

## การศึกษาการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) สำหรับตู้ควบคุมอุปกรณ์ Load Break Switch ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

นายฐานันดร แยมภิรมย์ศรี<sup>1</sup>, นายณัฐวิชญ์ คำสวัสดิ์<sup>2</sup>, นางดวงใจ เสนามนตรี<sup>3</sup>, นายวุฒิชัย ดัดธยาวัตร<sup>4</sup>, นายจิรพงศ์ สุขโต<sup>5</sup>

<sup>1</sup> กองอุปกรณ์ควบคุม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค tanundorn.yam@pea.co.th

<sup>2</sup> กองอุปกรณ์ควบคุม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค nuttawich.kha@pea.co.th

<sup>3</sup> กองอุปกรณ์ควบคุม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค duangjai.par@pea.co.th

<sup>4</sup> กองอุปกรณ์ควบคุม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค wutthitam.dad@pea.co.th

<sup>5</sup> กองอุปกรณ์ควบคุม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค jirapong.suk@pea.co.th

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อเสนอชุดอุปกรณ์แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) ที่ประกอบไปด้วย แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>), Active Battery Cell Balancing และระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System: BMS) เพื่อนำไปติดตั้งทดแทนแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด สำหรับตู้ควบคุมอุปกรณ์ Load Break Switch ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยมีการจำลองการทำงานของที่อุณหภูมิสูงและการจ่ายโหลดกระแสสูง เพื่อยืนยันว่าสามารถนำไปติดตั้งใช้งานจริง และนำไปพัฒนาให้ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบจำหน่ายต่อไป

**คำสำคัญ:** แบตเตอรี่ แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต Active Battery Cell Balancing ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System) Load Break Switch

### 1. บทนำ

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานสำรอง เช่น สถานีไฟฟ้าระบบศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟ ตู้ควบคุมอุปกรณ์ Load Break Switch ในระบบจำหน่าย เป็นต้น ถึงแม้ว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด จะเป็นแหล่งกักเก็บพลังงานที่ราคาถูก หาได้ง่าย และใช้งานได้ดีในประเทศเขตร้อน แต่มีความยุ่งยากในการบำรุงรักษา และลักษณะคุณสมบัติทางพลวัตที่ไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมากทั้งในขณะชาร์จและดิสชาร์จ ซึ่งการใช้งานในทางปฏิบัติพบว่า มีอายุการใช้งานเฉลี่ย 2-3 ปี

ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันยังมีแบตเตอรี่ชนิดอื่นที่มีประสิทธิภาพการใช้งานดีกว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบบเดิมทั้งในด้านอายุการใช้งาน ให้พลังงานสูง และชาร์จได้เร็ว ซึ่งพบว่าแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium-Ion Battery)

นั้น ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อกักเก็บพลังงานสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์พกพาต่างๆ เป็นต้น รวมถึงการใช้งานในรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์ปลั๊กอินไฮบริด และรถไฮบริด อีกทั้งยังมีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสอดคล้องกับแนวโน้มราคาที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนยังมีปัญหาด้านความปลอดภัย ง่ายต่อการระเบิดหากใช้งานไม่ถูกต้อง สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้งานในปัจจุบันนั้นแบ่งออกได้หลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น Lithium Cobalt Oxide, Lithium Manganese Oxide, Lithium Nickle Manganese Cobalt Oxide, Lithium Nickle Cobalt Aluminum Oxide, Lithium Iron Phosphate และ Lithium Titanate [1], [2]

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคติดตั้งอุปกรณ์ Load Break Switch ในระบบจำหน่าย 22/33kV และระบบสายส่ง 115kV เพื่อควบคุมการจ่ายไฟให้มีประสิทธิภาพและความปลอดภัย สามารถควบคุมได้ทั้งจากการปลดสับที่ตัวอุปกรณ์ หรือควบคุมสั่งการระยะไกลได้จากระบบศูนย์สั่งการจ่ายไฟ (SCADA) อาศัยมอเตอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เช่น Feeder Remote Terminal Unit (FRTU), อุปกรณ์ระบบสื่อสาร เป็นต้น โดยรับไฟ (Supply) มาจากระบบไฟแรงต่ำมาจาก Voltage transformer (VT) และมีแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับสำรองไฟ กรณีไม่มีไฟแรงต่ำมาจ่าย จากการปฏิบัติงานที่ผ่านมาพบว่า พนักงานจะเข้าบำรุงรักษาตู้ควบคุมและแบตเตอรี่ตามวาระ 1 ครั้งต่อปี และมีแผนการเปลี่ยนแบตเตอรี่ทุกๆ 3 ปี

ถึงแม้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตมีประสิทธิภาพการใช้งานดีกว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด และมีแนวโน้มราคาที่ลดลง แต่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยังไม่ได้นำเข้ามาใช้งานทดแทน เนื่องจากยังคุ้นชินกับการใช้งานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ไม่พบปัญหาในการใช้งานมากเพราะมีการเข้าบำรุงรักษาทุกปี

สามารถจัดหาและเปลี่ยนทดแทนได้ง่าย อีกทั้งยังไม่มีโครงการนำร่องในการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต จึงยังไม่มี ความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่เป็นชนิดใหม่

สำหรับบทความนี้ มุ่งเน้นศึกษาการใช้งานแบตเตอรี่รี ชนิดลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) สำหรับใช้งานเพื่อเป็น แหล่งกักเก็บพลังงานสำรองที่ใช้ในตู้ควบคุมอุปกรณ์ Load Break Switch ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทดแทนกับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด



รูปที่ 1 อุปกรณ์ Load Break Switch และตู้ควบคุม

## 2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ที่ติดตั้งใช้งานภายในตู้ควบคุมอุปกรณ์ Load break Switch ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยการเปลี่ยน แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ไปเป็นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอรอน ฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) และความเป็นไปได้ในการนำไปติดตั้งใช้ งานจริง

## 3. วิธีดำเนินการศึกษา

### 3.1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต เปรียบเทียบกับตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) เป็น แบตเตอรี่ที่พัฒนามาจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอน (Lithium- Ion Battery) ทนต่อความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี ซึ่ง สามารถให้พลังงานที่สูง ปลอดภัย มีอายุการใช้งานที่มากกว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนแบบอื่นๆ (ประมาณ 5 ปี) และเป็นมิตร ต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติกับแบตเตอรี่ชนิด ตะกั่ว-กรดที่ใช้งาน อยู่ในปัจจุบัน ได้ดังตารางที่ 1 [3]

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติแบตเตอรี่

คุณสมบัติ	ตะกั่วกรด	ลิเทียมไอรอน ฟอสเฟต
Specific energy (Wh/kg)	30-50	90-120
Cycle Life (80%DOD)	200-300	1000-2000
Overcharge tolerance	High	Low
Self-discharge/month (Room temp)	5%	<5%
Cell voltage (Normal)	2V	3.2V

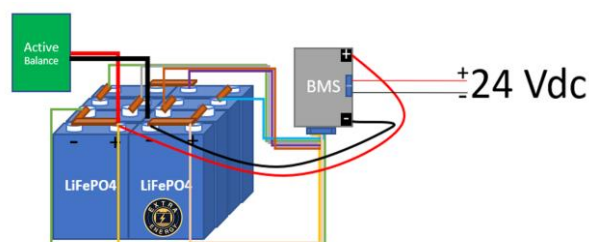
คุณสมบัติ	ตะกั่วกรด	ลิเทียมไอรอน ฟอสเฟต
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40 Float 2.25	3.60
Discharge cutoff voltage (V/cell,1C)	1.75	2.50
Discharge Temperature (°C)	-20 to 50	-20 to 60
Maintenance Requirement	3-6 Months	Maintenance-free

### 3.2 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอน ฟอสเฟต

ในการจัดทำชุดอุปกรณ์แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต นอกเหนือจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตแล้ว วงจร Active Battery Cell Balancing และระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System: BMS) ถูกนำมาใช้งานเพื่อ ควบคุมการทำงานของชุดอุปกรณ์ ทำให้แบตเตอรี่สามารถใ้ งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมถึงช่วยยืดอายุแบตเตอรี่อีกด้วย ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกนำมาประกอบให้มีขนาด ไกล่เคียงกับแบตเตอรี่ชุดเดิม และสามารถนำไปติดตั้งหรือวาง ภายในตู้ควบคุมอุปกรณ์ Load Break Switch ได้อย่าง เหมาะสม



รูปที่ 2 รูปภาพชุดอุปกรณ์แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต



รูปที่ 3 รูปภาพแสดงการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์

#### 3.2.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต

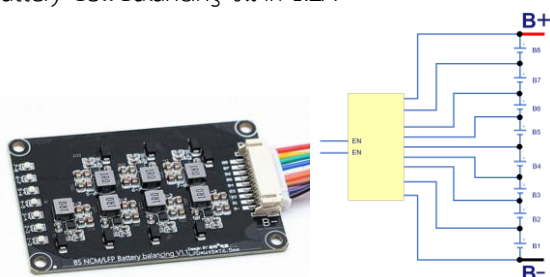
แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่ใช้สำรองไฟฟ้าสำหรับตู้ควบคุม อุปกรณ์ Load Break Switch ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน มีขนาด 12Vdc 18Ah จำนวน 2 Cells ต่ออนุกรมกัน สำหรับสำรอง ไฟฟ้าให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์และมอเตอร์ที่ใช้ในการปลดสับ อุปกรณ์ Load Break Switch ที่มีแรงดันพิกัดในช่วง 26.0– 28.8Vdc

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตที่ถูกนำมาใช้ในครั้งนี้ จะเลือกขนาด 3.2Vdc 25Ah จำนวน 8 Cells ต่ออนุกรมกัน ในแต่ละ Cell จะมีแรงดันขณะประจุเต็มและพร้อมจ่ายโหลด ประมาณ 3.4Vdc ดังนั้นจะมีแรงดันรวมทั้งสิ้น  $3.4\text{Vdc} \times 8 \text{ Cells} = 27.2\text{Vdc}$  ในส่วนของการเลือกขนาดความจุ Ah จะพิจารณาจากโหลดปัจจุบัน โดยเลือกที่มีขนาดความจุใกล้เคียงกับของเดิม และสามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด ซึ่งพบว่า แบตเตอรี่ขนาดความจุ 25Ah เป็นขนาดความจุที่เหมาะสม อีกทั้งยังสามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดและมีขนาดทางกายภาพที่เหมาะสมสำหรับนำไปประกอบใช้งานภายในตู้ควบคุม อุปกรณ์ Load Break Switch ที่มีพื้นที่จำกัด

### 3.2.2 Active Battery Cell Balancing

การประกอบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต จะนำวงจร Active Battery Cell Balancing มาช่วยปรับระดับกระแสในแต่ละ Cell ให้เท่ากัน เนื่องจากความต้านทานภายใน (Internal Resistance) ของแต่ละ Cell ไม่เท่ากัน ในขณะที่ประจุหรือคายประจุ ระดับแรงดันของแต่ละ Cell จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงในระดับที่ต่างกัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปอาจส่งผลให้ระดับแรงดันของแต่ละ Cell ต่างกันมากเกินไป ทำให้ใช้พลังงานได้น้อยลง แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้น และระบบไม่เสถียร

สำหรับการเลือกอุปกรณ์ Active Battery Cell Balancing นั้น จะดูที่ความจุของแบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กกว่า 50Ah จะเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีขนาด 1.2A และถ้าแบตเตอรี่ที่มีขนาดระหว่าง 50Ah ถึง 200Ah จะเลือกใช้ อุปกรณ์ที่มีขนาด 5A และแบตเตอรี่ที่มีความจุ 200Ah ขึ้นไป จะเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีขนาด 5A ถึง 8A ทั้งนี้การเลือกใช้งานดังกล่าวขึ้นอยู่กับงบประมาณ หากเลือก Active Balance ขนาดใหญ่จะส่งผลให้การปรับระดับกระแสไฟฟ้าได้ทันทั่วทั้ง [4] ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ แบตเตอรี่มีขนาด 25Ah ดังนั้นจะเลือกใช้อุปกรณ์ Active Battery Cell Balancing ขนาด 1.2A



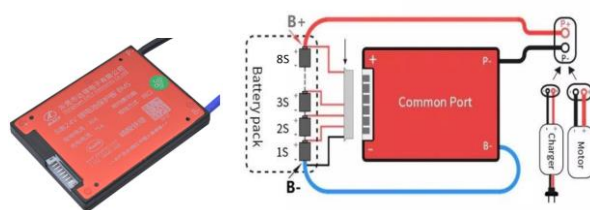
รูปที่ 4 รูปภาพ Active Battery Cell Balancing

### 3.2.3 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System)

ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System: BMS) ช่วยป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากแบตเตอรี่ โดยมีหน้าที่ตัดไฟจากวงจรเมื่อมีการประจุเต็มแล้ว หรือเมื่อแบตเตอรี่ร้อนเกินไปจนหนึ่งใกล้หมด BMS ช่วยตัดวงจร เมื่อมี

การประจุหรือการใช้แบตเตอรี่ด้วยกระแสเกินกว่าที่ BMS จะรับได้ (Overcharge Protection) และป้องกันแบตเตอรี่ไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินค่าที่กำหนด (Overheat Protection) นอกจากนี้ BMS ยังช่วยป้องกันผลกระทบจากภายนอกเข้าสู่แบตเตอรี่อื่นๆ เช่น ป้องกันกระแสไฟเกิน (Overcurrent Protection) ป้องกันการลัดวงจร (Short Circuit Protection) เป็นต้น

สำหรับในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกใช้ BMS สำหรับแบตเตอรี่ 8 Cells ต่ออนุกรมกัน แรงดัน 24Vdc ประจุสูงสุดที่ 15A และคายประจุสูงสุดที่ 30A



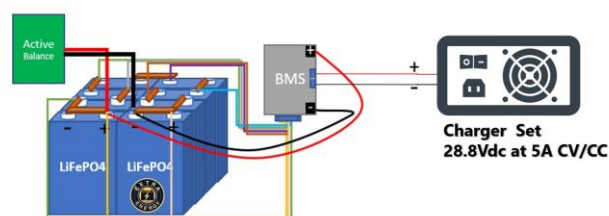
รูปที่ 5 รูปภาพ Battery Management System

### 3.3 ขั้นตอนการศึกษา

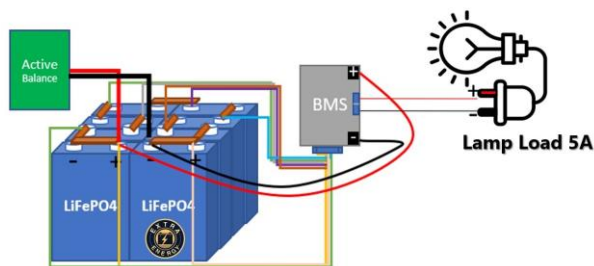
ศึกษาโดยการจำลองรูปแบบการใช้งานชุดอุปกรณ์ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต ให้มีสภาพใกล้เคียงกับการติดตั้งภายในตู้ควบคุมอุปกรณ์ Load Break Switch ในระบบจำหน่าย 22/33kV ทำการทดสอบการประจุ (Charge) และการคายประจุ (Discharge) พร้อมวัดและเก็บค่าทางไฟฟ้า แบ่งการทดสอบเป็น 4 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ทดสอบการประจุและการคายประจุที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  จำนวน 5 ชุด มีเงื่อนไขและข้อจำกัดของการทดสอบดังนี้

- การประจุจะตั้งค่าเครื่องควบคุมการประจุ (Charger) ที่ระดับแรงดันรวม 28.8Vdc และกระแสชาร์จ 5A
- คายประจุโดยการจ่ายโหลดโหลดไฟขนาดรวม 5A
- เนื่องจากพื้นที่ทำการทดลองอยู่ภายในห้องที่มีอุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  ถือเป็นข้อจำกัดของการศึกษานี้ และจะใช้  $20^{\circ}\text{C}$  เป็นอุณหภูมิของการทดลองอื่นๆ ต่อไป



รูปที่ 6 การทดสอบการประจุ (Charge)



รูปที่ 7 การทดสอบการคายประจุ (Discharge)

กรณีที่ 2 ทดสอบการประจุและการคายประจุที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  จำนวน 1 ชุด เพื่อจำลองสภาพการทำงานให้เหมือนตู้ อุปกรณ์จริง โดยใช้เตาอบและเครื่องวัดอุณหภูมิในการควบคุม อุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ พร้อมดำเนินการทดสอบเหมือน กรณีที่ 1

กรณีที่ 3 ทดสอบการคายประจุสำหรับโหลด 2C ที่ อุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  เพื่อจำลองการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์กระแสสูง ที่ใช้ในการปลดสับอุปกรณ์ Load Break Switch และรองรับ อุปกรณ์อื่นๆ ที่จะถูกนำมาใช้งานในอนาคต

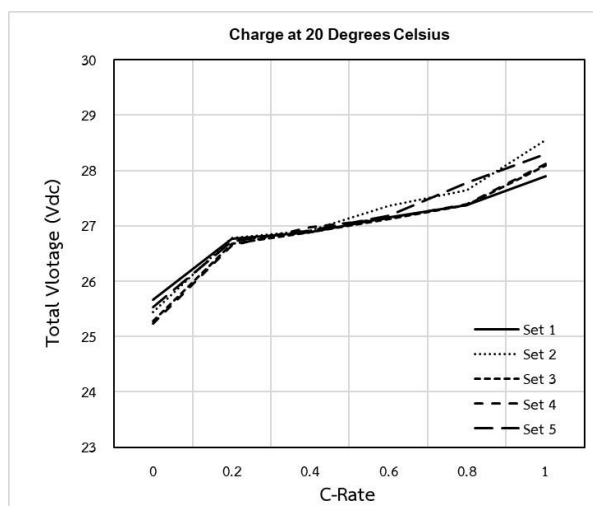
- 2C หมายถึง กระแสที่จ่ายออกมาจากแบตเตอรี่ได้ ภายในครึ่งชั่วโมง สำหรับแบตเตอรี่ 25Ah จะจ่าย กระแสได้ 50A ในระยะเวลาครึ่งชั่วโมง
- จำลองโหลด 2C มีขนาด 50A
- ใช้แบตเตอรี่จำนวน 4 Cells ( $3.4\text{Vdc} \times 4 = 13.6\text{Vdc}$ ) เพื่อจ่ายโหลด Inverter 12Vdc และหลอดไฟขนาด รวม 50A (2C)

กรณีที่ 4 ทดสอบการคายประจุด้วยตัวเอง (Self-Discharge) จำนวน 1 ชุด โดยทำการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม และปล่อยให้โดยไม่มีภาระต่อใช้งาน แบตเตอรี่จะมีการคาย ประจุในตัวเองในช่วงระยะเวลา 30 วัน

#### 4. ผลการศึกษา

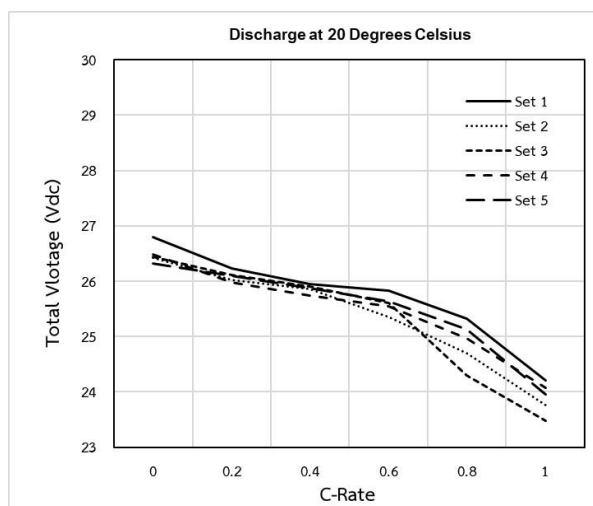
ผลการศึกษาจะแสดงการเปรียบเทียบเป็นกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความจุของแบตเตอรี่ มี รายละเอียดแบ่งตามแต่ละกรณีดังนี้

กรณีที่ 1 การทดสอบการประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสตรง คงที่ (5A) และแรงดันไฟฟ้าคงที่ ( $28.8\text{Vdc}$ ) เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง จนเต็มพิกัดความจุแบตเตอรี่ (Fully Charge  $5\text{A} \times 5$  ชั่วโมง = 25Ah) ซึ่งจะมีระดับแรงดันรวมเพิ่มขึ้นจนถึง  $28.1934\text{Vdc}$  (ค่าเฉลี่ยของ 5 ชุด)



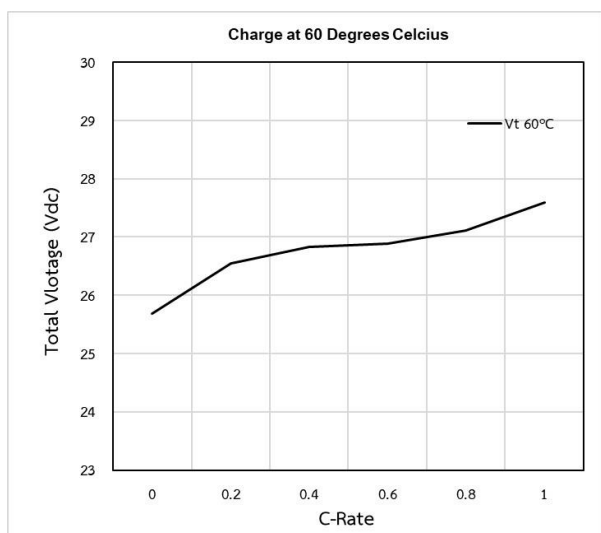
รูปที่ 8 กราฟแรงดันของแต่ละชุดขณะประจุแบตเตอรี่ ที่  $20^{\circ}\text{C}$

ทดสอบการคายประจุของชุดแบตเตอรี่ โดยการจ่ายโหลด ขนาด 5A จนประจุหมด ใช้ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งระดับแรงดัน รวมจะลดลงมาอยู่ที่  $23.8958\text{Vdc}$  (ค่าเฉลี่ยของ 5 ชุด)

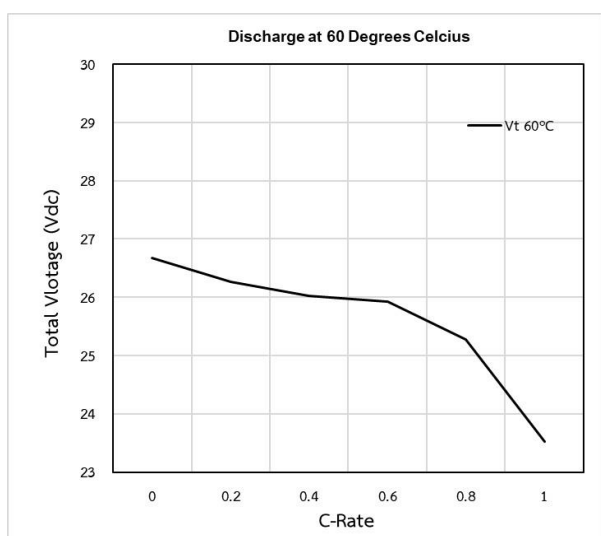


รูปที่ 9 กราฟแรงดันของแต่ละชุดขณะคายประจุแบตเตอรี่ ที่  $20^{\circ}\text{C}$

กรณีที่ 2 ดำเนินการทดสอบเหมือนกรณีที่ 1 แต่ควบคุม อุณหภูมิของชุดแบตเตอรี่ให้ทำงานที่  $60^{\circ}\text{C}$  แสดงผลการ ทดสอบได้ตามรูปที่ 10 และ 11 ระดับแรงดันรวมขณะประจุ เต็มพิกัดจะอยู่ที่  $27.6\text{Vdc}$  และขณะคายประจุจนหมดจะ ลดลงเหลือ  $23.53\text{Vdc}$



รูปที่ 10 กราฟแรงดันของแต่ละชุดขณะประจุแบตเตอรี่ ที่ 60°C

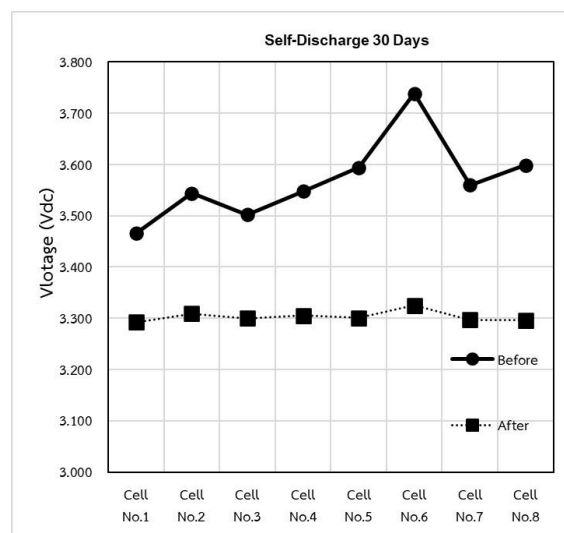


รูปที่ 11 กราฟแรงดันของแต่ละชุดขณะคายประจุแบตเตอรี่ ที่ 60°C

กรณีที่ 3 พบว่า แบตเตอรี่จำนวน 4 Cells สามารถจ่ายโหลดกระแสสูง 2C (50A) จนหมดความจุได้ในระยะเวลาครึ่งชั่วโมง

เนื่องจากการทดลองมีข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่มีอยู่และจำลองเป็นโหลด 2C คือ Inverter และหลอดไฟ ซึ่งมีแรงดันพิกัด 12Vdc จึงจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ 4 Cells ( $3.4V \times 4 = 13.6Vdc$ ) พบว่า ผ่านการทดสอบการจ่ายโหลด 2C และสามารถนำผลการทดสอบมาเป็นตัวแทนสำหรับแบตเตอรี่ทั้งชุดได้ (8 Cells)

กรณีที่ 4 ชุดแบตเตอรี่ที่ประจุเต็มพิกัด มีแรงดันรวมที่ 28.552Vdc (ก่อนทดสอบ) และปล่อยให้แบตเตอรี่คายประจุด้วยตัวเอง (Self-Discharge) โดยไม่มีการต่อใช้งาน เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า ภายหลังจากทดสอบ แรงดันรวมลดลงเหลือ 26.425Vdc แสดงระดับแรงดันของแต่ละ Cell ตามรูปที่ 12



รูปที่ 12 กราฟแรงดันของแต่ละ Cell ขณะทดสอบการคายประจุด้วยตัวเอง

## 5. อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาคุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตนำมาเปรียบเทียบกับตะกั่ว-กรด ของเดิมที่ใช้งานสรุปได้ดังนี้

อายุการใช้งาน เมื่อดูค่า Cycle Life ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต 1,000 - 2,000 ครั้ง หรือประมาณ 5 ปี มากกว่าตะกั่ว-กรดที่มีอายุประมาณ 2-3 ปี

การป้องกัน ในการใช้งานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในตู้อุปกรณ์ควบคุม แบตเตอรี่ถูกประจุหรือชาร์จตลอดเวลาเสี่ยงต่อการเกิด Overcharge และทำให้มีพลังงานความร้อนสะสม เกิดพลังงานสั้นเปลืองและอาจเป็นเหตุให้เกิดไฟไหม้ได้ แต่สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตที่มี Active Battery Cell Balancing และ Battery Management System (BMS) ช่วยจัดสมดุลการชาร์จให้มีประสิทธิภาพ และช่วยป้องกันการเกิด Overcharge และการลัดวงจร

ค่าใช้จ่ายในระยะยาว ถึงแม้ว่าราคาของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มีราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต แต่หากคิดค่าใช้จ่ายต่อปี พบว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่ามาก ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อชุด

ค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย (บาท/ชุด)	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อปี (บาท/ชุด)
แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	4,000 บาท/ชุด	2,000 บาท/ชุด/ปี (4,000 บาท / 2 ปี)
แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต	6,000 บาท/ชุด	1,200 บาท/ชุด/ปี (6,000 บาท / 5 ปี)

จากตารางพบว่า ค่าใช้จ่ายที่ลดได้เป็นเงิน 800 บาท/ชุด/ปี (2,000 - 800) คิดเป็น 40% ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีตู้ควบคุมอุปกรณ์ Load Break Switch ที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายกว่า 9,000 ชุด ดังนั้นจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยน



ทดแทนแบตเตอรี่ได้ประมาณ 800 บาท/ชุด x 9,000 ชุด เป็นเงิน 7,200,000 บาท/ปี และยังไม่ได้คิดค่าใช้จ่ายในการออกไปบำรุงรักษาตามวาระในแต่ละปีอีกด้วย

เนื่องจากยังไม่เคยมีการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตในตู้ควบคุมอุปกรณ์ Load Break Switch ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมาก่อน จึงได้ทำการทดลองการสำรองไฟและจ่ายไฟในสถานะต่างๆ และยืนยันว่าสามารถนำไปใช้ทดแทนแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดได้จริง โดยจากผลการทดลองในกรณีที่ 1 และ 2 พบว่า การประจุแบตเตอรี่ในช่วงเริ่มต้นจะอัดประจุแรงดันได้ในปริมาณมาก เมื่อผ่านไประยะหนึ่งของการประจุนั้น การประจุแรงดันค่อนข้างคงที่ และเมื่อแรงดันเต็มพิกัดเริ่มคงที่ กระแสที่ประจุเข้า Cell ของแบตเตอรี่จะค่อยๆ ลดลง และจะหยุดประจุเมื่อเต็มพิกัดของแบตเตอรี่

ในส่วนของการคายประจุจะลดลงเป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความจุซึ่งถูกใช้งานไปแล้วจากที่มีการอัดประจุเต็มพิกัด ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถานะประจุกับความจุกับความสามารถในการคายประจุ ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถานะประจุ (SOC) กับความสามารถในการคายประจุ (DOC)

สถานะประจุ (%SOC)	ความสามารถในการคายประจุ (%DOD)
100	0
75	25
50	50
25	75
0	100

เปรียบเทียบกรณีที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตสามารถจ่ายไฟหรือทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งที่อุณหภูมิปกติและที่อุณหภูมิสูง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การนำความร้อนของลิเทียมไอออนนั้นก็ทำงานได้ดีกว่า จึงสามารถนำไปติดตั้งใช้งานได้ในตู้อุปกรณ์จริง

เนื่องจากการทดลองในกรณีที่ 3 มีข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่มีอยู่และจำลองเป็นโหลด 2C คือ Inverter และหลอดไฟ ซึ่งมีแรงดันพิกัด 12Vdc จึงจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ 4 Cells (3.4Vcd x 4 = 13.6Vdc) แต่อย่างไรก็ตาม จะพบว่า แบตเตอรี่ 4 Cells สามารถจ่ายโหลด 2C ได้ และสามารถนำผลการทดสอบมาเป็นตัวแทนสำหรับแบตเตอรี่ทั้งชุดได้

กรณีที่ 4 หลังจากประจุแบตเตอรี่เต็มพิกัด และปล่อยทิ้งไว้โดยไม่มีการต่อใช้งานเป็นระยะเวลา 30 วัน แบตเตอรี่จะมีการคายประจุในตัวเอง พบว่า แรงดันแต่ละ Cell ลดลงอยู่ที่ประมาณ 3.295Vdc – 3.300Vdc แรงดันรวมอยู่ที่ 26.425Vdc (ลดลงประมาณ 7%) ซึ่งยังอยู่ในช่วงแรงดันพิกัดของตู้ควบคุมอุปกรณ์ Load Break Switch ที่ใช้งานในปัจจุบัน (26.0–28.8Vdc) สามารถสรุปได้ว่า ถึงแม้จะไม่มีการประจุชุดแบตเตอรี่หรือเครื่องอัดประจุซ้ำชุด เป็นระยะเวลานาน 30 วัน ชุดแบตเตอรี่ก็ยังสามารถสำรองไฟได้

## 6. ข้อสรุป

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตสามารถถูกนำไปใช้งานทดแทนแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเดิมได้ และมีอายุการใช้งานที่นานกว่า มีการนำวงจร Active Battery Cell Balancing และระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System: BMS) มาช่วยให้การใช้งานแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดค่าใช้จ่ายในระยะยาว อีกทั้งติดตั้งได้ง่ายโดยสามารถวางแทนตำแหน่งแบตเตอรี่ชุดเดิมได้ทันที

ผลการศึกษานี้เป็นแนวทางการนำแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตมาติดตั้งใช้งานในตู้ควบคุมอุปกรณ์ Load Break Switch โดยคณะผู้ทำการศึกษามีแผนการเข้าดำเนินการทดลองติดตั้งใช้งานจริงตามเขตต่างๆ รวมทั้งขยายผลโดยพัฒนาให้สามารถใช้งานได้กับอุปกรณ์ Load Break Switch 115kV และ Recloser ทั้งนี้ในการทดลองต้องใช้ระยะเวลาโดยประมาณเพื่อประเมินเสถียรภาพในการใช้งาน และยังคงคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษาอีกด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Hannah Ritchie. (2021). The price of batteries has declined by 97% in the last three decades. (2021, September), [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/battery-price-decline>
- [2] Battery University. (2021, August), [Online]. Available: [www.batteryuniversity.com](http://www.batteryuniversity.com)
- [3] David O'Brien, Investigation of Lithium Iron Phosphate Battery Technology and Performance in WA Conditions, The University of Western Australia, 2015.
- [4] K. Scott and S. Nork, Active Battery Cell Balancing, Analog Devices, Inc., 2019.
- [5] Ewert Energy Systems, Inc. (2019). Pre-Balancing Cells. (2021, August), [Online]. Available: <https://www.orionbms.com/general/pre-balancing-cells/>
- [6] Davide Andrea. (2013). Li-Ion BMS. (2021, August), [Online]. Available: [http://liionbms.com/php/cell\\_prebalancing.php](http://liionbms.com/php/cell_prebalancing.php)
- [7] ebikr.com. (2012). นวัตกรรมแบตเตอรี่ตระกูลลิเทียมไอออน แบตเตอรี่ LiFePo4 ชาร์จได้เร็วกว่าประสิทธิภาพเหนือกว่า. (2021, August), [Online]. Available: <http://blog.ebikr.com/posts/1975>