 8P คือ 19,200 mAh หรือ 19.2 mAh

คำนวณหาค่าทางไฟฟ้าแบบอนุกรม

การเชื่อมต่อแบบอนุกรมจะได้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและความจุของแบตเตอรี่เท่าเดิม

แรงดันไฟฟ้า 1 โมดูล คือ 3.7 V นำมาเชื่อมต่อแบบอนุกรม

จากสมการ $V_{total} = nV$

$V_{total} = 4 \times 3.7$ V

$V_{total} = 14.8$ V

ค่าทางไฟฟ้าแบบอนุกรม 4 โมดูล หรือ 4S คือ 14.8 V

คำนวณหาค่าพลังงานทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่

จากสมการ $P = C_{total}V_{total}$

แทนค่า $P = 19.2 \text{ Ah} \times 14.8 \text{ V}$

$P = 284.16$ Wh

หรือ $P = 0.284$ kWh

ค่าพลังงานทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 4S8P คือ 0.284 kWh

เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างให้กระแสสูงหรือแรงดันสูง [9]

ใช้กระแสสูง (แรงดันต่ำ)

ข้อดี ปลอดภัยเมื่อแรงดันไฟฟ้า DC ไม่เกิน 60 V ต้องการ ค่าความเป็นฉนวนของอุปกรณ์น้อยกว่า อุปกรณ์หาง่าย และราคาถูก สำหรับมอเตอร์ขนาดเล็ก

ข้อเสีย มีการสูญเสียพลังงานเป็นความร้อนมากกว่า ต้องใช้อุปกรณ์และสายไฟขนาดใหญ่กว่า ทำให้แพ็ก แบตเตอรี่มีราคาแพงขึ้นนิยมใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก เช่น รถจักรยานยนต์ รถจักรยาน รถกอล์ฟ และรถสี่ล้อขนาดเล็ก

กำลังไฟฟ้า (W) : P=IV

ใช้แรงดันสูง (กระแสต่ำ)

ข้อดี อุปกรณ์มีราคาถูกกว่าเมื่อใช้กับยานยนต์ไฟฟ้า ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีการสูญเสียพลังงาน เป็นความร้อนน้อยกว่า

ข้อเสีย ต้องการค่าความเป็นฉนวนของอุปกรณ์มากกว่า และไม่ให้ คนเข้าถึงได้ง่ายนิยมใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ เช่น รถสี่ล้อขนาด ทั่วไป หรือรถบัส

1.6 ความปลอดภัยทางไฟฟ้า

1.6.1 มาตรฐานความปลอดภัยของแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า [10]

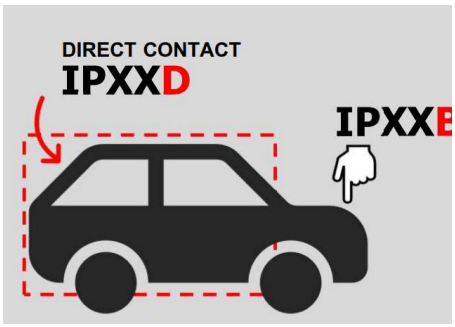
สหภาพยุโรปได้กำหนดให้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่จะจำหน่ายต้องผ่านมาตรฐานการทดสอบตามข้อกำหนดของ UNECE R100 โดยมีหัวข้อทดสอบที่ครอบคลุมทั้งตัวรถยนต์ไฟฟ้าเองและแบตเตอรี่ โดยการทดสอบหลักคือ: ข้อกำหนดของยานพาหนะเกี่ยวกับความปลอดภัยทางไฟฟ้า และข้อกำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยของระบบกักเก็บพลังงานแบบชาร์จไฟได้ (REESS)

โดยมีหัวข้อทดสอบที่สำคัญได้แก่ ความแข็งแกร่งของโครงสร้าง การป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรภายนอก การป้องกันการชาร์จเกิน การป้องกันการดิสชาร์จเกินการป้องกันอุณหภูมิสูงมากเกินไป การทดสอบความทนทานในสภาวะอุณหภูมิที่แตกต่าง การทดสอบการกระแทกทางกล การทดสอบความทนไฟ และการทดสอบแรงสั่นสะเทือน

สำหรับรถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่จำหน่ายภายในประเทศไทยทุกคันจะมีป้ายข้อมูลรถยนต์ตามมาตรฐานสากล หรือ ECO Sticker ซึ่งระบุมาตรฐานความปลอดภัยของรถ ครอบคลุมทั้งมาตรฐานระบบเบรก มาตรฐานการปกป้องผู้โดยสารและมาตรฐานความปลอดภัยของรถยนต์และแบตเตอรี่ ทำให้ผู้บริโภคสามารถตรวจสอบได้ว่ารถยนต์พลังงานไฟฟ้ารุ่นนั้นๆ ได้รับการรับรองมาตรฐานความปลอดภัยของรถยนต์และแบตเตอรี่ในระดับใด

1.6.2 ข้อกำหนดของ UNECE R100 ที่เกี่ยวกับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า [11]

1. สำหรับชิ้นส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าแรงสูงภายในห้องโดยสารหรือห้องเก็บสัมภาระ จะต้องจัดให้มีระดับการป้องกัน IPXXD ด้วยสายทดสอบ (Test wire)
2. สำหรับชิ้นส่วนไฟฟ้าแรงสูงที่มีไฟฟ้าแรงสูงในบริเวณอื่นนอกเหนือจากห้องโดยสารหรือห้องเก็บสัมภาระ จะต้องมีระดับการป้องกัน IPXXB ด้วยนิ้วทดสอบ (Test finger)

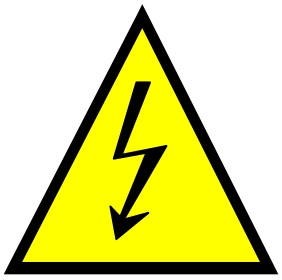


รูปที่ 19 IPXXD และ IPXXB

2. การปิดการทำงาน สำหรับการบริการไฟฟ้าแรงสูงซึ่งสามารถเปิด ถอดประกอบ หรือถอดออกได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือ ระดับการป้องกัน IPXXB จะต้องเป็นไปตามเกณฑ์เมื่อเปิด , ถอดประกอบหรือถอดออก

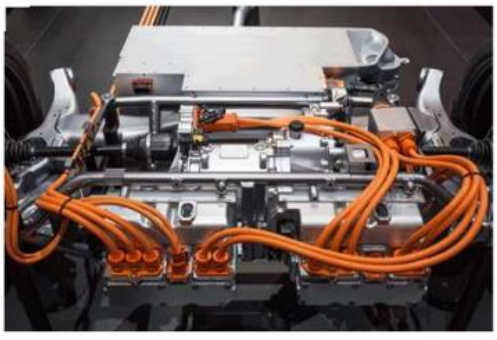
รูปที่ 20 Service Disconnect

3. การทำเครื่องหมาย สัญลักษณ์ไฟฟ้าแรงดันสูงที่แสดง จะต้องปรากฏบนหรือใกล้กับระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่อัดประจุซ้ำได้)Rechargeable Energy Storage Systems - REESS) ที่มีความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าแรงสูง พื้นหลังสัญลักษณ์จะเป็นสีเหลือง ขอบและลูกศรจะเป็นสีดำ สัญลักษณ์นี้จะต้องมองเห็นได้บนเปลือกหุ้มและแผ่นกั้นป้องกันไฟฟ้า ซึ่งเมื่อนำออกแล้ว จะเผยให้เห็นส่วนที่มีไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 21 สัญลักษณ์ไฟฟ้าแรงดันสูง

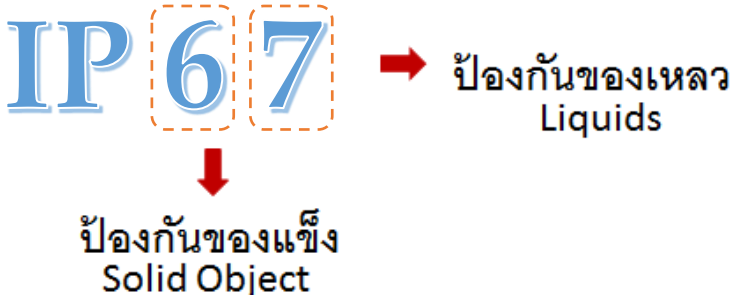
4. สายไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้าแรงสูงที่ไม่ได้อยู่ภายในเปลือกหุ้มจะต้องระบุโดยให้มีเปลือกหุ้มด้านนอกเป็นสีส้ม



รูปที่ 22 เปลือกหุ้มสายไฟฟ้าแรงดันสูง

1.6.3 มาตรฐาน IP (Ingress Protection Ratings) [12]

มาตรฐานการป้องกันน้ำและฝุ่น โดย IP เป็นชื่อของมาตรฐานที่จัดตั้งขึ้นโดย International Electrotechnical Commission (IEC) เพื่อพิจารณาว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ามีความทนทานต่อน้ำจืดและวัตถุทั่วไปอย่างไร เช่น ฝุ่นและทราย



รูปที่ 23 ความหมายของหมายเลขมาตรฐาน IP

ค่า IP จะแสดงด้วยตัวเลข 2 หลักคือ รูปแบบการแสดงมาตรฐานจะเป็น IPXX ซึ่ง XX เช่น IP65 IP67 IP68 เป็นต้น ตัวเลขหลักที่ 1 หมายถึงการป้องกันจากของแข็ง ซึ่งจะมีตั้งแต่ 0-6 และตัวเลขหลักที่ 2 หมายถึงการป้องกันจากของเหลว ซึ่งจะมีตั้งแต่ 0-8 โดยรถยนต์ไฟฟ้า EV ส่วนใหญ่จำเป็นต้องมีระดับการป้องกันอยู่ที่มาตรฐาน IP67 ขึ้นไป

ตารางที่ 2 ความหมายของตัวเลขที่กำกับมาตรฐาน IP

รหัส	**รหัส IP (หมายเลขแรก) ระดับการป้องกันของแข็งเล็ดลอดเข้าภายใน**	**รหัส IP (หมายเลขที่สอง) ระดับการป้องกันของของเหลวเข้าไปทำให้เสียหาย**
0	ไม่มีการป้องกันใดๆได้เลย	ไม่มีการป้องกันจากของเหลวใดๆได้เลย
1	มีการป้องกันจากของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตรขึ้นไปเข้าในอุปกรณ์	1 มีการป้องกันจากหยดน้ำที่หยดลงมาในแนวดิ่ง
2	มีการป้องกันจากของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า 12 มิลลิเมตรขึ้นไปเข้าในอุปกรณ์	มีการป้องกันจากหยดน้ำที่หยดลงกระทบทำมุม 15 องศาจากแนวดิ่ง
3	มีการป้องกันจากของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า 2.5 มิลลิเมตรขึ้นไปเข้าในอุปกรณ์	มีการป้องกันจากน้ำฝนที่ตกกระทบทำมุม 60 องศาจากแนวดิ่งโดยไม่ก่อเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์
4	มีการป้องกันจากของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตรขึ้นไปเข้าในอุปกรณ์	มีการป้องกันจากน้ำได้รอบทุกทิศทางโดยมีโอกาสที่น้ำจะเข้าไปได้เล็กน้อย
5	มีการป้องกันจากฝุ่นผงละออง สามารถมีฝุ่นเล็ดลอดเข้าไปในอุปกรณ์ได้เล็กน้อยแต่ต้องเป็นฝุ่นละอองของสารที่ไม่ทำให้เกิดอันตราย	มีการป้องกันจากสายน้ำ (jet water) ได้รอบทุกทิศทางโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์

ตารางที่ 2 (ต่อ) ความหมายของตัวเลขที่กำกับมาตรฐาน IP

รหัส	**รหัส IP (หมายเลขแรก) ระดับการป้องกันของแข็งเล็ดลอดเข้าภายใน**	**รหัส IP (หมายเลขที่สอง) ระดับการป้องกันของของเหลวเข้าไปทำให้เสียหาย**
6	การป้องกันจากฝุ่นผงละอองของสารที่อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนและสามารถป้องกันฝุ่นได้เต็มที่ร้อยเปอร์เซ็นต์	มีการป้องกันจากสายน้ำ (jet water) ที่มีแรงคล้ายๆกับน้ำทะเลสามารถป้องกันน้ำจากหัวฉีดขนาด 12.5 มิลิเมตรได้รอบทิศทางได้โดยมีโอกาสที่น้ำจะเข้าไปได้เล็กน้อย
7	ไม่มี	มีการป้องกันจากผลกระทบที่เกิดจากการจุ่มลงในน้ำได้ป้องกันการแทรกซึมของน้ำเข้าไปในอุปกรณ์เมื่อนำอุปกรณ์ลงไปแช่น้ำในความลึกสูงสุด 1 เมตร
8	ไม่มี	มีการป้องกันจากผลกระทบที่เกิดจากการจุ่มลงในน้ำภายใต้แรงกดดันได้ ป้องกันการแทรกซึมของน้ำเข้าไปในอุปกรณ์เมื่อนำอุปกรณ์ลงไปแช่น้ำในความลึกที่มากกว่า 1 เมตร

รูปที่ 24 การใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าสภาวะน้ำท่วมขัง

1.6.4 การซ่อมบำรุง [13]

ในด้านของการซ่อมบำรุงนั้น ระบบ High Voltage interlock เป็นอีกหนึ่งระบบที่สร้างขึ้นมาเพื่อเป็นการป้องกันไฟฟ้าช็อตเพื่อความปลอดภัยในกรณีที่ทางช่างเข้ามาซ่อมแซมแบตเตอรี่ ส่วนระบบ Manual Service Disconnect จะป้องกันคนหรือช่างมาสัมผัสกับไฟฟ้าที่อาจจะช็อตได้ ในที่นี้ทางช่างซ่อมต้องผ่านการอบรมการทำงานเกี่ยวกับหลักการทำงานของแหล่งจ่ายพลังงานและฟฟ้าแรงดันสูงแบบพิเศษที่ผ่านการยอมรับจากทางผู้ผลิต เนื่องจากระบบภายในของรถยนต์แต่ละยี่ห้อมีความแตกต่างกันดังนั้นหากเกิดอุบัติเหตุขึ้น ควรนำยานยนต์ไฟฟ้าไปซ่อมที่ศูนย์บริการเท่านั้น

ข้อควรระวังในการซ่อมบำรุงประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

1. การซ่อมบำรุงที่ยังไม่เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าแรงสูง ต้องมีการตรวจสภาพสายไฟแรงดันสูงก่อนเป็นอันดับแรก และหากมั่นใจว่ายังมีไฟฟ้าแรงดันสูงทำงานอยู่ และควรปิดสวิทช์ไฟแรงดันสูงทันทีก่อนดำเนินการซ่อมบำรุง

รูปที่ 25 การตรวจเช็ครถยนต์ไฟฟ้า

2. การซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าแรงสูง ข้อแนะนำแรกคือให้อ้างอิงถึงคู่มือหรือข้อแนะนำจากผู้ผลิตก่อนเป็นอันดับแรก ในเรื่องการตัดวงจรไฟฟ้าแรงสูงให้มีปลอดภัยโดยไม่มีเหตุการณ์ที่เกิดจากวงจรไฟฟ้า โดยไม่ตั้งใจได้ในระหว่างซ่อมบำรุง

รูปที่ 26 การเข้าระงับเหตุไฟลุกไหม้

นอกจากนั้นถึงแม้ว่าจะทราบกันดีว่าแบตเตอรี่มีทั้งอันตรายจากแรงดันสูง และอันตรายของมอเตอร์ที่เกิดจากแรงบิดสูง รวมถึงชุด Inverter ก็มีศักยภาพก่อให้เกิดอันตรายได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะ Inverter จะมีตัวเก็บประจุขนาดใหญ่มากเพื่อกรองความไม่ราบเรียบของกระแสไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน ข้อควรระวังก็คือถึงแม้รถจะหยุดหรือปิดสวิตช์แล้ว แต่ชิ้นส่วนใน Inverter ยังสามารถมีแรงดันไฟฟ้าที่สูงได้อย่างเป็นอันตราย

ในการซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าแรงสูง การมีอุปกรณ์ป้องกันการสัมผัสกับไฟฟ้าแรงสูงมีความสำคัญผู้ผลิตจะมีข้อแนะนำสำหรับอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment, PPE) ตามตารางที่ 3 ระบุอุปกรณ์ความปลอดภัยที่ต้องสวมใส่ขณะที่มีการทำงานกับระบบไฟฟ้าแรงสูง ยังมีข้อแนะนำให้ติดตั้งป่ายเตือนให้ทราบถึงการทำงานกับระบบฟฟ้าแรงสูงในบริเวณนั้นด้วย

ตารางที่ 3 อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่ใช้กรณีเข้าช่วยเหลือเมื่อเกิดอุบัติเหตุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ความปลอดภัย	รูปภาพ	มาตรฐาน
Face Shield : กระบังหน้า ใช้สวมใส่ระหว่างการทำงานกับไฟฟ้าแรงสูง โดยไม่ต้องสวมหมวกนิรภัย สามารถป้องกันประกายไฟที่เกิดจากลัดวงจรได้ ถึง 1000V ** ห้ามใช้สำหรับงานเชื่อม		EN 166/EN 170
Under gloves : ถุงมือผ้า (ใส่ชั้นที่1) ใช้สวมใส่ เพื่อเป็นฉนวนทำให้ใช้งานได้สะดวกขณะปฏิบัติงาน		-
Over gloves : ถุงมือป้องกันไฟฟ้า (ใส่ชั้นที่ 2) ใช้สวมใส่ขณะปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้าแรงสูง สามารถป้องกันไม่ให้ ถุงมือกันไฟฟ้าภายในฉีกขาด และป้องกัน ประกายไฟจากการลัดวงจรได้ด้วย		EN 388/ IEC388/EN420
Insulating Latex Gloves : ถุงมือยาง ใช้สวมใส่ ก่อนสวมใส่ถุงมือหนังก่อนปฏิบัติงาน สามารถ ป้องกันไฟฟ้าแรงสูง ตั งแต่ ≤1000V AC และ ≤1500V DC		**EN60903 / EN60903**
Insulating mats : เสื่อฉนวนกันไฟ ใช้ปูก่อนปฏิบัติกับไฟฟ้า สามารถป้องกันไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า สูงถึงกว่า 26 kV		**EN61111 / IEC61111**
Bag for insulating mats : ถุงใส่แผ่นรองกันไฟฟ้าแรงสูง		
Insulating flexible cover : ฉนวนไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น		
Footwear for electrical protection : ป้องกันไฟฟ้ากระแสสลับ 36,000 V AC หรือป้องกันไฟฟ้ากระตรง 25,000 V DC		**EN 50321-1**

หมายเหตุ EN (European Standard) : เป็นมาตรฐานทางไฟฟาของยุโรป
IEC (International Electrotechnical Commission) : เป็นองค์กรระหว่างประเทศที่ร่างมาตรฐานทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องมือในงานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

ในการทำงานกับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากเป็นไฟฟ้าแรงดันสูงที่เป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้ปฏิบัติงานนอกจากจะสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลแล้ว ยังต้องมีเครื่องมือที่ใช้งานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟาที่เป็นฉนวนสำหรับงานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ผู้ปฏิบัติงานจะต้องถอดเครื่องประดับที่เป็นโลหะห้ามใส่ขณะปฏิบัติงานกับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อไม่ให้เครื่องประดับสัมผัสกับแบตเตอรี่ที่อาจจะเกิดอันตรายต่อชีวิต

รูปที่ 27 เครื่องมือหุ้มฉนวนสำหรับงานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

2. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

การใช้เครื่องวัดทางไฟฟ้าในงานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าเป็นเรื่องที่สำคัญมาก เนื่องจากการตรวจเช็คแบตเตอรี่ในสภาวะต่างๆจำเป็นต้องมีเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าเพื่อทำการตรวจเช็คและวิเคราะห์ปัญหาของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ตั้งแต่ระดับแพ็คแบตเตอรี่ ระดับโมลดูล และระดับเซลล์ รวมถึงในการแพ็คแบตเตอรี่จำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ซึ่งเครื่องมือทางไฟฟ้ามีหลากหลายรุ่นหลากหลายยี่ห้อ ในการวัดค่าของแบตเตอรี่นั้นจะมีเครื่องมือชนิดต่างๆตามค่าที่ต้องการใช้งาน ในบทเรียนนี้จะเป็นการวัดทางไฟฟ้าเบื้องต้น ที่จำเป็นต่อการแพ็คแบตเตอรี่ดังนี้

2.1 ส่วนต่างๆ บนดิจิตอลมัลติมิเตอร์ [14]

1. สวิตช์ปรับแบบหมุน (Rotary switch) เป็นสวิตช์ที่ถูกใช้เพื่อให้ผู้ใช้เปลี่ยนฟังก์ชั่นการวัด เช่น แรงดัน AC, แรงดัน DC, ฟังก์ชั่นเช็คความต่อเนื่อง, เช็คความต้านทาน, เช็คค่าความจุไฟฟ้า, เช็คกระแส และอื่นๆ โดยจะเป็นฟังก์ชั่นไหนนั้น ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าจะเลือกใช้ฟังก์ชั่นไหน

2. ช่องสำหรับที่มีไว้เสียบเข็มวัด (Test lead, Measurement cable) จะใช้เพื่อการติดตั้งเข็มวัดสำหรับวัดค่าตามที่เราต้องการวัด โดยการติดตั้งเข็มวัดลงในช่องที่ถูกต้อง คือ เข็มวัดสีแดงจะต้องต่อกับช่องที่มีสัญลักษณ์ “VΩ” และเข็มวัดสีดำจะต้องต่อกับช่องที่มีสัญลักษณ์ “COM”(เกือบทุกค่าที่ต้องการวัดจะติดตั้งเข็มวัดที่ช่องเดียวกันในลักษณะนี้ ยกเว้นการวัดค่ากระแส)

3. ปุ่มกดฟังก์ชั่น (The operation keys) มีไว้เพื่อใช้สำหรับการเข้าสู่ฟังก์ชั่นกรวัดค่ากระแสและแรงดันในระบบไฟฟ้า AC และ DC และค่าอื่นๆ เช่น ค่าอุณหภูมิ, ฟังก์ชั่นการตรวจสอบไดโอด หรือปรับเป็นฟังก์ชั่นการแสดงผลอื่นๆ เช่นการค้างข้อมูลบนหน้าจอ การแสดงค่าสูงสุด/ต่ำสุดได้ด้วย

รูปที่ 28 มัลติมิเตอร์ Hioki Model: DT-4282

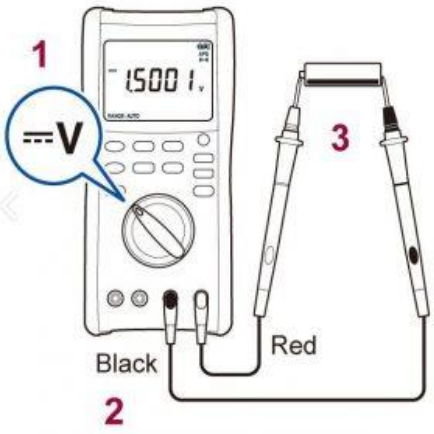
2.2 การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltage) [15]

การวัดแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า จำแนกเป็นมี 3 ส่วน ดังนี้

1. แรงดันไฟฟ้าขณะแบตเตอรี่เต็ม (Charge Limited Voltage) มักใช้ในการออกแบบวงจรชาร์จแบตเตอรี่ โดยไอซีชาร์จแบตเตอรี่มักจะมีขา หรือรุ่นย่อยให้เลือกแรงดันแบตเตอรี่ชาร์จเต็ม โดยอาจมีให้เลือก 4.2V 4.3V 4.4V โดยการเลือกต้องดูเอกสารข้อมูลสินค้าของแบตเตอรี่เป็นหลัก แต่โดยปกติแล้วแรงดันขณะชาร์จเต็มของแบตลิโพจะอยู่ที่ 4.2V

2. แรงดันไฟฟ้าขณะทำงานปกติ (Nominal Voltage) ใช้ในการออกแบบวงจรของอุปกรณ์ที่จะนำไปจ่ายไฟ โดยปกติแรงดันจะอยู่ในช่วง 3.7V - 3V โดยขึ้นอยู่กับกระแสที่ใช้ด้วย ยิ่งดึงกระแสสูงต่อเนื่องนาน ๆ จะยิ่งทำให้แรงดันปกติต่ำกว่า 3.7V โดยแนะนำให้ดูกราฟของแบตเตอรี่จากในเอกสารข้อมูลสินค้าประกอบ

3. แรงดันไฟฟ้าขณะแบตเตอรี่หมด (Cut off voltage) ใช้ออกแบบวงจรป้องกันแบตเตอรี่วงจรวัดแบตเตอรี่ โดยปกติแรงดันแบตเตอรี่หมดของแบตลิโพอยู่ที่ 2.75V



รูปที่ 29 การวัดแรงดันไฟฟ้า

วิธีการวัดแรงดัน DC (DC Voltage) [16]

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ มีวิธีการตั้งค่าก่อนการใช้งานดังนี้

1. หมุนปรับสวิตช์ (Rotary switch) ไปที่สัญลักษณ์ :::V (หมายเลข “1” ดังรูป)

2. ต่อเข็มวัด (Test lead) เข้ากับดิจิตอลมัลติมิเตอร์: สีดำ (ขั้วลบ) ต่อกับช่องที่มีสัญลักษณ์เขียนว่า “COM” และ สีแดง (ขั้วบวก) ต่อที่ช่องที่มีสัญลักษณ์เขียนว่า (VΩ) (หมายเลข “2” ดังรูป

3. ต่อเข็มวัดกับจุดที่ต้องการวัดโดยให้เข็มวัดสีดำต่อในด้านที่เป็นลบ

4. ต่อเข็มวัดกับจุดที่ต้องการวัดโดยให้เข็มวัดสีแดงต่อในด้านที่เป็นบวก

ข้อควรระวัง!!: ห้ามต่อเข็มวัดที่ช่องวัดกระแส (“A” Terminal) ในกรณีที่เราไม่ใช้ฟังก์ชั่นวัดกระแส สำหรับดิจิตอลมัลติมิเตอร์บางรุ่นถูกออกแบบมาให้มีกลไกการปิดช่องวัดกระแส เพื่อป้องกันการเชื่อมต่อที่ผิดพลาดหรือไม่ได้ตั้งใจ และบางรุ่นก็ไม่มีช่องวัดกระแสเลย (จงใจนำออกไป) ในขณะที่ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ของ Hioki นั้น ได้ติดตั้งฟิวส์เข้าไปเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการเชื่อมต่อเข็มวัดโดยไม่ตั้งใจท่อาจเกิดขึ้นได้ สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเราดูได้จากข้อมูลจำเพาะของดิจิตอลมัลติมิเตอร์แต่ละชนิด โดยดูว่าค่าที่เราต้องการวัดนั้นอยู่ในช่วงการวัดที่วงจรของดิจิตอลมัลติมิเตอร์นั้นทำการวัดได้หรือไม่

หมายเหตุ ถ้าการวัดค่าเป็นค่าลบที่หน้าจอแสดงผล แสดงถึงการต่อสายวัดผิดขั้ว

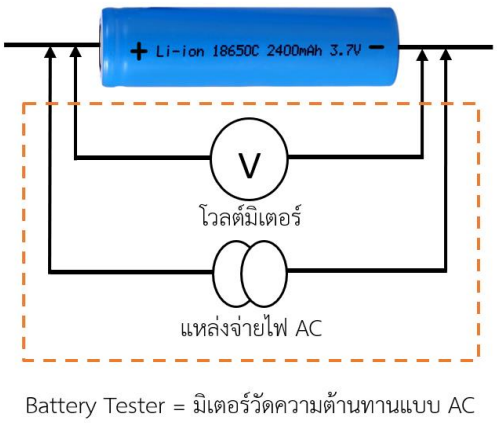
2.3 การวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ (Internal Resistance) [17]

คุณลักษณะของแบตเตอรี่มีความแตกต่างกันอย่างมากขึ้นอยู่กับความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ยิ่งความต้านทานภายในสูงขึ้นเท่าใดการสูญเสียพลังงานก็จะยิ่งสูงขึ้นและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ก็จะต่ำลงเท่านั้น นอกจากนี้ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ในระหว่างการใช้งานที่เพิ่มขึ้นนำไปสู่การเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควร โดยทั่วไปแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในต่ำกว่าจะเป็นแบตเตอรี่ที่มีคุณภาพดีกว่า ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณลักษณะของแบตเตอรี่

วิธีการวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

โดยทั่วไป การวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มี 2 ประเภท ได้แก่ วิธีกระแสตรง (DC) และวิธีกระแสสลับ (AC) วิธีกระแสตรงเป็นวิธีการที่แบตเตอรี่จะคายประจุด้วยกระแสคงที่และความต้านทานภายในจะถูกคำนวณจากค่าปัจจุบันของ การคายประจุและแรงดันที่ลดลงภายในเวลาที่กำหนด ส่วนใหญ่จะใช้ในการตรวจสอบคุณลักษณะการตอบสนองโหลดขนาดใหญ่

ในการวัดความต้านทานภายในโดยใช้วิธีกระแสสลับสัญญาณ AC ขนาดเล็กจะถูกนำไปใช้ในการทดสอบแบตเตอรี่ เพื่อหาส่วนประกอบความต้านทาน (Resistance) และความต้านทานปฏิกิริยา (Reactive Resistance) ของแบตเตอรี่จะถูกแยกและวัดเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพและคุณภาพของแบตเตอรี่ การวัดความต้านทานภายในด้วยวิธีกระแสสลับสามารถใช้งานดี เนื่องจากสามารถวัดได้ง่ายและมีการวัดซ้ำ (Repeatability) อุปกรณ์ขนาดเล็กและใช้เวลาทดสอบน้อย จึงเป็นวิธีที่เริ่มนิยมมากขึ้น



Battery Tester = มิเตอร์วัดความต้านทานแบบ AC

รูปที่ 30 การวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่ด้วยเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ (เครื่องวัดความต้านทานแบบ AC)

โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานที่วัดได้ด้วยวิธี DC จะเรียกว่า DC-IR และค่าความต้านทานที่วัดโดยวิธี AC นั้นเรียกว่า AC-IR โดยที่ IR คือ ความต้านทานภายใน (Internal Resistance) นอกจากนี้การวัดความต้านทานภายในด้วยวิธี AC มักเรียกง่ายๆ ว่า"การวัดอิมพิแดนซ์" หรือความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดต่อไป

ข้อสังเกต เราไม่สามารถวัดแบตเตอรี่ด้วยโอห์มมิเตอร์ปกติที่ใช้สำหรับการวัดความต้านทานและเครื่องวัดความต้านทาน (LCR meter) โดยในรูปที่ 30 แสดงถึงเครื่องวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่ซึ่งมีความแตกต่างจากเครื่องวัดความต้านทานทั่วไป โดยที่ผู้ทดสอบแบตเตอรี่มักจะสามารถวัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ได้นอกเหนือจากความต้านทาน

รูปที่ 31 เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ HIOKI

สำหรับการวัดความต้านทานที่ 1 kHz เป็นไปมาตรฐาน JIS C 8711: 2013 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับแบตเตอรี่ลิเธียมสำหรับอุปกรณ์พกพาในหัวข้อ “วิธีการวัดความต้านทานภายใน ของแบตเตอรี่ AC” นอกจากนี้ยังมีมาตรฐาน IEC61960 - 3:2017 ซึ่งมีข้อกำหนดเช่นเดียวกันกับเนื้อหานี้ ตัวอย่างการคำนวณ ตามมาตรฐาน ดังต่อไปนี้ ตัวอย่าง สัญญาณไฟฟ้า AC ความถี่ 1.0±0.1 kHz ทำ ให้ เกิดกระแส I_a เป็นระยะเวลา 1 - 5 วินาที โดยวัดแรงดันไฟฟ้า V_a โดยรวมจะทำการวัดที่ขั้วของแบตเตอรี่ ที่ต่อไว้สำหรับการวัดความต้านทานภายใน R_a ของแบตเตอรี่ที่ประกอบขึ้น จาก

คำนวณได้สมการ $R_a = V_a / I_a$

โดยที่ R_a คือ ความต้านทาน AC ภายในของแบตเตอรี่ (Ω)

V_a คือ แรงดันไฟฟ้า AC ตกคร่อมแบตเตอรี่ (V)

I_a คือ กระแสไฟฟ้า AC ที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ (A)

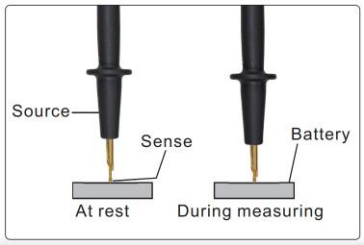
หมายเหตุ วิธีนี้กำหนดความถี่และเพื่อหาอิมพิแดนซ์ หรือการวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ทั่วไป

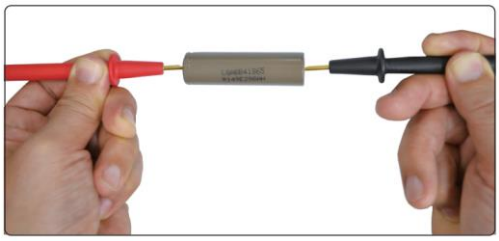
Battery Test ที่ใช้ในการทดลอง [18]

SPECIFICATIONS (All at 23°C±5°C, ≤80%R.H.)

DC Voltage			
Range	2V	20V	100V
Resolution	1mV	10mV	100mV
Accuracy	±(1%rdg+1dgt)	±(1%rdg+1dgt)	±(1%rdg+1dgt)
Resistance			
Range	200mΩ	2000mΩ	20Ω
Resolution	0.1mΩ	1mΩ	10mΩ
Accuracy	±(3%rdg+3dgt) >10mΩ	±(3%rdg+3dgt)	±(3%rdg+3 dgt)
General			
Low battery indication	"⊟+" sign appears on the display when the battery voltage drops below accurate operating level.		
Dimensions	192(L) × 88.6(W) × 45.2(D)mm		
Weight (battery included)	Approx. 360g		
Power source	9V (6F22) × 1		
Safety standard	EN 61010-1 CAT I 100V EN 61326-1		
Accessories	Instruction manual Test leads Battery Holster (optional)		

รูปที่ 32 Battery Tester
(เครื่องวัดความต้านทานแบบ AC)





รูปที่ 33 วิธีการใช้ Battery Tester

2.4 การจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่ [19]

การจัดกรุ๊ปเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมให้ได้ค่า ความด้านทานภายใน (IR) มีหน่วยเป็นมิลิโอห์ม ที่เท่ากันหรือให้ได้ใกล้เคียงมากที่สุด โดยการนำเอาค่า IR ในกรุ๊ปมาบวกกันเพื่อให้ได้ผลรวมของแต่ละกรุ๊ปที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ขั้นตอนนี้เป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการแพ็คแบตเตอรี่ใช้กับมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า โดยมีวิธีการทำมีดังนี้

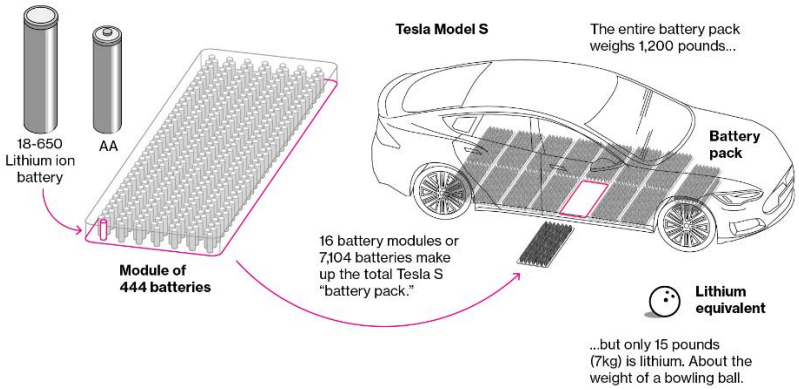
1. การนำเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมที่ชาร์ทเต็มแล้วทั้งหมดมาวัดหาค่า IR แล้วทำการเขียนค่า IR ไว้ที่เซลล์แบตเตอรี่ทุกเซลล์โดยใช้เครื่องวัดค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่เป็นตัววัด

2. การนำเซลล์แบตเตอรี่ที่วัดค่า IR ทั้งหมดที่จะแพ็คมาทำการจัดกรุ๊ปเซลล์แบตเตอรี่ จากค่า IR ที่วัดได้ โดยใช้โฮลเดอร์ในการจัดวางเซลล์แบตตอรี่ โดยการจัดค่าความต้านทานภายใน แต่ละกรุ๊ปให้ได้เท่ากันมากที่สุดหรือให้ได้ใกล้เคียงมากที่สุดนำค่า IR ในกรุ๊ปมาบวกกัน ให้ได้ผลรวมที่ในแต่ละกรุ๊ปเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ตามรูปตัวอย่างในตารางหน้าถัดไป

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่ 48V 20Ah (13S5P)

แถว การ ขนาน เซลล์	เซลล์ 1 กลุ่ม 1	เซลล์ 2 กลุ่ม 2	เซลล์ 3 กลุ่ม 3	เซลล์ 4 กลุ่ม 4	เซลล์ 5 กลุ่ม 5	เซลล์ 6 กลุ่ม 6	เซลล์ 7 กลุ่ม 7	เซลล์ 8 กลุ่ม 8	เซลล์ 9 กลุ่ม 9	เซลล์ 10 กลุ่ม 10	เซลล์ 11 กลุ่ม 11	เซลล์ 12 กลุ่ม 12	เซลล์ 13 กลุ่ม 13
1	4.2V 14.11 mΩ	4.2V 13.95 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 13.87 mΩ	4.2V 13.88 mΩ	4.2V 13.87 mΩ	4.2V 13.87 mΩ	4.2V 13.87 mΩ	4.2V 13.87 mΩ	4.2V 13.88 mΩ	4.2V 13.87 mΩ	4.2V 13.87 mΩ	4.2V 13.87 mΩ
2	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 13.95 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.08 mΩ	4.2V 14.12 mΩ
3	4.2V 13.87 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.11 mΩ	4.2V 14.11 mΩ	4.2V 14.18 mΩ	4.2V 14.11 mΩ	4.2V 14.11 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.11 mΩ	4.2V 14.08 mΩ	4.2V 14.11 mΩ
4	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ	4.2V 14.12 mΩ
5	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.35 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.45 mΩ	4.2V 14.20 mΩ	4.2V 14.20 mΩ
ผลรวม การจัด กลุ่ม	70.42 mΩ	70.42 mΩ	70.84 mΩ	70.42 mΩ	70.43 mΩ	70.72 mΩ	70.42 mΩ	70.50 mΩ	70.44 mΩ	70.44 mΩ	70.76 mΩ	70.35 mΩ	70.42 mΩ

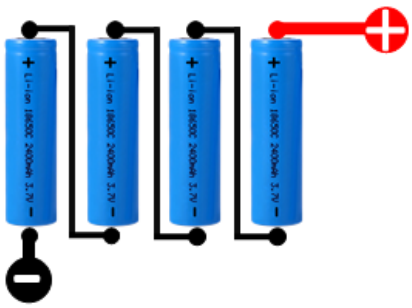
3. การเชื่อมต่อแบตเตอรี่ [20]



รูปที่ 34 แบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า Tesla model S [21]

แบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าประกอบไปด้วยเซลล์แบตเตอรี่หลายเซลล์ที่นำมาเชื่อมต่อ เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งาน ซึ่งในการใช้งานจะต้องเลือกชนิดของแบตเตอรี่ตามการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบ หรือ ขนาดความจุพลังงานที่ต้องการในการใช้งาน และในการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าประกอบไปด้วยการเชื่อมต่อ 3 รูปแบบ ได้แก่ การเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม การเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบขนาน และการเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบผสม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การเชื่อมต่อแบบอนุกรม (Series connection) [20]



รูปที่ 35 การเชื่อมต่อแบบอนุกรม

รถยนต์ไฮบริดบางรุ่นใช้ Li-ion 48V และใช้ DC-DC Converter แปลงจาก 48V เป็น 12V สำหรับระบบสตาร์ทเครื่องยนต์จะใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรด 12V แยกต่างหาก โดยรถยนต์ไฮบริดรุ่นแรกใช้แบตเตอรี่ 148V รถยนต์ไฟฟ้า โดยทั่วไปแรงดันไฟฟ้า จะอยู่ที่ประมาณ 450V – 500V แพ็คแบตเตอรี่ดังกล่าวต้องใช้เซลล์ Li-ion มาเชื่อมต่อแบบอนุกรมมากกว่า 100 เซลล์

แบตเตอรี่ที่มีแรงดันสูงจำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อเซลล์อย่างระมัดระวัง โดย เฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อมีภาระโหลดสูงหรือเมื่อทำงานที่อุณหภูมิต่ำๆ เมื่อมีเซลล์ หลายเซลล์เชื่อมต่อกัน โอกาสที่เซลล์ใดเซลล์หนึ่งจะมีปัญหา หรือชำรุด เสียหาย และปัญหานี้จะทำให้เกิดเซลล์อื่นๆรอบข้างเสียหายตามไปด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เซลล์ที่เสียหายทำให้เซลล์รอบๆเสียหายตามไปด้วย สำหรับแพ็คแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่บางระบบจึงมีสวิตช์โซลิดสเตต (solid state switch) เพื่อข้ามเซลล์ที่เสียหาย (Bypasses) เพื่อให้กระแสไฟไหลอย่าง ต่อเนื่อง แม้ว่าจะมีแรงดันไฟฟ้าต่ำลง

ตัวอย่างการเชื่อมต่อและการคำนวณ

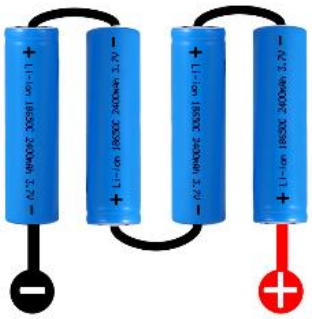
รูปที่ 36 การเชื่อมต่อและการคำนวณของการเชื่อมต่อแบบอนุกรม

การเชื่อมต่อแบบอนุกรมหากเพิ่มเซลล์จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ความจุยังคงเท่าเดิม

รูปที่ 37 การเชื่อมต่อแบบอนุกรมที่ไม่ถูกต้อง

เซลล์ที่ 3 เกิดปัญหาหรืออาจชำรุดเสียหาย เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าเซลล์อื่นๆ จะทำให้ เซลล์อื่นๆ เกิดปัญหาหรือเสียหายตามไปด้วย และจะทำให้ระบบตัดการทำงานเร็วกว่าปกติ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าในการทำงานเพียง 2.8 V แต่เซลล์อื่นๆ 3.6V จึงมีผลให้แบตเตอรี่ เซลล์ที่ 3 จะคายประจุหมดเร็วกว่าแบตเตอรี่ปกติ

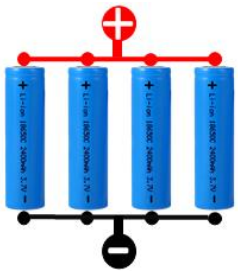
ตัวอย่างที่ 3.1 วงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ดังรูป มีแรงดันไฟฟ้าเท่าใด โดยเซลล์แบตเตอรี่ Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า 3.7V และความจุของเซลล์แบตเตอรี่ 2,400 mAh



วิธีทำ จากรูปวงจรการเชื่อมต่อ เป็นการเชื่อมต่อแบบอนุกรม 4 เซลล์

ดังนั้น แรงดันไฟฟ้าในวงจร จึงมีค่า 3.7V x 4 เซลล์ = **14.8V**

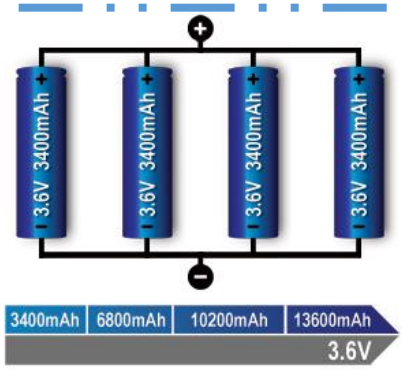
3.2 การเชื่อมต่อแบบขนาน (Parallel connection) [20]



รูปที่ 38 การเชื่อมต่อแบบขนาน

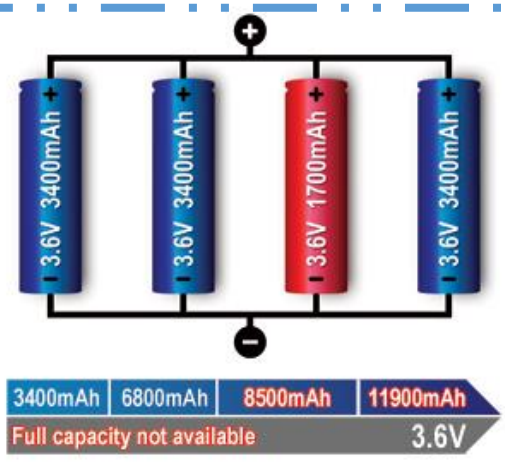
หากต้องการใช้กระแสไฟที่สูงขึ้นและไม่มีเซลล์ขนาดใหญ่ที่มีกระแสไฟสูงเพียงพอ หรือไม่เหมาะสมกับข้อจำกัดในการออกแบบ โดยเซลล์หนึ่งเซลล์ขึ้นไปสามารถนำมาเชื่อมต่อแบบขนานได้ การเชื่อมต่อแบบขนานหาก เพิ่มเซลล์จะทำให้กระแสไฟสูงขึ้น Runtime สูงขึ้น แต่แรงดันไฟฟ้ายังคงเท่าเดิม เช่น เชื่อมต่อขนาน 4 เซลล์ จะทำให้กระแสไฟเพิ่มขึ้น 4 เท่า และ Runtime เพิ่มขึ้น 4 เท่า

ตัวอย่างการเชื่อมต่อและการคำนวณ



รูปที่ 39 การเชื่อมต่อและการคำนวณของการเชื่อมต่อแบบขนาน

การเชื่อมต่อแบบขนานหากเพิ่มเซลล์จะทำให้กระแสไฟเพิ่มขึ้น แต่แรงดันไฟฟ้ายังคง เท่าเดิม



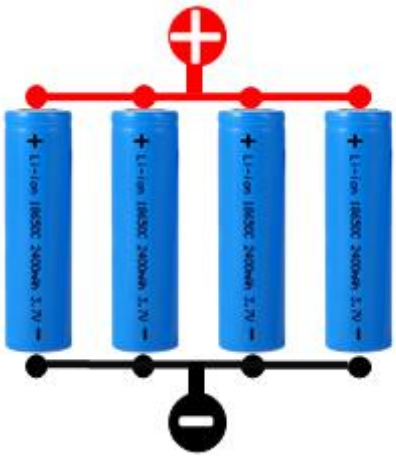
รูปที่ 40 การเชื่อมต่อแบบขนานที่ไม่ถูกต้อง

เซลล์ที่มีปัญหาหรือชำรุดเสียหายจะไม่ส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้า แต่ทำให้ Runtime ต่ำ เนื่องจากความจุลดลง เซลล์ที่ลัดวงจรอาจทำให้เกิดความร้อนสูงและเป็น อันตรายอาจเกิดไฟไหม้ได้ สำหรับแพ็คแบตเตอรี่ขนาดใหญ่จะมีฟิวส์ป้องกัน กระแสไฟสูงเกิน

ตัวอย่างที่ 1 วงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ดังรูป มีความจุของแบตเตอรี่เท่าใด โดยเซลล์แบตเตอรี่ Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า 3.7V และความจุของเซลล์แบตเตอรี่ 2,400 mAh

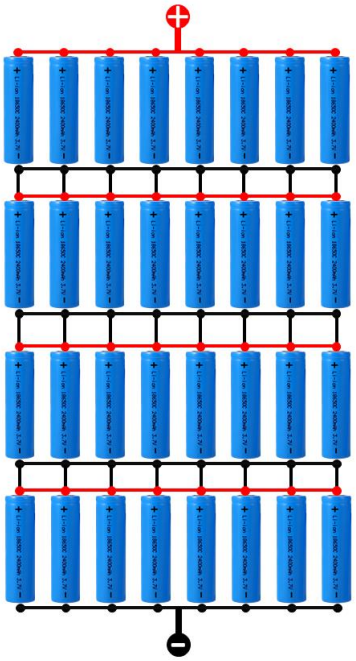
วิธีทำ จากรูปวงจรการเชื่อมต่อ เป็นการเชื่อมต่อแบบขนาน 2 เซลล์
ดังนั้น ความจุของแบตเตอรี่ในวงจร จึงมีค่า 2,400 mAh x 2 เซลล์ = **4,800 mAh**

ตัวอย่างที่ 2 วงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ดังรูป มีความจุของแบตเตอรี่เท่าใด โดยเซลล์แบตเตอรี่ Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า 3.7V และความจุของเซลล์แบตเตอรี่ 2,400 mAh



วิธีทำ จากรูปวงจรการเชื่อมต่อ เป็นการเชื่อมต่อแบบขนาน 4 เซลล์
ดังนั้น ความจุของแบตเตอรี่ในวงจร จึงมีค่า 2,400 mAh x 4 เซลล์ = **9,600 mAh**

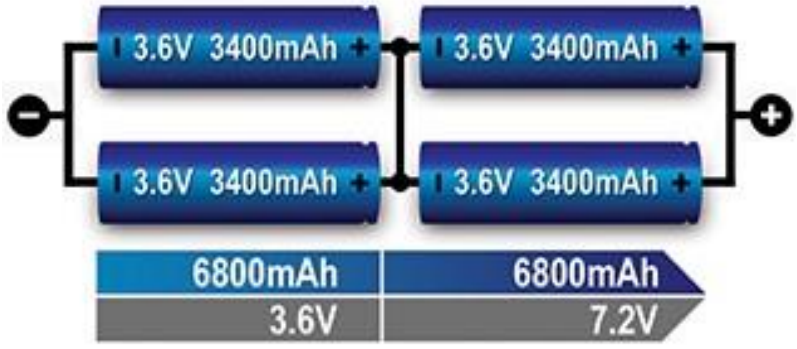
3.3 การเชื่อมต่อแบบผสม (Series/Parallel connection) [20]



แบตเตอรี่บางแพ็กอาจประกอบด้วยการเชื่อมต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน เนื่องจากการเชื่อมต่อแบบอนุกรมทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น(V) แต่ความจุเท่าเดิม (Ah) และการเชื่อมต่อแบบขนานทำให้ความจะเพิ่มขึ้น (Ah) แต่แรงดันเท่าเดิม (V) ทำให้ต้องเชื่อมต่อทั้งสองแบบเข้าด้วยกันเรียกว่า “การเชื่อมต่อแบบผสม” ดังรูปที่ 26

รูปที่ 41 การเชื่อมต่อแบบผสม

ตัวอย่างการเชื่อมต่อและการคำนวณ



รูปที่ 42 การเชื่อมต่อและการคำนวณของการเชื่อมต่อแบบผสม

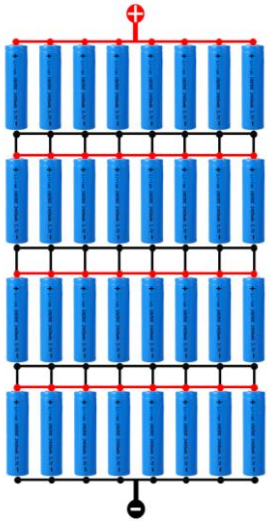
ถ้ามีเซลล์แบตเตอรี่ Li-ion (NMC 3.6V 3,400mAh) ต้องการแพ็กแบตเตอรี่ 7.2V 6,800mAh จะต้องใช้เซลล์แบตเตอรี่ Li-ion มาเชื่อมต่อแบบขนาน เพื่อเพิ่มความจุจาก 3,400mAh เป็น 6,800mAh จำนวนสองโมดูล และนำโมดูล ทั้งสองมาเชื่อมต่อแบบอนุกรม เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้า 7.2V ดังรูป การเชื่อมต่อแบตเตอรี่ ดังกล่าวเรียกว่า 2S2P

เซลล์แบตเตอรี่ Li-ion 18650 (3.7V 2,400 mAh) ต้องการแพ็กแบตเตอรี่ 14.8 V 19,200 mAh

จะต้องใช้ เซลล์แบตเตอรี่ Li-ion 18650 มาทำการเชื่อมต่อแบบขนาน เพื่อเพิ่มความจุของแพ็คจาก 2,400 mAh เป็น 19,200 mAh จำนวน 4 โมดูล

จากนั้น นำโมดูลทั้ง 4 โมดูล มาเชื่อมต่อแบบอนุกรม เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้า 14.8 V

ดังรูป การเชื่อมต่อแบตเตอรี่ ดังกล่าวเรียกว่า **4S8P หรือ 4Series 8 Parallel**



รูปที่ 43 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่ 4S8P

ตัวอย่างการคำนวณเบื้องต้น

ตัวอย่างที่ 1 รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า มีกำลังมอเตอร์ 3,000 W 72 V ถ้าหากต้องการให้สามารถใช้งานด้วยกำลังสูงสุดอย่างต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง จะต้องแพ็คแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าและความจุของแบตเตอรี่เท่าใด (โดยเซลล์แบตเตอรี่ Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า3.7 V และความจุ 2,400 mAh)

วิธีการคำนวณ 1. มอเตอร์แรงดันไฟฟ้า 72 V จะต้องแพ็คแบตเตอรี่ให้ได้ 72 V

เมื่อทราบแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการของแพ็คแบตเตอรี่แล้ว จำต้องนำแบตเตอรี่เชื่อมต่อแบบอนุกรม แรงดนไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซลล์แบตเตอรี่

โดย 3.7 V x 20 เซลล์ = 74 Vหรือ **20S**

หมายเหตุ แรงดันไฟฟ้าจะต้องเท่ากับมอเตอร์ หรือ มากกว่าแต่ต้องใกล้เคียงมากที่สุด

2. ต้องการให้สามารถใช้งานด้วยกำลังสูงสุดอย่างต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง จะต้องแพ็คแบตเตอรี่ให้ได้กำลังไฟฟ้าชั่วโมง ให้ได้ 3,000 Wh โดยสามารถหาความจุของแพ็คแบตเตอรี่

จากสมการ $W = V \times C_{total}$

ย้ายข้างสมการ $C_{total} = \frac{W}{V}$

$C_{total} = \frac{3000\ Wh}{72\ V}$

$C_{total} = 41.67\ Ah$

เมื่อทราบความจุของแพ็คแบตเตอรี่แล้ว จะต้องนำแบตเตอรี่เชื่อมต่อแบบขนาน ความจุของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นตามจำนวนเซลล์แบตเตอรี่

โดย 2.4 Ah x 18 เซลล์ = 43.2Ah หรือ **18P**

หมายเหตุ ความจุของแพ็คแบตอตรี่จะต้องเท่ากับมอเตอร์ หรือ มากกว่าแต่ต้องใกล้เคียงมากที่สุด

ดังนั้น แบตเตอรี่แพ็คนี้จะต้องทำการเชื่อมต่อแบบ **20S18P**

ตัวอย่างที่ 2 การแพ็คแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้า 72 V และความจุของแพ็คแบตเตอรี่ 23.1 Ah เพื่อใช้กับรถจักรยานไฟฟ้าที่มีมอเตอร์ 72 V 3000W (โดยเซลล์แบตเตอรี่ Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า3.7 V และความจุ 3,300 mAh) วิธีการคำนวณแพ็คแบตเตอรี่ 72 V 23.1 Ah ดังนี้

วิธีการคำนวณ 1. ต้องการแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้า 72 V

เมื่อทราบแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการของแพ็คแบตเตอรี่แล้ว จำต้องนำแบตเตอรี่เชื่อมต่อแบบอนุกรม แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซลล์แบตเตอรี่

โดย 3.7 V x 20 เซลล์ = 74 Vหรือ **20S**

2. ต้องการแบตเตอรี่ความจุรวม 23.1 Ah

เมื่อทราบความจุของแพ็คแบตเตอรี่แล้ว จะต้องนำแบตเตอรี่เชื่อมต่อแบบขนาน ความจุของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นตามจำนวนเซลล์แบตเตอรี่

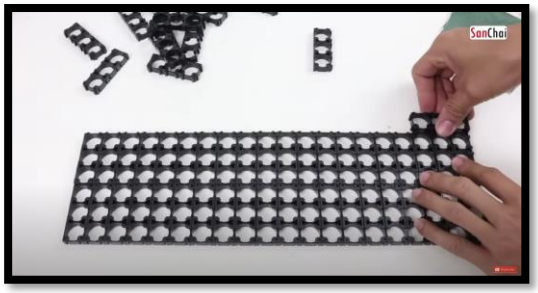
โดย 3.3 Ah x 7 เซลล์ = 23.1 Ah หรือ **7P**

ดังนั้น แบตเตอรี่แพ็คนี้จะต้องทำการเชื่อมต่อแบบ **20S7P**

3.4 ขั้นตอนการแพ็คแบตเตอรี่ [22]

จากตัวอย่างที่ 2 แพ็คแบตเตอรี่ Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า 72 V และความจุของแพ็คแบตเตอรี่ 23.1 Ah มีขั้นตอนการแพ็คแบตเตอรี่ดังนี้

1. ประกอบรางบล็อคเปลือยแบตเตอรี่ตามขนาดหรือจำนวนของเซลล์แบตเตอรี่ที่ออกแบบไว้



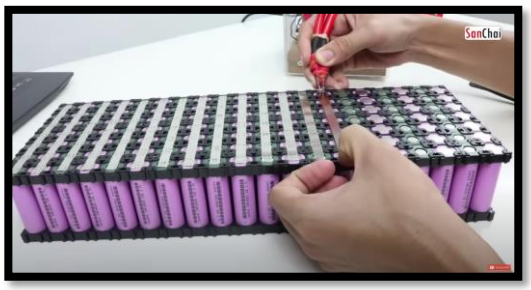
รูปที่ 44 ประกอบรางบล็อคเปลือย

รูปที่ 45 ติดสติกเกอร์ฉนวน

2. ติดสติกเกอร์ฉนวนที่ขั้วบวกของเซลล์แบตเตอรี่ตามจำนวนที่ออกแบบไว้

3. ประกอบเซลล์แบตเตอรี่ลงในราง
บล็อคเปลือย ตามจำนวนที่ออกแบบไว้

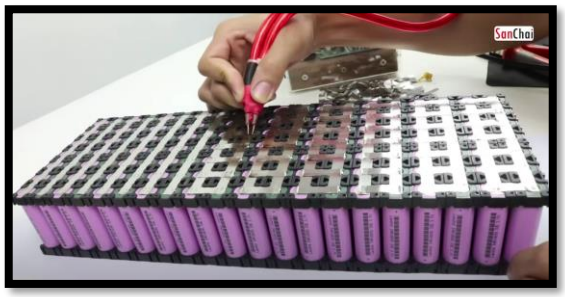
รูปที่ 46 ประกอบเซลล์แบตเตอรี่ลงในรางบล็อคเปลือย



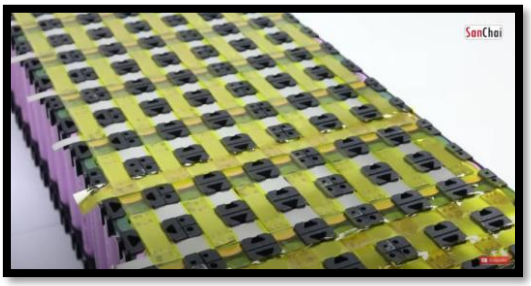
4. ทำการเชื่อมต่อแบบขนาน โดยวิธีการ
Spot welding แผ่นนิเกิลกับเซลล์แบตเตอรี่
* ขั้นตอนนี้ต้องให้แผ่นนิเกิลแนบชิดกับขั้ว
ของเซลล์แบตเตอรี่

รูปที่ 47 การเชื่อมต่อแบบขนาน

5. ทำการเชื่อมต่อแบบอนุกรม โดยวิธีการ
Spot welding แผ่นนิเกิลกับเซลล์แบตเตอรี่
* ขั้นตอนนี้ต้องให้แผ่นนิเกิลแนบชิดกับขั้ว
ของเซลล์แบตเตอรี่



รูปที่ 48 การเชื่อมต่อแบบอนุกรม

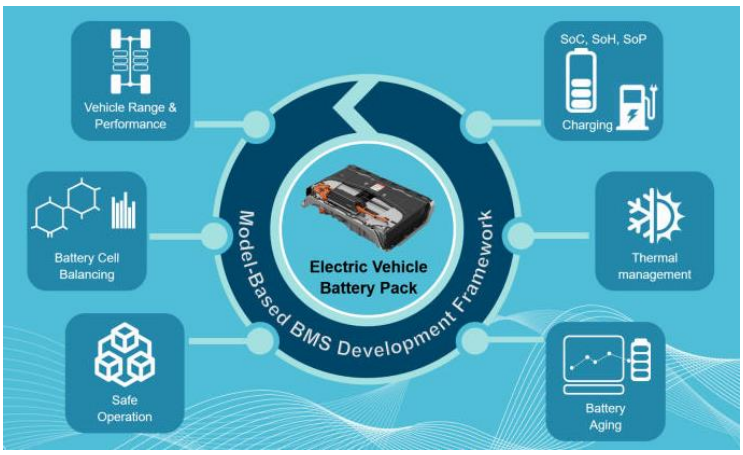


6. ติดเทปฉนวนกันความร้อนที่ขั้วของเซลล์แบตเตอรี่

รูปที่ 49 การเชื่อมต่อแบบขนาน

หมายเหตุ ขั้นตอนที่ 1-6 นี้เป็นขั้นตอนการประกอบแบตเตอรี่ ยังไม่ได้นำไปเชื่อมต่อกับระบบบริการจัดการแบตเตอรี่ และยังไม่ทำการแพ็คบรรจุลงในกล่อง ยังไม่ควรนำไปใช้งาน

4. ระบบจัดการแบตเตอรี่ Battery Management System (BMS)



รูปที่ 50 การควบคุมและแสดงผลของ BMS

ระบบจัดการแบตเตอรี่ **(Battery Management System)** เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ ในการจัดการผลที่ออกมา ในการอัดประจุและคายประจุระบบจัดการแบตเตอรี่จะเตือนสถานะการทำงานของแพ็คแบตเตอรี่ป้องกันความเสียหายจากความผิดปกติของแบตเตอรี่

หน้าที่ส่วนสำคัญในระบบจัดการแบตเตอรี่คือการป้องกันใน 2 กรณี คือ การอัดประจุมากเกินไป (overcharge) มันสามารถทำแบตเตอรี่ให้เกิดความเสียหายก่อให้เกิดความร้อนและการระเบิดจากกระแสและแรงดันมากเกินไป ส่วนอีกนัยนึงแบตเตอรี่จะถูกทำลายจากการคายประจุที่ต่ำจนหมดสภาพประมาณ 5% ของความจุทั้งหมดมันจะส่งผลต่อการใช้งานของแบตเตอรี่นั้นจะทำให้คุณภาพต่ำลงแบตเตอรี่จึงไม่สามารถที่จะทำงานในการอัดประจุและคายประจุที่สูงและต่ำเกินกว่าค่าที่จำกัดไว้

4.1 หลักการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่ [23]

การทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่หากมีหลายๆเซลล์ จะต้องมีการจัดการควบคุมระบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานโดยผ่านการควบคุมด้วยระบบการจัดการแบตเตอรี่ (BMS)

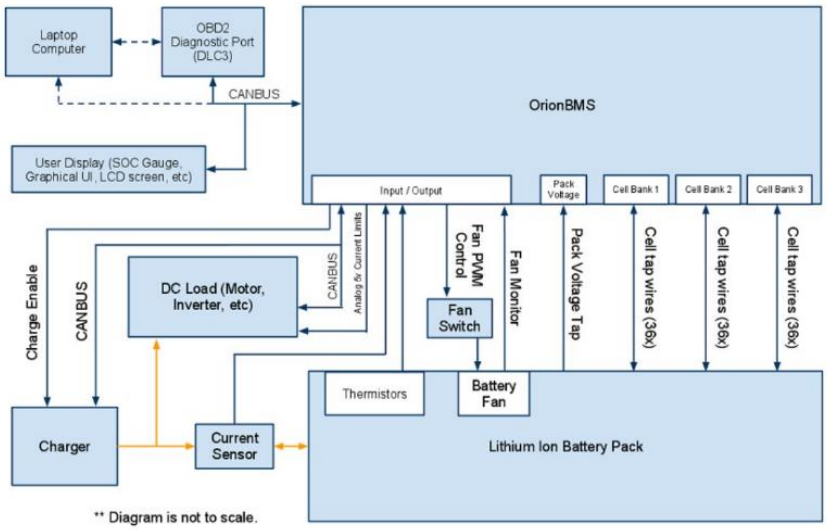
4.1.1 ระบบการจัดการของแบตเตอรี่มีหลักการพื้นฐาน 3 ประการ

1. ควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าจากการชาร์จพลังงานสูงเกินไปในเซลล์ (แรงดันสูง) หรือการใช้พลังงานที่มากเกินไป (แรงดันต่ำ) มันช่วยในการขยายอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ เพื่อจะทำให้เซลล์แบตเตอรี่ในทุกๆเซลล์มีค่าใกล้เคียงกันกับความเหมาะสม ด้วยการคำนวณการชาร์จกลับเข้าแบตเตอรี่และการใช้พลังงานของมันเอง
2. ประเมินสถานะค่า SoC (State of Charge) บอกสถานะปริมาณของแบตเตอรี่ในการอัดประจุและคายประจุได้จากการวัดแรงดันของเซลล์ย่อยในแบตเตอรี่หรือค่าความเป็นกรดในเซลล์แบตเตอรี่
3. ประเมินความปลอดภัยและสถานะแบตเตอรี่ควบคุมแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ให้มีค่าคงที่ด้วยการตรวจสอบการไหลกระแสไฟและความบกพร่องที่เกิดขึ้นเพื่อที่จะทำการแทนที่

4.1.2 การทำงานของระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่มี 4 ประการ

ถ้าหากพิจารณาหน้าที่พื้นฐานทั้งสามประการของระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (BMS) มีความสามารถในการจัดการข้อมูล จากหน้าที่หลัก ดังนี้

1. ปรับสมดุลแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ ให้เหมาะสมกับการอัดและคายประจุ
2. จัดการอุณหภูมิของแบตเตอรี่ด้วยการควบคุมให้พัดลมทำงานปกติในการระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่ที่มีการอัดหรือคายประจุ ระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS) มีการทำงานอยู่ถ้าหากไม่มีหรือพัดลมเสียจะไม่หมุนระบายความร้อน
3. จัดการข้อมูลที่ได้รับมาจากตัวแปรต่างๆตลอดเวลา เช่น การควบคุมมอเตอร์ที่ทำการชาร์จกลับเข้าแบตเตอรี่ แสดงผลค่าตัวแปรด้วยสัญญาณต่างๆ
   เช่น CANBUS สัญญาณอนาล็อก และสัญญาณดิจิตอล
4. เก็บผลข้อมูลที่มีปัญหาและทำการแสดงผลเพื่อนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาให้ถูกจุด



รูปที่ 51 วงจรการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่

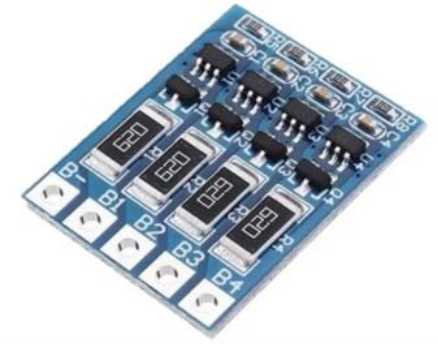
4.1.3 สภาวะการอัดประจุไฟ (state of Charge) แบ่งได้ออกเป็น 4 ระยะ

1. การอัดกระแสคงที่ (constant Current Charge) คือ การอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่จนกว่าแรงดันไฟฟ้าจะเข้าสู่ค่าที่กำหนด
2. การอัดประจุเต็ม (Saturation Charge) คือ เมื่อแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ค่าที่กำหนด แรงดันไฟฟ้าจะคงที่จนกระทั่งอัดประจุได้เต็มใน ขณะเดียวกันนั้น กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ
3. การหยุดการอัดประจุ (Ready; No current) คือ เมื่อทำการอัดประจุจนเต็มแล้ว กระบวนการอัดประจุจะหยุดลง
4. การควบคุมประจุให้คงที่ (Standby mode) คือ เมื่ออัดประจุเรียบร้อยแล้ว และแบตเตอรี่ยังไม่ได้ถูกใช้งาน แรงดันจะลดลง จึงมีระยะนี้ไว้เพื่ออัดประจุกลับไปให้เต็มอีกครั้ง

4.2 ประเภทของระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ลิเทียม [24]

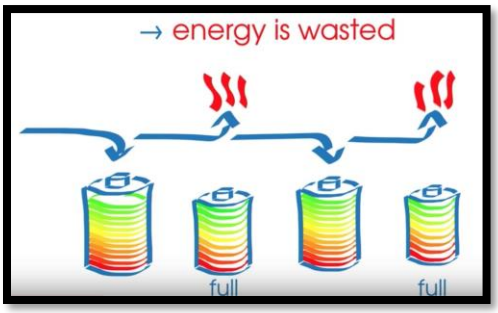
ในการนำเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมมาต่ออนุกรมกันหลายๆเซลล์ จำเป็นต้องมีการบาลานซ์เซลล์ ซึ่งเป็นหนึ่งในฟังก์ชันการทำงานของระบบบริหารและจัดการพลังงานแบตเตอรี่ Battery Management System (BMS) เพื่อให้โมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมนั้นมีประสิทธิภาพ และความปลอดภัยในการใช้งานสูงสุด โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ แบบ Passive balancer และแบบ Active balancer ดังนี้

Passive Balancer หรือ Dissipative techniques ประจุจะถูกดึงออกจาก เซลล์ที่มีระดับ พลังงานสูงกว่า จนกระทั่งระดับพลังงานเท่ากับเซลล์อื่นๆ ผ่านทาง ตัวต้านทาน (resistive element) ตัวอย่างการประดิษฐ์ระบบควบคุมและป้องกันแบตเตอรี่ [4] เช่นทำโดยการวัดและควบคุมแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์แบตเตอรี่ ประจุของเซลล์ที่ระดับแรงดันสูงกว่าเซลล์อื่นๆจะถูกถ่ายโอนไปให้ตัวเก็บประจุ (Capacitor) แรงดันของแต่ละเซลล์จะถูกวัดโดยการนำ analog to digital converter (ADC) และprocessor จะทำหน้าที่ประมวลผล และส่งสัญญาณไปยังระบบอื่นๆ ซึ่งทำให้ค่าแรงดันที่วัดได้มีความแม่นยำและระบบควบคุมมีความเชื่อถือได้เพิ่มขึ้น ข้อดีของ passive cell balancing คือวงจรไม่ซับซ้อน ทำได้ง่าย แต่สูญเสียพลังงานในการทำ balancing cell จากการเผาพลังงานทิ้งโดยตัวต้านทาน

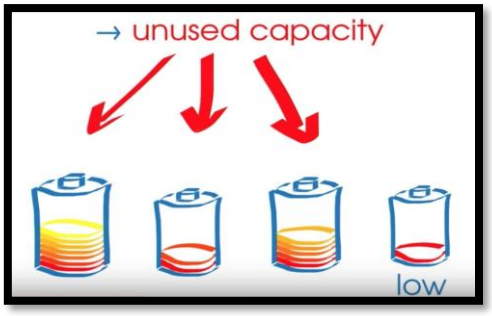


รูปที่ 52 Passive Balancer

จะทำการปล่อยพลังงานทิ้งไป (By Pass) เมื่อ Battery เซลล์ใดเซลล์หนึ่งเต็ม ดังรูปที่ 53



รูปที่ 53 การทำงานของ Passive Balancer



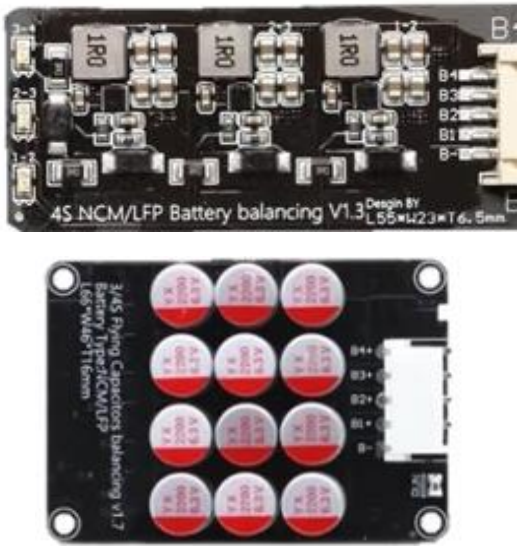
รูปที่ 54 Passive Balancer ทุกเซลล์จะคายประจุหมดไม่พร้อมกัน

เมื่อนำ Battery ไปใช้งาน วงจร BMS จะไม่ได้ทำหน้าที่อะไร ทำให้การคายประจุของแต่ละเซลล์ไม่ Balance กัน ส่งผลให้บางเซลล์ยังมีพลังงานเหลืออยู่ไม่ได้ใช้งาน ซึ่งจะใช้งาน Battery ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 54

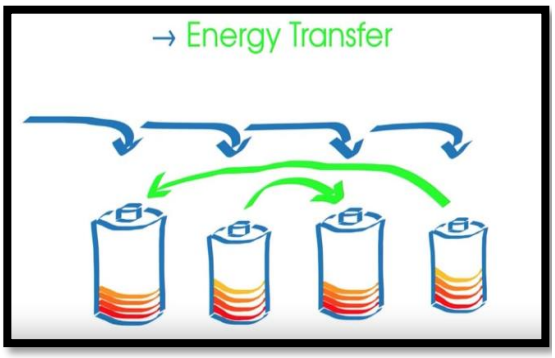
Active Balancer มี 2 วิธีย่อยคือ การถ่ายโอนประจุออกจากเซลล์ที่มีระดับพลังงาน หรือแรงดันสูงกว่าเซลล์อื่น ไปยังเซลล์ที่มีระดับพลังงานหรือแรงดันต่ำกว่า หรือ เป็นการควบคุมการประจุ หรือจ่ายพลังงานของแต่ละเซลล์

ข้อดีของ Active Balancer คือประสิทธิภาพในการทำ balancing ดีกว่า แบบ Passive

ข้อด้อยคือ วงจรและการควบคุมซับซ้อนกว่าแบบ Passive เพราะ Active Balancer จะไม่ใช้การปล่อยพลังงานทิ้ง เพื่อจำกัดระดับแรงดันหรือเพื่อทำการ balancing แรงดันของเซลล์ให้เท่ากัน โดยจะใช้อุปกรณ์อื่นมาเก็บพลังงานดังกล่าวไว้ก่อน แล้วจึงเอาพลังงานดังกล่าวไปใส่ให้กับเซลล์ ที่มีแรงดันต่ำกว่าเซลล์อื่น ซึ่งจะแบ่งออกได้ 3 แบบ คือ แบบที่ขดลวด (inductor) แบบที่ใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor) และแบบที่ใช้วงจรสวิตชิ่ง (converter base)



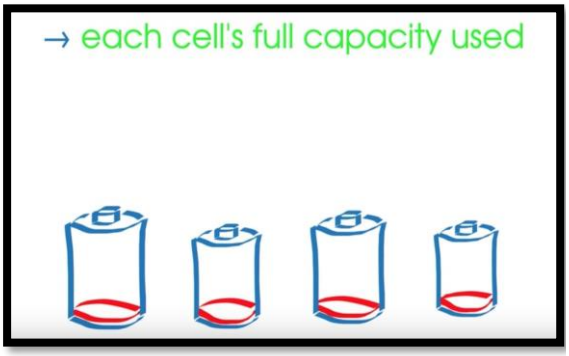
รูปที่ 55 Active Balancer



รูปที่ 56 Active Balancer เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าไปชาร์จให้กับเซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า

เมื่อแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ต่างกัน BMS จะทำการนำกระแสไฟฟ้าจากเซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าไปจ่ายให้กับเซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า ดังรูปที่ 56 ดังนั้น Active Balancer จะทำงานตลอดเวลาทั้งขณะชาร์จและดิสชาร์จ

ทุกๆเซลล์แบตเตอรี่จะคายประจุหมดพร้อมๆกันดังรูปที่ 57 ส่งผลทำให้ BMS แบบ Active Balance นี้มีประสิทธิภาพสูงกว่า BMS แบบ Passive Balance



รูปที่ 57 Active Balancer ทุกเซลล์จะคายประจุหมดพร้อมกัน

4.3 การเลือกใช้ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System, BMS)

การเลือกใช้ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ของจักรยานยนต์ไฟฟ้า จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการพื้นฐาน เกี่ยวกับกฎทางไฟฟ้า คุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ เช่น มอเตอร์ และคุณสมบัติของแบตเตอรี่ ว่ามีแรงดันไฟฟ้า กระแส และกำลังไฟ ที่ต้องใช้เท่าไร เพื่อมาคำนวนหาขนาดที่เหมาะสมของระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ว่าจำเป็นต้องใช้สายไฟในการตรวจสอบแรงดันแต่ละเซลล์กี่จุด

ตัวอย่างการคำนวนหาขนาด BMS

1. หาค่าตัวแปรในการใช้งานมอเตอร์ตันกำลังขนาด 2,000W ใช้แรงดันไฟ 72Vกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะมีค่าเท่ากับ 27.78A หรือประมาณ 28A

2. หาจำนวนเซลล์ที่ต้องการทำการอนุกรมทั้งหมดเพื่อที่จะได้แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ จากตัวแปรขั้นที่ 1 ใช้แรงดันไฟ 72 โวลต์ หากใช้เซลล์แบตเตอรี่ชนิด NMC 18650 ซึ่งมีแรงดันไฟ 3.7 โวลต์ ทำให้ต้องทำการอนุกรมเซลล์จำนวน 20 เซลล์ (3.7 x 20 = 74 โวลต์) หรือเรียกอีกอย่างคือ 20S (S ย่อมาจาก Series)

3. หาจำนวนเซลล์ที่ต้องการทำการอนุกรมเพื่อที่จะได้การต่อแบบขนาดในการรวมกระแสได้เหมาะสม หากใช้เซลล์แบตเตอรี่ 2400mAh (2.4Ah) ซึ่งมีกระแสที่ต้องใช้งาน 27.78A ทำให้ต้องทำการขนาน 12 เซลล์ (2.4 x 12 = 28.8 Ah) หรือเรียกอีกอย่างคือ 6P (P ย่อมากจาก Parallel) โดยมีการแนะนำจากผู้ผลิตของ Dongguan Daly Electronics Co., Ld. ควรเลือกกระแสที่สูงกว่ากระแสกล่องควบคุม เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของกระแสไฟที่ใช้

4. ทำการเลือกซื้อ BMS ให้มีขนาดใกล้เคียงหรือมากกว่าปริมาณคุณสมบัติที่ต้องการใช้งาน อย่างเช่น ตามคุณสมบัติข้างตันผู้เขียนจะทำการเลือกซื้อ BMS ขนาด 20S 20A เนื่องจากในท้องตลาดไม่มีขายขนาดที่พอดีกับการใช้งานโดยเลือกชนิดเป็นแบบ Li-ion เนื่องจากเซลล์จริงจะมีขนาดแรงดันที่สูงกว่าเซลล์แบตเตอรี่ชนิดอีก จึงจำเป็นต้องเลือกชนิด BMS ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

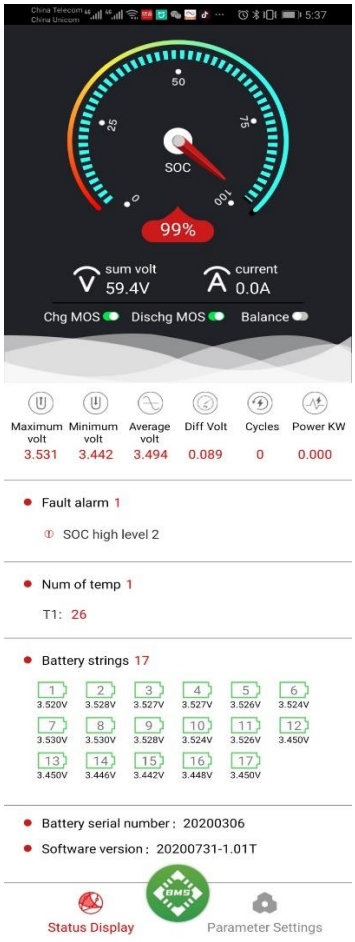
รูปที่ 58 BMS Li-ion 20S 72V 40A

รูปที่ 59 BMS Li-ion 17S 60V 60A

ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่แบบ Smart BMS [25]

การใช้งาน Smart BMS ซึ่งในส่วนของหลักการทำงานและหน้าที่ จะเหมือนกันกับแบบมาตรฐาน (Standard BMS) แต่ Smart BMS จะสามารถตั้งค่าต่างๆ ควบคุมการทำงาน และสังเกตสภาวะต่างๆของเซลล์แบตเตอรี่ โดยผ่านแอปพลิเคชั่นของเจ้าของแบนด์ ลักษณะและการใช้งานก็จะขึ้นอยู่กับรุ่นและยี่ห้อของ BMS แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นโดยภาพรวมก็จะคล้ายๆกัน โดยในบทเรียนนี้จะทำการยกตัวอย่าง Smart BMS ของ ยี่ห้อ Daly ในเรียนการสอนในหน่วยการเรียนรู้นี้

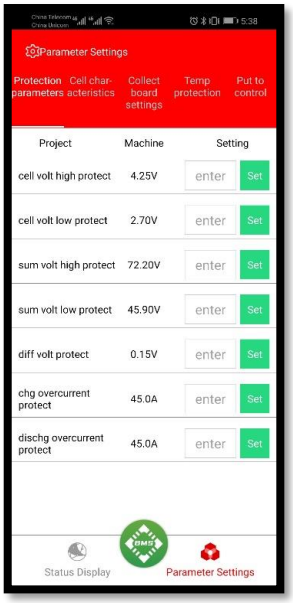
รูปที่ 60 Smart BMS ยี่ห้อ Daly Li-ion 20S 72V 80A



รูปที่ 61 หน้าจอแสดงผลหลักของ Smart

การแสดงผลข้อมูลวิเคราะห์ในส่วนแรกจะเป็นส่วนของการรายงานสถานะการทำงานของแบตเตอรี่ (Status Display) ดังแสดงในรูปที่ 61 ส่วนนี้จะแสดงผลการใช้งานของชุดแบตเตอรี่แพ็คจะปรากฏผลข้อมูลการใช้งานในการแสดงผลเป็นเกจวัด SoC (State of Charge) ผลแสดงเป็นเปอร์เซ็น, แรงดันไฟฟ้า (V), กระแส (A), แรงดันไฟฟ้าสูงสุด(V_{max}), แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (V_{min}), แรงดันไฟฟ้าค่าเฉลี่ย (V), ค่าความต่างศักย์ของเซลล์แบตเตอรี่ (V_{diff}), กำลังการใช้งาน (kW) ผลของข้อขัดข้อง (Fault alarm) ในชุดเซลล์แบตเตอรี่แพ็ค อุณหภูมิแบตเตอรี่ และจำนวนการอนุกรมเซลล์ (String)

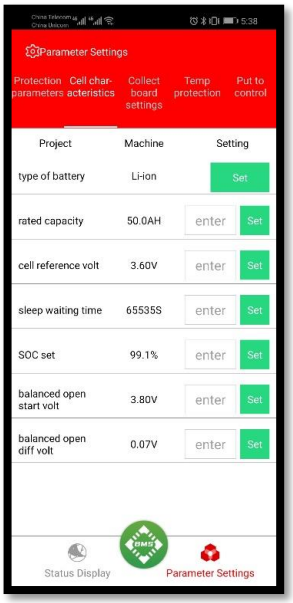
การใช้งานของการตั้งค่าตัวแปร (Parameter Setting) มีการทำงานกำหนดตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ทำงานสะดวกต่อผู้ใช้ดวบคุมกับสภาพของชุดแบตเตอรี่ การตั้งค่าตัวแปรของ Daly จะแบ่งออกเป็น 5 หมวดในการปรับตั้งค่า ได้แก่



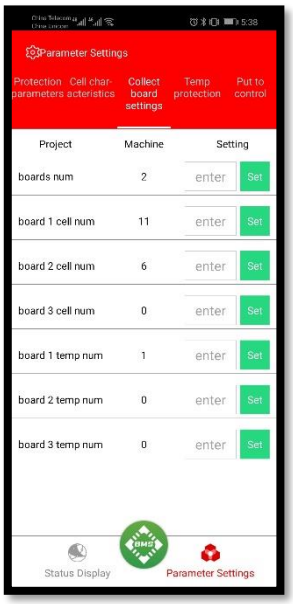
รูปที่ 62 หน้าจอแสดงผลการปรับค่าตัวแปรป้องกันความเสียหาย

1. การปรับค่าตัวแปรป้องกันความเสียหาย (Protection Parameter) กำหนดตัวแปรการตัดต่อการทำงานจากค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละเซลล์ ด่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุด ของชุดแบตเตอรี่แพ็คค่าแรงดันที่แตกต่างของแต่เซลล์แบตเตอรี่ และค่ากระแสสูงสุดในการอัดประจุและการคายประจุ ดังรูปที่ 62

2. การปรับค่าลักษณะการทำงานของเซลล์ (Cell Characteristic) เป็นการกำหนดคุณลักษณะทางกายภาพของชุดแบตเตอรี่แพ็คที่ใช้งาน ทั้งทางด้านความจุใช้งานของแบตเตอรี่ (Rated Capacity) การกำหนดแรงดันของชนิด และแรงดันเซลล์แบตเตอรี่ การตั้งค่าขอบเขต SoC (State of Charge) และการสมดุลแรงดันภายชุดแบตเตอรี่แพ็ค ดังรูปที่ 63



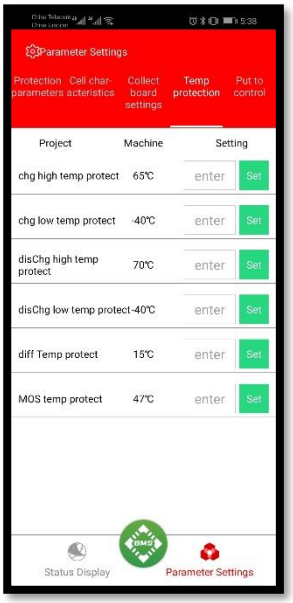
รูปที่ 63 หน้าจอแสดงผลการปรับค่าลักษณะการทำงานของเซลล์



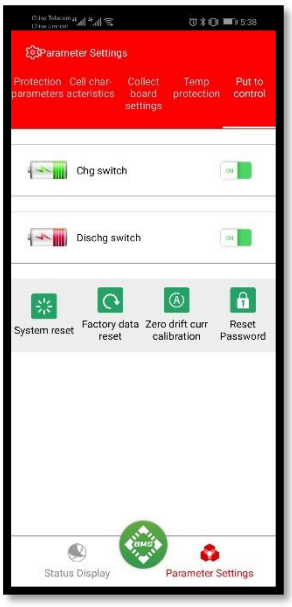
รูปที่ 64 หน้าจอแสดงผลการตั้งค่าบอร์ดการทำงาน

3. การตั้งค่าบอร์ดการทำงาน (Collect board setting) ใช้ในการกำหนดจำนวนอุปกรณ์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับ BMS ที่มากกว่าหนึ่งชุดในการสื่อสารกับจำนวน Sting ในแต่ละบอร์ด โดยจะแสดงผลการเชื่อมต่อจำนวนบอร์ด จำนวน Strig และอุณหภูมิการทำงานของในแต่ละบอร์ด ดังรูปที่ 64

4. การตั้งค่าในการควบคุมอุณหภูมิเซลล์แบตเตอรี่ (Temp Protection) กำหนดอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดระหว่างการอัดประจุและคายประจุ และอุณหภูมิการทำงานของ Mosfet เพื่อลดความเสียหาย ดังรูปที่ 65



รูปที่ 65 หน้าจอแสดงผลการตั้งค่าในการควบคุมอุณหภูมิเซลล์แบตเตอรี่



รูปที่ 66 หน้าจอแสดงผลการตั้งค่าเข้าถึงการปรับแต่งชุดข้อมูลที่กำหนดในการควบคุมเซลล์

5. การตั้งค่าเข้าถึงการปรับแต่งชุดข้อมูลที่กำหนดในการควบคุมเซลล์ (Put to Control) ส่วนในการเข้าถึงข้อมูลในการกำหนดคุณสมบัติของ Smart BMS เพื่อใช้ในการตั้งค่าคืนค่าโรงงาน การเข้าถึงในการปรับกำหนดชุดข้อมูลต่าง ๆ และการกำหนดสภาพการทำงานของอุปกรณ์ ดังรูปที่ 66

4.4 การเชื่อมต่อระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่กับแพ็คแบตเตอรี่ [26]

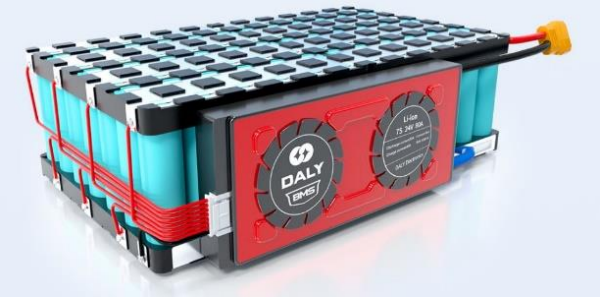
ก่อนจะทำการเชื่อมต่อระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (BMS) กับแพ็คแบตเตอรี่ ผู้ที่ทำการเชื่อมต่อจำเป็นต้องทราบข้อมูลของแพ็คแบตเตอรี่และอุปกรณ์ที่ต้องการนำไปใช้ ดังต่อไปนี้

1.ประเภทของแบตเตอรี่ เช่น Li-ion, LiFePO4

2. จำนวนโมดูลในการเชื่อมต่อ เช่น 4S, 7S, 13S

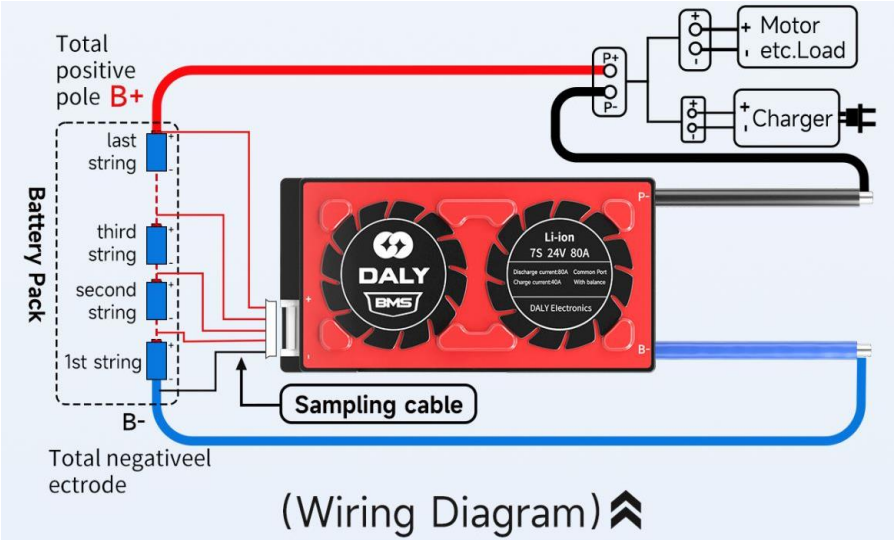
3. ภาระโหลดของอุปกรณ์ที่ต้องการนำไปใช้ เช่น 30A, 60A, 100A, 200A

เพื่อนำมาเลือกระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (BMS) ให้มีความเหมาะสมใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพและความปลอดภัยต่อการใช้งานมากที่สุด



รูปที่ 67 ตัวอย่างการเชื่อมต่อ BMS กับแพ็คแบตเตอรี่ 7S

การเชื่อมต่อสาย BMS การต่อขั้วสายสีแดงเส้นเล็กหรือสายสัญญาณ EMS จะทำการต่อเข้าเซลล์แบตเตอรี่ทุกเซลล์ที่ทำการต่ออนุกรมกันด้านขั้วบวกของแต่ละเซลล์ ส่วนทางขั้วสายสีดำเส้นเล็กหรือสายสัญญาณขั้วลบ จะทำการต่อที่ขั้วลบของเซลล์ที่ 1S ของชุดแบตเตอรี่แพ็ค ในการ ใช้งานต้องทำการต่อขั้ว B+ (แบตเตอรี่ขั้ว +) จะทำการต่อที่เซลล์แบตเตอรี่ตัวสุดท้ายของการอนุกรมและแบตเตอรี่ขั้ว B- (แบตเตอรี่ขั้ว -) จะทำการต่อแบตเตอรี่ที่เซลล์แรก โดยขั้วที่จะนำไปเชื่อมต่อใช้กับโหลดหรือทำการชาร์จไฟเข้าคือขั้ว P+ และขั้ว P- ของ BMS ดังรูปที่ 68



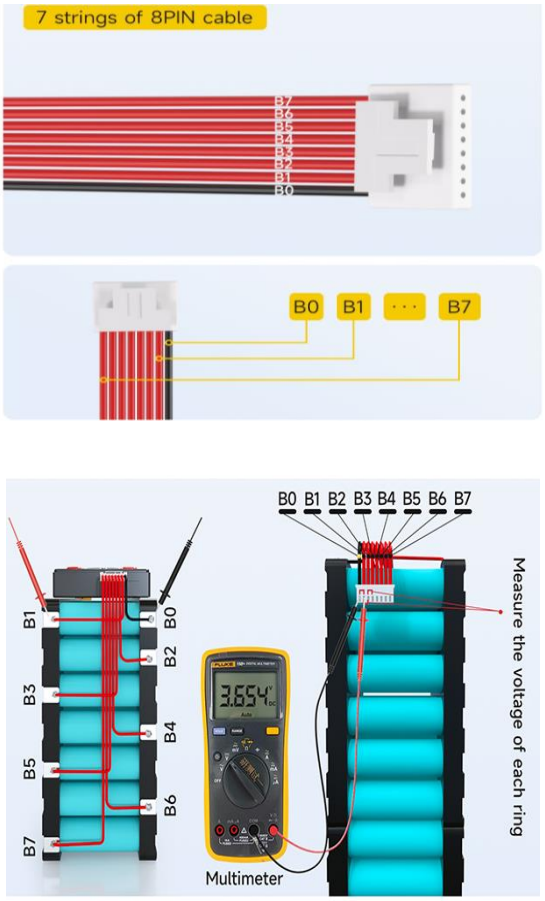
รูปที่ 68 การเชื่อมต่อสาย BMS กับแพ็คแบตเตอรี่

ขั้นตอนการเชื่อมต่อสาย BMS กับแพ็คแบตเตอรี่

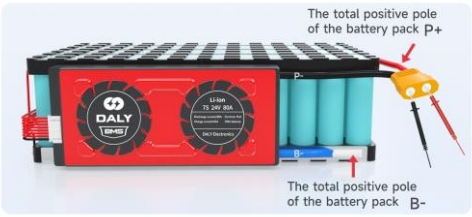
1. ทำการถอดสาย BMS (สายเส้นเล็ก) ออกจากตัว BMS ก่อนจะเริ่มต่อสาย BMS ให้ทำการปลอกปลายสายทุกเส้นไว้ประมาณ 1-2 cm สำหรับการเชื่อมต่อกับแพ็คแบตเตอรี่

2. การเชื่อมต่อสาย BMS เข้ากับแพ็คแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 69โดยเริ่มต้นการเชื่อมต่อสาย B- (เส้นเล็กสีดำ) ที่ฝั่งขั้วลบของเซลล์แรก (B0) จากนั้นทำการเชื่อมต่อสาย B1, B2, B3, ..., B7 (เส้นเล็กสีแดง) จนครบทุกเส้นที่ขั้วบวก ทำการตรวจเช็คการยึดติดแน่นและความถูกต้องของสายทุกเส้น

3. นำมัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 69 โดยสายสีดำวัดที่ขั้ว B0 และ สายสีแดงวัดที่ขั้ว B1 ถึง B7 หากวัดแล้วไม่มีแรงดันไฟฟ้าให้ทำการตรวจเช็คการเชื่อมต่อที่ขั้วแบตเตอรี่ หากได้ค่าปกติแล้วจึงเชื่อมต่อสายBMS เชื่อมต่อกับตัว BMS



รูปที่ 69 การเชื่อมต่อสาย BMS กับแพ็คแบตเตอรี่ 7S



รูปที่ 70 การวัดแรงดันไฟฟ้าขั้วใช้งาน

4. นำมัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟที่ขั้วใช้งาน โดยทำงานวัดที่ ขั้วบวก และ ขั้วลบ ตรวจเช็คการจ่ายแรงดันไฟฟ้า V จ่ายออกดังที่แพ็คไว้หรือไม่ ดังรูปที่ 70 เช่น การแพ็คแบตเตอรี่ 24V หากทำการวัดแล้ว แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ 24V หมายความว่าการเชื่อมต่อ BMS ถูกต้องพร้อมที่จะนำไปใช้งาน ทำการหุ้มแบตเตอรี่และบรรจุแบตเตอรี่ในกล่องที่หนาแน่นแข็งแรง เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน

ใบงานที่ 1
พื้นฐานการใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

ชื่อ-สกุล ..... **รหัสประจำตัวนักเรียน** .....

จุดประสงค์

1. เพื่อให้ผู้เรียนอธิบายการวัดแรงดันไฟฟ้าเซลล์แบตเตอรี่ชนิดต่างๆได้
2. เพื่อให้ผู้เรียนอธิบายการวัดความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่ชนิดต่างๆได้
3. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถวัดแรงดันไฟฟ้าเซลล์แบตเตอรี่ชนิดต่างๆได้
4. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถวัดความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่ชนิดต่างๆได้

สมรรถนะ

1. ผู้เรียนอธิบายการวัดแรงดันไฟฟ้าเซลล์แบตเตอรี่ชนิดต่างๆได้
2. ผู้เรียนอธิบายการวัดความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่ชนิดต่างๆได้
3. ผู้เรียนสามารถวัดแรงดันไฟฟ้าเซลล์แบตเตอรี่ชนิดต่างๆได้
4. ผู้เรียนสามารถวัดความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่ชนิดต่างๆได้

วิธีปฏิบัติกิจกรรม

1. ให้นักเรียนจำแนกชนิดของเซลล์แบตเตอรี่ในใบงานและบันทึกผล
2. ทำการทดลองวัดแรงดันไฟฟ้า (v) และวัดความต้านทานภายใน (Ω) ของเซลล์แบตเตอรี่ชนิดต่างๆ โดยทดลองในห้องปฏิบัติการเสมือนจริง เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า และบันทึกผลการทดลองในใบงาน
3. ให้ผู้เรียนนำเสนอผลการทดลอง พร้อมอธิบายหลักการ

กิจกรรมการทดลอง

ที่	เซลล์แบตเตอรี่	ชนิดของแบตเตอรี่			แรงดัน (v)	ความต้านทานภายใน (Ω)
		Cylindrical	Prismatic	Pouch		
1						
2						
3						

ที่	เซลล์แบตเตอรี่	ชนิดของแบตเตอรี่			แรงดัน (v)	ความต้านทานภายใน (Ω)
		Cylindrical	Prismatic	Pouch		
4						
5						
6						
7						
8						
9						

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 2
การจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่

ชื่อ-สกุล ..... **รหัสประจำตัวนักเรียน** .....

จุดประสงค์

1. เพื่อให้ผู้เรียนอธิบายการวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อจัดกลุ่มของเซลล์แบตเตอรี่ได้
2. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อจัดกลุ่มของเซลล์แบตเตอรี่ได้
3. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่ได้

สมรรถนะ

1. ผู้เรียนอธิบายการวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อจัดกลุ่มของเซลล์แบตเตอรี่ได้
2. ผู้เรียนสามารถวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อจัดกลุ่มของเซลล์แบตเตอรี่ได้
3. ผู้เรียนสามารถจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่ได้

วิธีปฏิบัติกิจกรรม

1. ให้นักเรียนทำการทดลองการจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่ โดยทดลองในห้องปฏิบัติการเสมือนจริง เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า และบันทึกผลการทดลองในใบงาน กิจกรรมการทดลองที่ 1

2. นำผลการทดลองจากกิจกรรมการทดลองที่ 1 มาจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่ ในกิจกรรมการทดลองที่ 2 โดยผลรวมค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่แต่ละกลุ่ม จะต้องมีผลรวมที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด

3. ให้ผู้เรียนนำเสนอผลการทดลอง พร้อมอธิบายหลักการ

กิจกรรมการทดลอง

1. วัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่และบันทึกผลการทดลอง

เซลล์แบตเตอรี่	ความต้านทานภายใน (mΩ)	เซลล์แบตเตอรี่	ความต้านทานภายใน (mΩ)
1	mΩ	11	mΩ
2	mΩ	12	mΩ
3	mΩ	13	mΩ
4	mΩ	14	mΩ
5	mΩ	15	mΩ
6	mΩ	16	mΩ
7	mΩ	17	mΩ
8	mΩ	18	mΩ
9	mΩ	19	mΩ
10	mΩ	20	mΩ

กิจกรรมการทดลอง (ต่อ)

2. จัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่โดยนำผลความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จากกิจกรรมการทดลองที่ 1

แถวในการขนานเซลล์	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4
1	Ω	Ω	Ω	Ω
2	Ω	Ω	Ω	Ω
3	Ω	Ω	Ω	Ω
4	Ω	Ω	Ω	Ω
ผลรวมการจัดกลุ่ม	Ω	Ω	Ω	Ω

หมายเหตุ ผลรวมค่าความต้านทานภายในของแต่ละกลุ่มจะต้องได้ผลรวมค่าความต้านทานภายในใกล้เคียงกันมากที่สุด

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.

ใบงานที่ 3.1

การประกอบแบตเตอรี่แบบอนุกรม

ชื่อ-สกุล .....**รหัสประจำตัวนักเรียน**.....

จุดประสงค์

1. เพื่อให้ผู้เรียนอธิบายการต่อวงจรแบตเตอรี่แบบอนุกรมได้
2. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถต่อวงจรแบตเตอรี่แบบอนุกรมได้

สมรรถนะ

1. ผู้เรียนอธิบายการต่อวงจรแบตเตอรี่แบบอนุกรมได้
2. ผู้เรียนต่อวงจรแบตเตอรี่แบบอนุกรมได้

วิธีปฏิบัติกิจกรรม

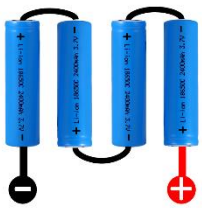
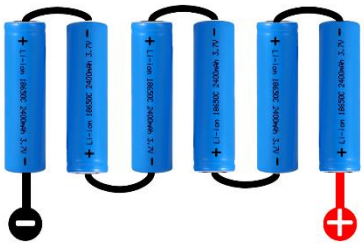
1. ให้นักเรียนคำนวณแรงดันไฟฟ้า (v) และความจุของแบตเตอรี่ (mAh) จากวงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ที่กำหนดให้ ในหัวข้อที่ 1 และบันทึกผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าลงในใบงาน
2. เขียนวงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ จากแรงดันไฟฟ้า (v) และความจุของแบตเตอรี่ (mAh) ที่กำหนดให้ ในหัวข้อที่ 2
3. ทำการทดลองการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ โดยทดลองในห้องปฏิบัติการเสมือนจริง เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า และบันทึกผลการทดลองในใบงาน
4. ให้ผู้เรียนนำเสนอผลการทดลอง พร้อมอธิบายหลักการ

ข้อกำหนด

1. แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิด Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า 3.7v ความจุ 2400mAh

กิจกรรมการทดลอง

1. คำนวณแรงดันไฟฟ้า (v) และความจุของแบตเตอรี่ (mAh) จากวงจรที่กำหนดให้

วงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่	ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้า (v)	ผลการคำนวณความจุของแบตเตอรี่ (Ah)
1.1 	v	.....Ah
1.2 	v	.....Ah

<u>กิจกรรมการทดลอง (ต่อ)</u>

2. จงเขียนวงจรการต่ออนุกรมจากแรงดันไฟฟ้า (v) และความจุของแบตเตอรี่ (mAh) ที่กำหนดให้ และทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเสมือนจริง เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า และบันทึกผลการทดลองในใบงาน

เขียนวงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดให้	ความจุของแบตเตอรี่ที่กำหนดให้	ผลการทดลอง
2.1	14.8 v	2400 mAh	☐ ถูกต้อง ☐ ผิด
2.2	25.9 v	2400 mAh	☐ ถูกต้อง ☐ ผิด
2.3	37 v	2400 mAh	☐ ถูกต้อง ☐ ผิด

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

ใบงานที่ 3.2
การประกอบแบตเตอรี่แบบขนาน

ชื่อ-สกุล .....**รหัสประจำตัวนักเรียน**.....

จุดประสงค์

1. เพื่อให้ผู้เรียนอธิบายการต่อวงจรแบตเตอรี่แบบขนานได้
2. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถต่อวงจรแบตเตอรี่แบบขนานได้

สมรรถนะ

1. ผู้เรียนอธิบายการต่อวงจรแบตเตอรี่แบบขนานได้
2. ผู้เรียนต่อวงจรแบตเตอรี่แบบขนานได้

ข้อกำหนด

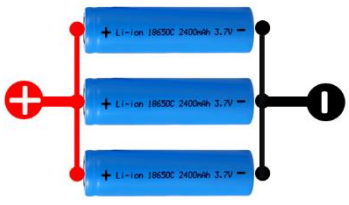
1. แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิด Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า 3.7v ความจุ 2400mAh

วิธีปฏิบัติกิจกรรม

1. ให้นักเรียนคำนวณความจุของแบตเตอรี่ (mAh) และแรงดันไฟฟ้า (v) จากวงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ที่กำหนดให้ ในหัวข้อที่ 1 และบันทึกผลการคำนวณลงในใบงาน
2. เขียนวงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ จากความจุของแบตเตอรี่ (mAh) และแรงดันไฟฟ้า (v) ในหัวข้อที่ 2
3. ทำการทดลองการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ โดยทดลองในห้องปฏิบัติการเสมือนจริง เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า และบันทึกผลการทดลองในใบงาน
4. ให้ผู้เรียนนำเสนอผลการทดลอง พร้อมอธิบายหลักการ

กิจกรรมการทดลอง

1. คำนวณความจุของแบตเตอรี่ (mAh) และแรงดันไฟฟ้า (v) จากวงจรที่กำหนดให้

วงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่	ผลการคำนวณความจุของแบตเตอรี่ (Ah)	ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้า (v)
1.1	.....mAh	v
1.2 	.....mAh	v

กิจกรรมการทดลอง (ต่อ)

2. จงเขียนวงจรการต่อแบบขนาน จากความจุของแบตเตอรี่(mAh)และแรงดันไฟฟ้า (v) ที่กำหนดให้ และทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเสมือนจริง เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า และบันทึกผลการทดลองในใบงาน

เขียนวงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่	ความจุของแบตเตอรี่ที่กำหนดให้	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดให้	ผลการทดลอง
2.1	9,600 mAh	3.7 v	☐ ถูกต้อง ☐ ผิด
2.2	12,000 mAh	3.7 v	☐ ถูกต้อง ☐ ผิด
2.3	14,400 mAh	3.7 v	☐ ถูกต้อง ☐ ผิด

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

ใบงานที่ 3.3
การประกอบแบตเตอรี่แบบผสม

ชื่อ-สกุล .....**รหัสประจำตัวนักเรียน**.....

จุดประสงค์

1. เพื่อให้ผู้เรียนอธิบายการต่อวงจรแบตเตอรี่แบบผสมได้
2. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถต่อวงจรแบตเตอรี่แบบผสมได้

สมรรถนะ

1. ผู้เรียนอธิบายการต่อวงจรแบตเตอรี่แบบผสมได้
2. ผู้เรียนต่อวงจรแบตเตอรี่แบบผสมได้

วิธีปฏิบัติกิจกรรม

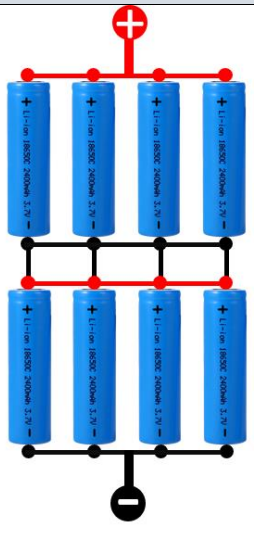
1. ให้นักเรียนคำนวณแรงดันไฟฟ้า (v) และความจุของแบตเตอรี่ (mAh) จากวงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ที่กำหนดให้ ในหัวข้อที่ 1 และบันทึกผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าลงในใบงาน
2. เขียนวงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ จากแรงดันไฟฟ้า (v) และความจุของแบตเตอรี่ (mAh) ที่กำหนดให้ ในหัวข้อที่ 2
3. ทำการทดลองการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ โดยทดลองในห้องปฏิบัติการเสมือนจริง เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า และบันทึกผลการทดลองในใบงาน
4. ให้ผู้เรียนนำเสนอผลการทดลอง พร้อมอธิบายหลักการ

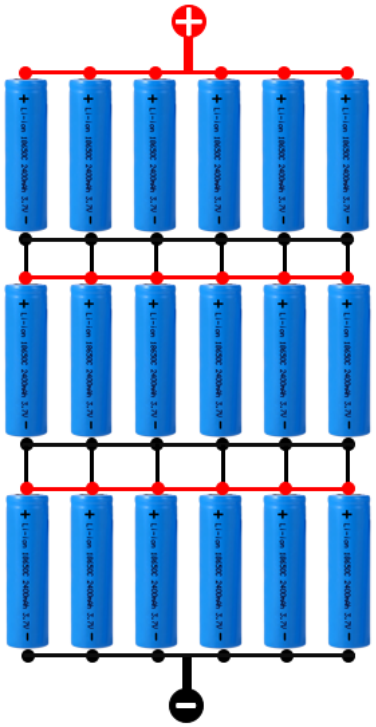
ข้อกำหนด

1. แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิด Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า 3.7v ความจุ 2400mAh

กิจกรรมการทดลอง

1. คำนวณแรงดันไฟฟ้า (v) และความจุของแบตเตอรี่ (mAh) จากวงจรที่กำหนดให้

วงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่	ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้า (v)	ผลการคำนวณความจุของแบตเตอรี่ (Ah)
1.1 	v	.....Ah

วงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่	ผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้า (v)	ผลการคำนวณความจุของแบตเตอรี่ (Ah)
1.2 	v	.....Ah

2. จงเขียนวงจรการต่ออนุกรมจากแรงดันไฟฟ้า (v) และความจุของแบตเตอรี่ (mAh) ที่กำหนดให้และทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเสมือนจริง เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า และบันทึกผลการทดลองในใบงาน

เขียนวงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดให้	ความจุของแบตเตอรี่ที่กำหนดให้	ผลการทดลอง
2.1	7.4 v	9600 mAh	☐ ถูกต้อง ☐ ผิด

เขียนวงจรการเชื่อมต่อแบตเตอรี่	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดให้	ความจุของแบตเตอรี่ที่กำหนดให้	ผลการทดลอง
2.2	14.8 v	9600 mAh	☐ ถูกต้อง ☐ ผิด
2.3	14.8 v	12,000 mAh	☐ ถูกต้อง ☐ ผิด

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 4
การเชื่อมต่อ BMS กับแพ็คแบตเตอรี่

ชื่อ-สกุล ..... **รหัสประจำตัวนักเรียน** .....

จุดประสงค์

1. เพื่อให้ผู้เรียนอธิบายการต่อวงจรแบตเตอรี่กับระบบจัดการแบตเตอรี่ได้
2. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถต่อวงจรแบตเตอรี่กับระบบจัดการแบตเตอรี่ได้

สมรรถนะ

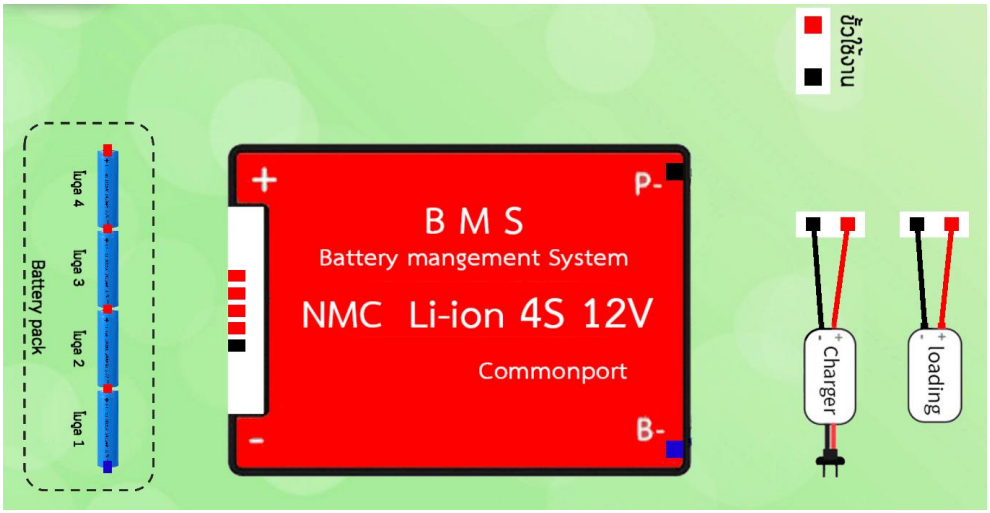
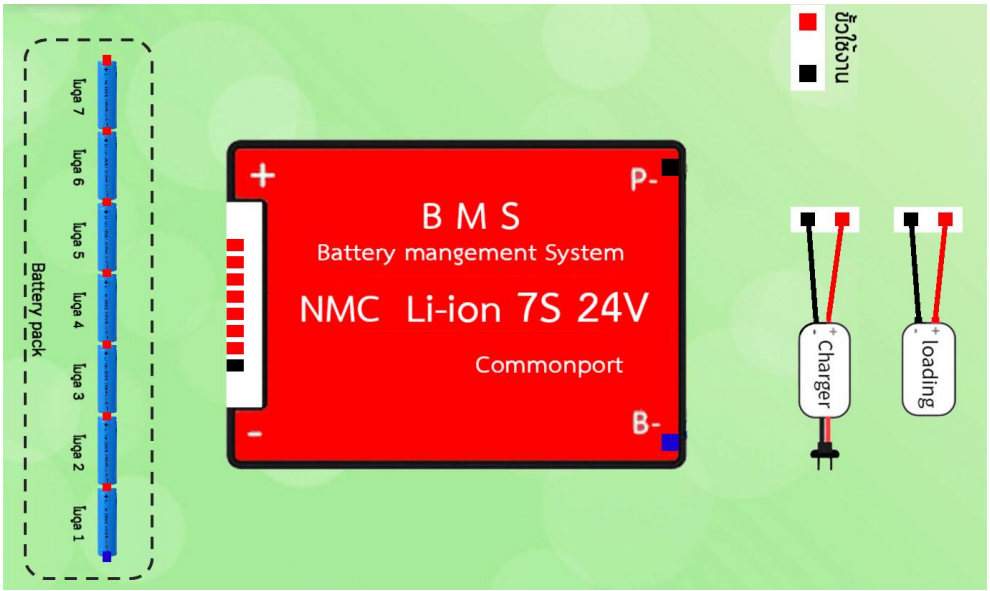
1. ผู้เรียนอธิบายการต่อวงจรแบตเตอรี่กับระบบจัดการแบตเตอรี่ได้
2. ผู้เรียนสามารถต่อวงจรแบตเตอรี่กับระบบจัดการแบตเตอรี่ได้

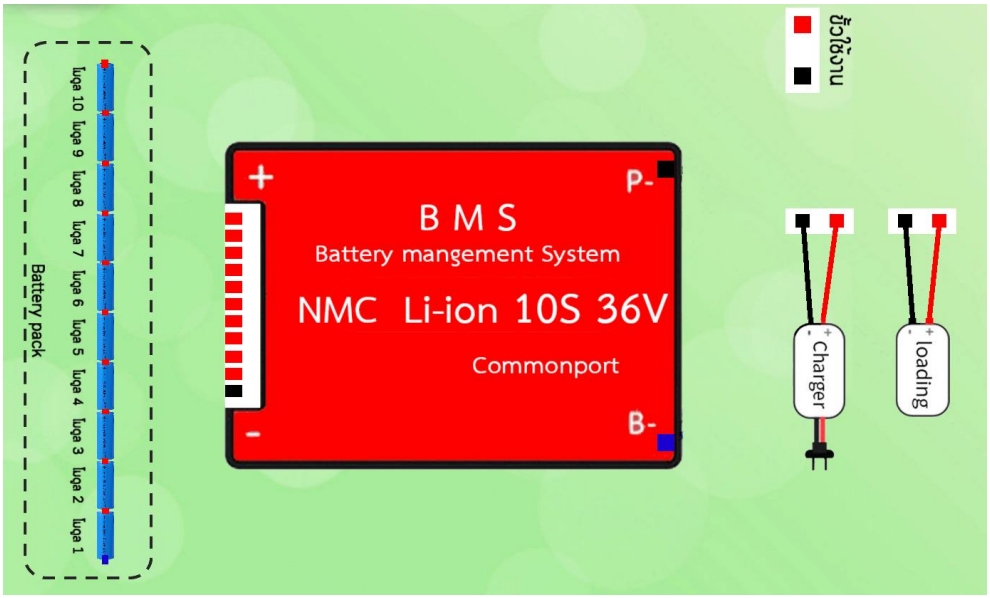
วิธีปฏิบัติกิจกรรม

1. เขียนวงจรการเชื่อมต่อ BMS กับแพ็คแบตเตอรี่ ในกิจกรรมการทดลองของใบงาน
2. ทำการทดลองการเชื่อมต่อ BMS กับแพ็คแบตเตอรี่ โดยทดลองในห้องปฏิบัติการเสมือนจริง เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า โดยปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้
   - 2.1 ให้นักเรียนเลือก BMS ที่ต้องการใช้ในการทดลอง
   - 2.2 เชื่อมต่อสาย BMS ข้ากับแพ็คแบตเตอรี่ โดยสายสีดำเชื่อมต่อเข้ากับขั้ว - ของโมดูลที่ 1 และ สายสีแดงเชื่อมต่อเข้ากับขั้ว + ทีละโมดูลจนครบ
   - 2.3 เชื่อมต่อขั้ว B- ต่อเข้ากับขั้ว - ของโมดูลที่ 1
   - 2.4 เชื่อมต่อขั้ว + ของโมดูลสุดท้าย กับ ขั้วใช้งาน
   - 2.5 เชื่อมต่อขั้ว P- ของ BMS เข้าขั้วใช้งาน
   - 2.6 เชื่อมต่อขั้วใช้งานกับ Charger และ Loading
3. ให้ผู้เรียนนำเสนอผลการทดลอง พร้อมอธิบายหลักการ

กิจกรรมการทดลอง

จงเขียนวงจรการต่ออนุกรมจากแรงดันไฟฟ้า (v) และความจุของแบตเตอรี่ (mAh) ที่กำหนดให้ และทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเสมือนจริง เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า และบันทึกผลการทดลองในใบงาน

เขียนวงจรการเชื่อมต่อ BMS กับแพ็คแบตเตอรี่	ผลการทดลอง
1. BMS 4S12V 	☐ ถูกต้อง ☐ ผิด
2. BMS 7S24V 	☐ ถูกต้อง ☐ ผิด

เขียนวงจรการเชื่อมต่อ BMS กับแพ็คแบตเตอรี่	ผลการทดลอง
3. BMS 10S36V  	☐ ถูกต้อง ☐ ผิด

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

แบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน

เรื่อง แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

1. ข้อใดคือแบตเตอรี่ทุติยภูมิ (secondary battery)

ก. เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้งานแล้ว จะไม่สามารถนำมาชาร์จเพื่อนำมาใช้อีกครั้งได้

ข. เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้งานแล้ว สามารถนำมาชาร์จเพื่อนำกลับมาใช้ได้ใหม่ 1 ครั้ง

ค. เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้งานแล้ว สามารถนำมาชาร์จเพื่อนำกลับมาใช้ได้ใหม่

ง. ถูกทุกข้อ

2. แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ดีกว่า แบตเตอรี่ตะกั่วกรดอย่างไร ภายใต้แรงดันและกระแสที่เท่ากัน

ก. แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน มีขนาดใหญ่กว่า

ข. แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน มีอายุการใช้งานที่สูงกว่า

ค. แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน มีราคาที่ถูกกว่า

ง. แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน มีน้ำหนักมากกว่า

3. ชนิดของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบตเตอรี่จำแนกตำมรูปทรง จะแบ่งเป็นกี่ชนิด

ก. 2 ชนิด

ข. 3 ชนิด

ค. 4 ชนิด

ง. 5 ชนิด

4. เซลล์แบตเตอรี่ดังรูป จำแนกตามรูปทรงเป็นเซลล์แบตเตอรี่ชนิดใด

ก. Cylindrical cell

ข. Pouch cell

ค. Box cell

ง. Prismatic cell

5. ข้อใดบ่งบอกถึงระดับการเก็บประจุหรือชาร์จไฟของแบตเตอรี่แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

ก. CC

ข. DOD

ค. SOH

ง. SOC

6. State of health (SOH) มีความหมายว่าอย่างไร

ก. ค่าสถานะบ่งบอกการชาร์จ

ข. ค่าสถานะบ่งบอกเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่

ค. ค่าสถานะบ่งบอกสภาพและสุขภาพของแบตเตอรี่

ง. ค่าบ่งบอกความสามารถในการคายประจุ

7. เซลล์แบตเตอรี่มีความจุ 2400 mAh ข้อใดต่อไปนี้ อธิบายคุณสมบัติได้ถูกต้อง

ก. เมื่อใช้กระแส 2.4 A พลังงานจะหมดใน 1 ชั่วโมง

ข. เมื่อใช้กระแส 2.4 A พลังงานจะหมดใน 0.5 ชั่วโมง

ค. เมื่อใช้กระแส 2.4 A พลังงานจะหมดใน 1 นาที

ง. เมื่อใช้กระแส 2400 A พลังงานจะหมดใน 1 ชั่วโมง

8. นำแบตเตอรี่ที่มีความจุ 4000 mAh มาทำการคายประจุ 4C จะมีกระแสไฟออกมาเท่าใด

ก. 1 A

ข. 4 A

ค. 16 A

ง. 64 A

9. ข้อใดคือหน่วยของค่าแรงดันไฟฟ้า (Volt)

ก. Ah

ข. V

ค. Ω

ง. mΩ

10. หากวัดแรงดันไฟฟ้า (v) ของเซลล์แบตเตอรี่ผิดขั้วจะเป็นอย่างไร
ก. ค่าแรงดันไฟฟ้า (v) จะได้ค่าบวกเสมอ เช่น 3.7 V
ข. ค่าแรงดันไฟฟ้า (v) จะได้ค่าติดลบ เช่น -3.7 V
ค. ค่าแรงดันไฟฟ้า (v) จะได้ค่าเท่ากับ 0 V
ง. เซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการลุกไหม้

11. ข้อใดคือหน่วยของค่าความต้านทานภายใน (Independent Resistance)
ก. mV
ข. V
ค. Ah
ง. mΩ

12. หากวัดความต้านทานภายใน (Independent Resistance) ของเซลล์แบตเตอรี่ผิดขั้วจะเป็นอย่างไร
ก. ค่าความต้านทานภายใน (Independent Resistance) จะได้ค่าบวกเสมอ
ข. ค่าความต้านทานภายใน (Independent Resistance) จะได้ค่าติดลบ
ค. ค่าความต้านทานภายใน (Independent Resistance) จะได้ค่าเท่ากับ 0
ง. เซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการลุกไหม้

13. ค่าความต้านทานภายใน (Independent Resistance) ของเซลล์แบตเตอรี่ บ่งบอกถึงอะไร
ก. ค่าความต้านทานภายในสูง แสดงถึงความเสื่อมสภาพของเซลล์แบตเตอรี่เสื่อมสภาพมาก
ข. ค่าความต้านทานภายในสูง แสดงถึงความเสื่อมสภาพของเซลล์แบตเตอรี่เสื่อมสภาพต่ำ
ค. ค่าความต้านทานภายใน ไม่สามารถบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของเซลล์แบตเตอรี่ได้
ง. ค่าความต้านทานภายในไม่สามารถวัดได้

14. ข้อใดกล่าวถูกต้อง เกี่ยวกับการจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่ก่อนการแพ็คแบตเตอรี่
ก. นำเซลล์แบตเตอรี่ 3.2V กับ 3.7V มาจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่เพื่อนำมาประกอบเป็นโมดูลได้
ข. นำเซลล์แบตเตอรี่ที่มีรูปร่างต่างกัน มาจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่เพื่อนำมาประกอบเป็นโมดูลได้
ค. นำเซลล์แบตเตอรี่ที่มีความเสื่อมสภาพ มาจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่เพื่อนำมาประกอบเป็นโมดูลได้
ง. นำเซลล์แบตเตอรี่ชนิดเดียวกันและค่าความต้านทานใกล้เคียงกัน มาจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่เพื่อนำมาประกอบเป็นโมดูลได้

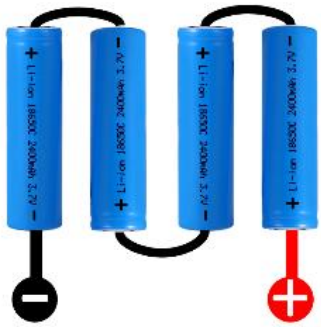
15. การจัดกลุ่มเซลล์แบตเตอรี่เพื่อประกอบเป็น Module หลังวัดค่าความต้านทานภายใน (Independent Resistance) ของแบตเตอรี่เสร็จแล้ว ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้องที่สุด วิเคราะห์
ก. การประกอบเป็น Module ไม่จำเป็นต้องจัดเรียงค่าความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่
ข. การประกอบเป็น Module ผลรวมของค่าความต้านภายในทุก Module ควรมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด
ค. การประกอบเป็น Module ผลรวมของค่าความต้านภายในทุก Module มีค่าแตกต่างกันมากๆได้
ง. การประกอบเป็น Module ไม่ต้องวัดค่าความต้านทานภายในของเซลล์แบตเตอรี่

16. ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้องในการเตรียมการแพ็คแบตเตอรี่
ก. รูปร่างของเซลล์แบตเตอรี่แตกต่างกันสามารถเชื่อมต่อได้
ข. ควรใช้เซลล์แบตเตอรี่ที่มีค่าความต้านทานภายในที่มีค่าใกล้เคียงกัน
ค. การบัดกรีคือการเชื่อมต่อเซลล์แบตเตอรี่ที่ดีที่สุด
ง. การแพ็คแบตเตอรี่ไม่จำเป็นต้องวัดค่าความต้านภายในของเซลล์แบตเตอรี่

17. ข้อใดกล่าวถูกต้อง
ก. การเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม ทำให้แรงดันไฟฟ้าเท่าเดิม
ข. การเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบขนาน ทำให้ความจุไฟฟ้าเท่าเดิม
ค. การเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม ทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามจำนวนที่เชื่อมต่อ
ง. การเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบผสม ทำให้แรงดันไฟฟ้าเท่าเดิม

18. ถ้านำเซลล์แบตเตอรี่ 3.7V 6000mAh มาเชื่อมต่อแบบอนุกรม 4 เซลล์ จะได้แรงดันไฟฟ้าเท่าใด
ก. 3.7
ข. 14.8
ค. 6000
ง. 24000

19. จากรูปเป็นการเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบใด



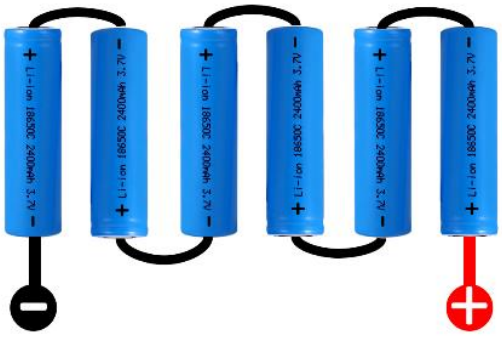
ก. แบบอนุกรม

ข. แบบขนาน

ค. แบบผสม

ง. ไม่มีข้อใดถูก

20. จากรูป ได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเท่าใด (เซลล์แบตเตอรี่ชนิด Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า 3.7v ความจุ 2400mAh)



ก. แรงดันไฟฟ้า 3.7 V และกระแสะไฟฟ้า 2400 mAh

ข. แรงดันไฟฟ้า 3.7 V และกระแสไฟฟ้า 14400 mAh

ค. แรงดันไฟฟ้า 22.2 V และกระแสไฟฟ้า 2400 mAh

ง. แรงดันไฟฟ้า 22.2 V และกระแสไฟฟ้า 14000 mAh

21. การเชื่อมแต่แบตเตอรี่แบบ 7S10P ข้อใดถูกต้องที่สุด

ก. 7S หมายถึง เชื่อมต่อแบบขนาน 7 โมดูล

ข. 7S หมายถึง เชื่อมต่อแบบอนุกรม 7 โมดูล

ค. 10P หมายถึง เชื่อมต่อแบบอนุกรม 7 เซลล์

ง. 7S10P หมายถึง เชื่อมต่อแบบขนาน 70 เซลล์

22. ถ้านำเซลล์แบตเตอรี่ 3.7V 6000mAh มาเชื่อมต่อแบบขนาน 4 เซลล์ จะได้ความจุไฟฟ้าเท่าใด

ก. 3.7

ข. 14.8

ค. 6000

ง. 24000

23. ถ้าเซลล์แบตเตอรี่ 3.7V 6000mAh นำมาเชื่อมต่อแบบผสม นั่นคือเชื่อมต่อแบบขนาน 4 เซลล์ และนำโมดูลที่ต่อขนาน มาต่อเชื่อมต่อแบบอนุกรม 4 โมดูล จะได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเท่าใด

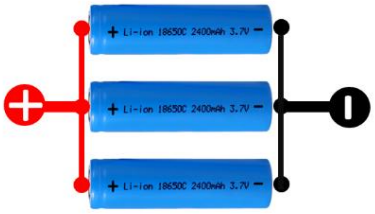
ก. แรงดันไฟฟ้า 3.7 V และกระแสะไฟฟ้า 6000 mAh

ข. แรงดันไฟฟ้า 14.8 V และกระแสไฟฟ้า 6000 mAh

ค. แรงดันไฟฟ้า 3.2 V และกระแสไฟฟ้า 24000 mAh

ง. แรงดันไฟฟ้า 14.8 V และกระแสไฟฟ้า 24000 mAh

24. จากรูปเป็นการเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบใด



ก. แบบอนุกรม

ข. แบบขนาน

ค. แบบผสม

ง. ไม่มีข้อใดถูก

25. จากรูป ได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเท่าใด (เซลล์แบตเตอรี่ชนิด Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า 3.7v ความจุ 2400mAh)

ก. แรงดันไฟฟ้า 3.7 V และกระแสะไฟฟ้า 2400 mAh

ข. แรงดันไฟฟ้า 3.7 V และกระแสไฟฟ้า 7200 mAh

ค. แรงดันไฟฟ้า 11.1 V และกระแสไฟฟ้า 2400 mAh

ง. แรงดันไฟฟ้า 11.1 V และกระแสไฟฟ้า 7200 mAh

26. การเชื่อมแต่แบตเตอรี่แบบ 17S15P ข้อใดอธิบาย ได้อย่างถูกต้อง

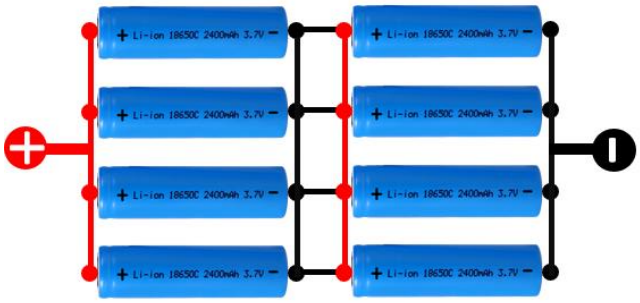
ก. 15P หมายถึง เชื่อมต่อแบบขนาน 15 โมดูล

ข. 15P หมายถึง เชื่อมต่อแบบอนุกรม 15 โมดูล

ค. 17S หมายถึง เชื่อมต่อแบบขนาน 17 เซลล์

ง. 17S15P หมายถึง เชื่อมต่อแบบขนาน 255 เซลล์

27. จากรูปเป็นการเชื่อมต่อแบตเตอรี่แบบใด



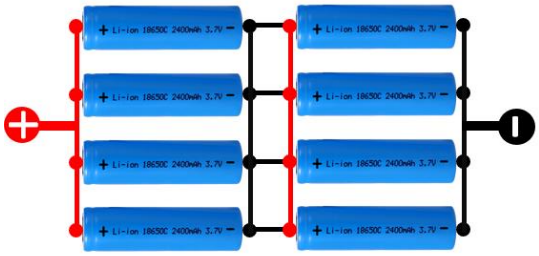
ก. แบบอนุกรม

ข. แบบขนาน

ค. แบบผสม

ง. ไม่มีข้อใดถูก

28. จากรูป ได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเท่าใด (เซลล์แบตเตอรี่ชนิด Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า 3.7v ความจุ 2400mAh)



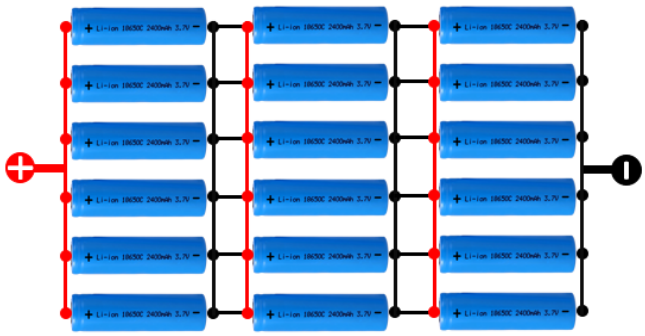
ก. แรงดันไฟฟ้า 3.7 V และกระแสะไฟฟ้า 2400 mAh

ข. แรงดันไฟฟ้า 3.7 V และกระแสไฟฟ้า 9600 mAh

ค. แรงดันไฟฟ้า 7.4 V และกระแสไฟฟ้า 2400 mAh

ง. แรงดันไฟฟ้า 7.4 V และกระแสไฟฟ้า 9600 mAh

29. จากรูป ได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเท่าใด (เซลล์แบตเตอรี่ชนิด Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า 3.7v ความจุ 2400mAh)



ก. แรงดันไฟฟ้า 3.7 V และกระแสะไฟฟ้า 2400 mAh

ข. แรงดันไฟฟ้า 3.7 V และกระแสไฟฟ้า 14400 mAh

ค. แรงดันไฟฟ้า 11.1 V และกระแสไฟฟ้า 2400 mAh

ง. แรงดันไฟฟ้า 11.1 V และกระแสไฟฟ้า 14400 mAh

30. การเชื่อมแต่แบตเตอรี่แบบ 7S10P จะได้แรงดันไฟฟ้า และความจุแบตเตอรี่เท่าใด (เซลล์แบตเตอรี่ชนิด Li-ion 18650 แรงดันไฟฟ้า 3.7v ความจุ 2400mAh)

ก. 25.9 V และ 24 Ah

ข. 3.7 V และ 24 Ah

ค. 25.9 V และ 2.4 Ah

ง. 3.7V และ 240 Ah

31. โมดูลแบตเตอรี่ 13S10P มีแรงดันไฟฟ้าและความจุเท่าใดตามลำดับ (กำหนดเซลล์มีแรงดันไฟฟ้า 3.6 V ความจุ 3.2 Ah)

ก. 46.8 V , 32 Ah

ข. 32 V , 46.8 Ah

ค. 468 V , 320 Ah

ง. 13 V , 10 Ah

32. นำเซลล์แบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ ความจุ 25 Ah มาต่ออนุกรมเข้าด้วยกัน 3 เซลล์จะมีค่าพลังงานไฟฟ้าเท่าใด

ก. 100 Wh

ข. 200 Wh

ค. 300 Wh

ง. 400 Wh

33.. BMS ย่อมาจากอะไร

ก. Battery Module System

ข. Battery Manager System

ค. Battery Management System

ง. Battery Mini System

34. ข้อใดคือ BMS

ก. ระบบโมดูลแบตเตอรี่

ข. ระบบผู้จัดการแบตเตอรี่

ค. ระบบการจัดการแบตเตอรี่

ง. ระบบมินิแบตเตอรี่

35. ข้อใดไม่ใช่หน้าที่ของระบบจัดการแบตเตอรี่

ก. ทำการ Balance แรงดันภายในเซลล์แบตเตอรี่และควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า

ข.ควบคุมอุณหภูมิภายในแพ็คของแบตเตอรี่และแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่

ค. บ่งบอกการวัดสถานะการชาร์จ (SoC) หรือเปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่ขณะนั้นๆ

ง. แปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC

36. ข้อใดไม่ใช่ประเภทของ Balance ใน BMS

ก. Passive Balance

ข. Auto Balance

ค. Active Balance

ง. ทุกข้อเป็นประเภท Balance ของ BMS

37. ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่แบบ Active balance มีข้อดีกว่าแบบ Passive balance อย่างไร

ก. แบบ Active balance มีราคาถูกกว่า แบบ Passive balance

ข. นำกระแสไฟฟ้าจากเซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าไปชาร์จให้กับเซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า

ค. นำกระแสไฟฟ้าจากเซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าไปชาร์จให้กับเซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า

ง. เหมาะกับการใช้งานในแพ็คแบตเตอรี่ประสิทธิภาพต่ำ

38. ความแตกต่างของระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (BMS) แบบ Common Port และ Separate Port จะมีความแตกต่างที่ขั้วใด

ก. ขั้ว B-

ข. ขั้ว P+

ค. ขั้ว P-

ง. ขั้ว C-

39. ขั้ว B- ของระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (BMS) จะต้องนำไปต่อเข้ากับขั้วใดของแพ็คแบตเตอรี่ (ทำการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ 4 module โดย BMS แบบ 4S)

ก. ขั้ว + ของ Module ที่ 4

ข. ขั้ว - ของ Module ที่ 4

ค. ขั้ว + ของ Module ที่ 1

ง. ขั้ว - ของ Module ที่ 1

40. การเชื่อมต่อ BMS กับแพ็คแบตเตอรี่ชนิด หากแพ็คแบตเตอรี่นำโมดูลแบตเตอรี่มาเชื่อมต่อแบบอนุกรมจำนวน 7 โมดูล ควรเลือก BMS ในข้อใดจึงจะเหมาะสมที่สุด

ก. BMS 4S

ข. BMS 7S

ค. BMS 16S

ง. BMS 32S

เฉลยแบบทดสอบก่อน-หลังเรียน

1.ค	2.ข	3.ข	4.ก	5.ง	6.ค	7.ก	8.ค	9.ข	10.ข
11.ง	12.ก	13.ก	14.ง	15.ข	16.ข	17.ค	18.ข	19.ก	20.ค
21.ข	22.ง	23.ง	24.ข	25.ข	26.ก	27.ค	28.ง	29.ง	30.ก
31.ก	32.ค	33.ค	34.ค	35.ง	36.ข	37.ข	38.ง	39.ง	40.ข

หมายเหตุ เมื่อข้อสอบผ่านการประเมินคุณภาพข้อสอบแล้วจะคัดให้เหลือ 20 ข้อ

อ้างอิง

[1] รักษพล ธนานุวงศ์, **ประเภทของแบตเตอรี่** [online], Available: https://emagazine.ipst.ac.th/204/index.html#13/z

[2] คณิตตา ธรรมจริยวงศา, 2558, **แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน** [online], Available: https://dspace.bru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/5625

[3] ศูนย์การเรียนรู้ยานยนต์ไฟฟ้า, 2561, **ข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้น** [online], Available: https://www.thaiauto.or.th/2020/th//services/ev/

[4] Battery University, 2020, **BU-107: Comparison Table of Secondary Batteries** [online], Available: https://batteryuniversity.com/article/bu-107-comparison-table-of-secondary-batteries

[5] Battery University, 2020, **BU-301a: Types of Battery Cells** [online], Available: https://batteryuniversity.com/article/bu-301a-types-of-battery-cells

[6] Moda Energy, 2019, **E-boat and special vehicle** [online], Available: http://www.moda-energy.com/en/ProductDetail/368178.html

[7] Reuben Adams, 2019, **High purity alumina** [online], Available: https://stockhead.com.au/resources/high-purity-alumina-demand-is-far-higher-than-analysts-predicted/

[8] Battery University, 2020, **BU-204: How do Lithium Batteries Work?** [online], Available: https://batteryuniversity.com/article/bu-204-how-do-lithium-batteries-work?ref=electricbee.co

[9] มานพ มาสมทบ, 2561, **แนวโน้มเทคโนโลยีการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่และระบบระบายความร้อนและโอกาสของประเทศไทยในการผลิตแพ็กแบตเตอรี่** [online], Available: https://www.sciencepark.or.th/files/Battery%20Pack.pdf

[10] นายเขม ภูมิรัชธรรม, 2021, **มาตรฐานความปลอดภัยของแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า** [online], Available: https://healthserv.net/717

[11] UNECE, 2022, **Regulation No. 100 Rev.3** [online], Available: https://unece.org/transport/documents/2022/03/standards/regulation-no-100-rev3

[12] คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560, **รายงานฉบับสมบูณ์การศึกษาเทคโนโลยีอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์นั่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า**, หน้า 30-31

[13] คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560, **รายงานฉบับสมบูณ์การศึกษาเทคโนโลยีอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์นั่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า** หน้า 32-34

[14] ชัชวาล กิมเห, 2022, **ดิจิตอลมัลติมิเตอร์** [online], Available: https://legatool.com/wp/3737/

[15] สนธยา นงนุช, 2565, **การวัดและทดสอบแบตเตอรี่** [online], Available: https://www.glab.co.th/post/การวัดและทดสอบแบตเตอรี่-lithium-polymer-แบตลิโพ

[16] HIOKI, 2022, **multimeters** [online], Available: https://legatool.com/th/test-equipment/electrical-meters/multimeters

[17] ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์, 2020, **การวัดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า**, EVAT Directory 2020 20 Electric Vehicle Guidebook, หน้า 20-25

[18] SEW, 2021, **Battery Tester** [online], Available: http://www.sew.com.tw/ezfiles/sew1/img/img/174765/6470BT.pdf

[19] ณพลยศ ต้องกัลยา, 2563, **การแพ็คแบตเตอรี่ลิเธียมสำหรับมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า**, หน้า 57-60

[20] Battery University, 2020, **BU-302: Series and Parallel Battery Configurations** [online], Available: https://batteryuniversity.com/article/bu-302-series-and-parallel-battery-configurations

[21] Realtimecarmagazine, 2020, **รถยนต์ไฟฟ้า พลังงานแบตเตอรี่** [online], Available: https://www.realtimecarmagazine.com/newsite/archives/54813

[22] สันชัย รุ่งสิริ, 2020, **Battery Pack 72V 23.1Ah Li-ion Battery Electric Bike** [online], Available: https://www.youtube.com/watch?v=W5R-viX5neA&t=1s

[23] Orionbms, 2019, **How The BMS Works** [online], Available: https://www.orionbms.com/general/how-it-works/

[24] ธิติ แย้มสังข์, 2021, **BMS (Battery Management System**) [online], Available: https://thiti.dev/blog/8369/

[25] Daly, 2020, **Mobile APP (smart bms) connect to smart BMS tutorial** [online], Available: https://www.dalyelec.cn/newsshow.php?cid=24&id=74&lang=1

[26] Daly, 2020, **7S BMS Wiring Tutorial** [online], Available: https://www.dalybms.com/7s-bms-wiring-tutorial/