



ระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร  
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา 2565  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

ระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร  
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา 2565  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "ระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์"

ของ ชีรพงศ์ บรรจง

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

### คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....	ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
( )	
.....	ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช)	
.....	กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.พิสุทธิ์ อภิขยกุล)	
.....	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อักรพันธ์ วงศ์กั้งแห)	
	อนุมัติ

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	ระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์
ผู้วิจัย	ธีรพงศ์ บรรจง
สถานที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช
กรรมการที่ปรึกษา	ดร.พิสุทธิ์ อภิษยกุล
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วศ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2565
คำสำคัญ	แบตเตอรี่, ปัญญาประดิษฐ์

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ผู้วิจัยประสงค์จะดำเนินการนำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบระบบแสดงสถานะการใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ ระบบที่นำเสนอนี้สามารถแสดงพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ ที่ซึ่งมีค่าระดับแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิของแบตเตอรี่ และความจุประจุที่เหลือของแบตเตอรี่ในสถานการณ์แบบเรียลไทม์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และระบบเก็บข้อมูลที่ถูกรวบรวมได้ถูกแนะนำ ระบบแสดงสถานะการใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ และต้นแบบประกอบด้วย Raspberry Pi, ไมโครคอนโทรลเลอร์, โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า, เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส, วงจรแบ่งแรงดัน และไอซี MCP3008 อีกทั้งข้อมูลพลังงานของแบตเตอรี่สามารถถูกนำเสนอบนมือถือแบบสมาร์ต และเก็บรักษาในฐานข้อมูลคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ผลที่ได้เป็นตามเป้าประสงค์ที่นำเสนอนี้ท้ายที่สุด

<b>Title</b>	E-MOTORCYCLE BATTERY STATUS INDICATED SYSTEM WITH AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE
<b>Author</b>	Thiraphong Banchong
<b>Advisor</b>	Associate Professor Somporn Ruangsinchaiwanich, Ph.D.
<b>Co-Advisor</b>	Professor Phisut Apichayakul, Ph.D.
<b>Academic Paper</b>	M.Eng. Thesis in Electrical Engineering, Naresuan University, 2022
<b>Keywords</b>	Battery, Artificial Intelligence

### ABSTRACT

This research project, the researcher intends to conduct a presentation on the design of a system to show the battery usage status of electric vehicles with artificial intelligence. The presented system can display battery parameters. where the voltage, current, temperature of the battery and the remaining battery capacity in real-time situations and electronic equipment and a well-designed storage system has been introduced. The system shows the battery usage status of electric cars with artificial intelligence. And prototypes consist of Raspberry Pi, microcontroller, current measurement module, contactless temperature sensor, voltage divider and MCP3008 IC. Battery power data can also be presented on a smart phone. And stored in the cloud server database. The result is ultimately the objective presented here.

## ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้อุทิศสละเวลาอันมีค่ามาเป็นທີ່ปรึกษา พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภชัย หอวิมานพร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.พิสุทธิ์ อภิขยกุล กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครพันธ์ วงศ์กั้งแห กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ และทรงคุณค่า

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่เฝ้าเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่า และคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบ และอุทิศแต่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงระบบแสดงสถานะการใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าในประเทศไทย และผู้ที่สนใจบ้างไม่มากก็น้อย

ธีรพงศ์ บรรจง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
ประกาศคุุณุปการ .....	จ
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาของปัญหา.....	1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	2
ขอบเขตการวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
สมมุติฐานของการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
ยานยนต์ไฟฟ้า.....	6
การศึกษาระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้า.....	7
บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi.....	10
ส่วนประกอบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi.....	12
เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส (SCT-013-000).....	13

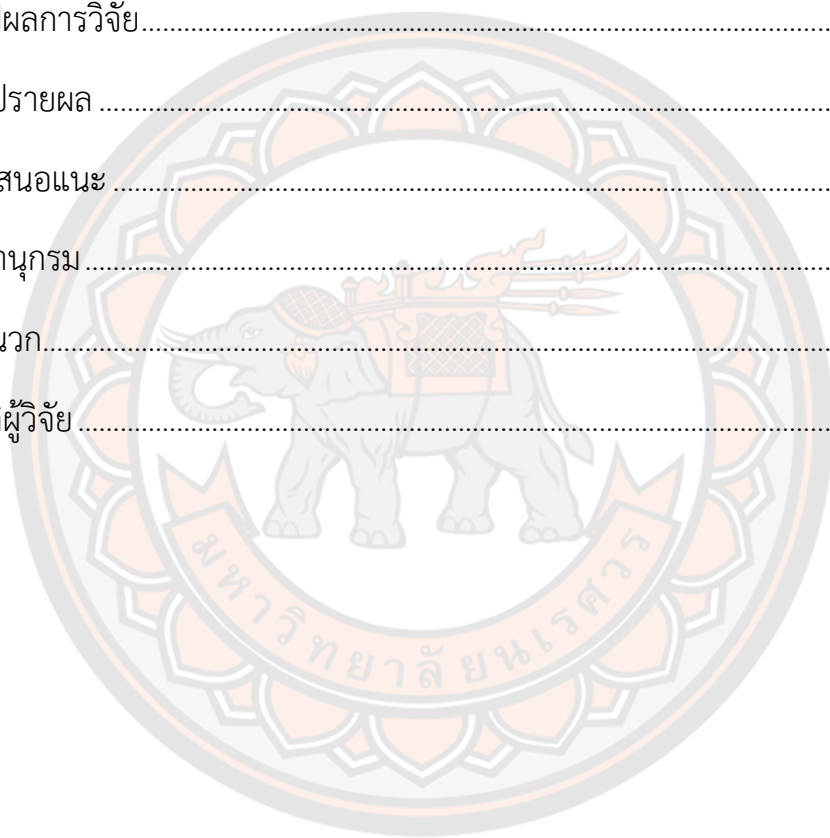
หลักการทํางานของเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า .....	15
เซ็นเซอร์อุณหภูมิแบบไร้สัมผัส (GY-906 MLX90614ESF) .....	19
ขอบเขตการมองเห็น (FOV).....	20
วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider Circuit) .....	22
วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider) .....	22
วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด (Load Voltage Divider).....	23
MCP 3008 (IC ขยายขา Analog).....	25
โครงสร้างของ MCP 3008 .....	25
Raspberry Pi 4 Model B .....	27
หลักการของการประจุแบตเตอรี่ .....	29
แบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าขนาดกลาง.....	31
แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid).....	31
แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO4).....	33
ผลของความเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ (Battery Aging).....	35
การลดลงของความจุ (Capacity Fade).....	36
ความต้านทานภายในที่เพิ่มขึ้น (Rising Internal Resistance).....	37
อัตราการคายประจุเองเพิ่มขึ้น (Elevated Self - Discharge).....	38
BMS (Battery Management System).....	40
มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน .....	41
แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	43
การกําจัดค่าผิดพลาดด้วยวิธี IQR.....	46
วิธีการถดถอย (Regression Method).....	47



Simple Linear Regression .....	47
Multiple Linear Regression Model .....	48
วิธีโครงข่ายประสาทเทียม .....	50
ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) .....	51
การประเมินความแม่นยำของปัญญาประดิษฐ์ .....	54
coefficient of determination .....	54
Mean Absolute Error (MAE) .....	54
Mean Square Error (MSE) .....	55
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย .....	56
การออกแบบระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับปัญญาประดิษฐ์ที่เลือกใช้ ..	56
การวางแผนการเลือกปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบแสดงสถานะรถไฟฟ้า .....	57
หลักการทํางานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ .....	58
การสร้างระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ .....	63
แบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า .....	63
โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า .....	64
วงจรแบ่งแรงดัน .....	65
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ .....	66
กล่องควบคุมการทํางาน .....	66
สัญญาณ WiFi ขณะใช้งานรถไฟฟ้า .....	67
บทที่ 4 ผลการวิจัย .....	68
การเก็บค่าที่วัดค่าจากรถไฟฟ้า .....	68
การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จของรถไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ .....	70

การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่ เชื่อมสภาพ .....	70
การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ เชื่อมสภาพแล้ว .....	72
การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ชนิดชนิดลิเธียม ไอออน ฟอสเฟต .....	74
การเก็บข้อมูลการชาร์จของรถไฟฟ้า .....	76
การเก็บข้อมูลการชาร์จของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เชื่อมสภาพ .....	76
การเก็บข้อมูลการชาร์จของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เชื่อมสภาพแล้ว .....	78
การเก็บข้อมูลการชาร์จของแบตเตอรี่ชนิดชนิดลิเธียม ไอออน ฟอสเฟต .....	79
การเปรียบเทียบค่าดิสชาร์จ และชาร์จในห้องปฏิบัติการกับค่าอ้างอิง .....	81
การเปรียบเทียบค่าดิสชาร์จกับค่าอ้างอิง .....	81
การเปรียบเทียบค่าชาร์จกับค่าอ้างอิง .....	83
การกำจัดข้อมูลที่มีค่าผิดปกติด้วยวิธี IQR .....	86
ผลลัพธ์ที่ได้จากปัญญาประดิษฐ์ .....	91
ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ .....	91
การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) .....	92
โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN) .....	98
การนำปัญญาประดิษฐ์ไปใช้งานจริง .....	105
แบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เชื่อมสภาพ .....	106
แบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดที่เชื่อมสภาพแล้ว .....	109
แบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดชนิดลิเธียม ไอออน ฟอสเฟต .....	111

การเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลกับปัญญาประดิษฐ์.....	114
การเปรียบเทียบค่าดัชนีชี้วัดในห้วงปฏิบัติการกับปัญญาประดิษฐ์.....	114
การเปรียบเทียบค่าดัชนีชี้วัดในห้วงปฏิบัติการกับปัญญาประดิษฐ์.....	116
การเปรียบเทียบกราฟการใช้งานจริงกับปัญญาประดิษฐ์.....	118
บทที่ 5 บทสรุป .....	121
สรุปผลการวิจัย.....	121
อภิปรายผล .....	123
ข้อเสนอแนะ .....	123
บรรณานุกรม.....	124
ภาคผนวก.....	129
ประวัติผู้วิจัย.....	135



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi.....	12
ตาราง 2 คุณสมบัติเพิ่มเติมเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส.....	14
ตาราง 3 ข่าข้อมูลของ MCP 3008 [16].....	26
ตาราง 4 แสดงคุณสมบัติของ MCP3008 .....	27
ตาราง 5 ระยะเวลาในการดิสชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของของ แบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	71
ตาราง 6 ระยะเวลาในการดิสชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว.....	73
ตาราง 7 ระยะเวลาในการดิสชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ลิเทียม ไอออน พอสเฟต .....	75
ตาราง 8 ระยะเวลาในการชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่ว กรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ .....	76
ตาราง 9 ระยะเวลาในการชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่ว กรดที่เสื่อมสภาพแล้ว.....	78
ตาราง 10 ระยะเวลาในการชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ลิเทียม ไอออน พอสเฟต .....	80
ตาราง 11 ผลลัพธ์สถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรต่อเนื่องของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (ก่อน กำจัดค่าผิดปกติ) .....	86
ตาราง 12 ผลลัพธ์สถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรต่อเนื่องของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน พอสเฟต (ก่อนกำจัดค่าผิดปกติ).....	87

ตาราง 13 ผลลัพธ์สถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรต่อเนื่องของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (หลัง กำจัดค่าผิดปกติ) .....	89
ตาราง 14 ผลลัพธ์สถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรต่อเนื่องของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต .....	90
ตาราง 15 สรุปประเมินแบบจำลองของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด .....	97
ตาราง 16 สรุปประเมินแบบจำลองของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต.....	98
ตาราง 17 การเปรียบเทียบรูปแบบฟังก์ชันถ่ายโอน.....	99
ตาราง 18 การเปรียบเทียบจำนวนชั้นซ่อน.....	99
ตาราง 19 สรุปประเมินแบบจำลองของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด .....	103
ตาราง 20 สรุปประเมินแบบจำลองของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต .....	104
ตาราง 21 ระยะเวลาในการดีสชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของของ แบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพขณะใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่ไฟฟ้า .....	108
ตาราง 22 พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว ขณะใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ.....	111
ตาราง 23 ระยะเวลาในการดีสชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต ขณะใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้า .....	113
ตาราง 24 ระยะเวลาเฉลี่ยในการชาร์จ/ดีสชาร์จ และพิกัดกระแสเฉลี่ย ของแบตเตอรี่ทั้ง 3 ชุด .....	121
ตาราง 25 สรุปประเมินแบบจำลองของแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิด .....	122

## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 จำนวนยานยนต์ไฟฟ้าสะสมในประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2558 – 31 พ.ศ. 2563 [1]	6
ภาพ 2 พื้นที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของรถไฟฟ้าบริเวณมหาวิทยาลัยรัตนนคร	7
ภาพ 3 ผลลัพธ์ที่แสดงโดยใช้ Thing speak cloud [5]	9
ภาพ 4 ส่วนประกอบของระบบแสดงสถานการณ์ใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า [6]	10
ภาพ 5 แผงวงจรด้านหน้าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi [7]	11
ภาพ 6 แผงวงจรด้านหลังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi [7]	11
ภาพ 7 ส่วนประกอบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Wemos D1 ESP8266 WiFi [7]	12
ภาพ 8 เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส (SCT-013-000) [8]	13
ภาพ 9 โครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส (SCT-013-000) [8]	14
ภาพ 10 แสดงโครงสร้างของ CT (Current Transformer) [9]	15
ภาพ 11 กราฟดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดกระแส ที่ระดับความเร็วต่าง ๆ	16
ภาพ 12 พิกัดกระแสที่ระดับความเร็วต่าง ๆ ที่วัดได้จากแคลมป์มิเตอร์ ของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต	17
ภาพ 13 แสดงความกว้างของสัญญาณพัลส์ [10]	18
ภาพ 14 กราฟดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดกระแส ที่ระดับความเร็วปานกลางเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากแคลมป์มิเตอร์ ของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต	18
ภาพ 15 เซนเซอร์อุณหภูมิแบบไร้สัมผัส (GY-906 MLX90614ESF) [11]	19

ภาพ 16 การส่งค่าเอาต์พุตแบบสัญญาณพัลส์ [12] .....	19
ภาพ 17 หลักการวัดค่าเอาต์พุตแบบสัญญาณพัลส์ [12].....	20
ภาพ 18 ความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิที่มุมขนาดต่าง ๆ ของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ.....	21
ภาพ 19 ระยะการวัดอุณหภูมิของเซนเซอร์อุณหภูมิแบบไร้สัมผัส [14].....	22
ภาพ 20 วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด [15].....	23
ภาพ 21 วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด [15] .....	23
ภาพ 22 วงจรแบ่งแรงดันสำหรับวัดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) .....	24
ภาพ 23 วงจรแบ่งแรงดันสำหรับวัดแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO <sub>4</sub> ) ..	24
ภาพ 24 MCP3008 [16].....	25
ภาพ 25 ขาข้อมูลของ MCP 3008 [16] .....	25
ภาพ 26 การต่อ MCP3008 กับ Node MCU [16].....	26
ภาพ 27 Raspberry Pi 4 Model B [17] .....	28
ภาพ 28 ส่วนประกอบของ Raspberry Pi 4 Model B [17].....	28
ภาพ 29 ตัวอย่างระบบแสดงระดับพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ [18].....	29
ภาพ 30 ภาพหลักการทำงานของแบตเตอรี่ [19].....	30
ภาพ 31 การใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดตามการใช้งานที่ค่ากระแสต่าง ๆ.....	33
ภาพ 32 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขณะอัดประจุ Li <sup>+</sup> จะเข้าระหว่างชั้น ของแกรไฟต์ในขั้วลบ และขณะคายประจุ Li <sup>+</sup> จะเข้าสู่โครงสร้างของวัสดุขั้วบวก [21]....	34
ภาพ 33 การใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนตามการใช้งานที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ.....	35
ภาพ 34 ลักษณะของแบตเตอรี่ที่มีอายุมาก [25] .....	36
ภาพ 35 แสดงผลของความต้านทานภายในแบตเตอรี่ [25].....	37

ภาพ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างความจุ และความต้านทานภายใน กับจำนวนรอบของการชาร์จ และคายประจุ ของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียม ไอออน ฟอสเฟต [25] .....	38
ภาพ 37 แสดงผลของการคายประจุเองสูง [25] .....	39
ภาพ 38 วงจรควบคุมการชาร์จ และคายประจุแบตเตอรี่ (BMS) [27].....	40
ภาพ 39 โครงสร้างภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน [28] .....	41
ภาพ 40 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน [28] .....	41
ภาพ 41 ขดลวดที่พันบนแกนเหล็กวางรอบตัวสเตเตอร์ [28].....	42
ภาพ 42 แสดงลักษณะของรถไฟฟ้า.....	43
ภาพ 43 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย .....	43
ภาพ 44 ส่วนประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย.....	44
ภาพ 45 ชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	45
ภาพ 46 การเปลี่ยนแปลงวัฏจักรการทำงาน ขณะเปลี่ยนค่าสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง...45	
ภาพ 47 IQR และค่าผิดปกติ .....	46
ภาพ 48 ตัวอย่างการวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอย [30] .....	47
ภาพ 49 โครงข่ายประสาทเทียมสองชั้น [36].....	51
ภาพ 50 แผนผังแสดงการเลือกรูปแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบแสดงสถานะรถไฟฟ้า.....	57
ภาพ 51 แผนผังแสดงการทำงานของระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์.....	59
ภาพ 52 แผนผังขั้นตอนการทำงานของกำจัดข้อมูลที่มีค่าผิดปกติด้วยวิธี IQR.....	60
ภาพ 53 แผนผังขั้นตอนการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	60
ภาพ 54 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้า .....	61



ภาพ 55 แผนผังขั้นตอนการทำงานของวงจรแบ่งแรงดัน .....	61
ภาพ 56 แผนผังขั้นตอนการทำงานของวงจรแบ่งแรงดัน .....	62
ภาพ 57 แผนผังขั้นตอนการส่งค่าไปไว้ยัง Google Sheet และ Raspberry Pi.....	62
ภาพ 58 การต่ออนุกรมแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ที่ใช้งานของรถไฟฟ้า .....	63
ภาพ 59 การต่อแบตเตอรี่ชนิดลิเธียม ไอออน ฟอสเฟตที่ใช้งานของรถไฟฟ้า.....	63
ภาพ 60 แสดงการต่อวงจรของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส.....	64
ภาพ 61 แสดงการต่อวงจรของวงจรแบ่งแรงดัน.....	65
ภาพ 62 แสดงการต่อวงจรของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส .....	66
ภาพ 63 วงจรควบคุมระบบแสดงสถานการณ์ใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า.....	67
ภาพ 64 แสดงการเชื่อมต่อสัญญาณ WiFi กับ Raspberry Pi และบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านสมาร์ทโฟน.....	67
ภาพ 65 การวัดค่าจากมัลติมิเตอร์โดยตรง .....	69
ภาพ 66 ค่าที่ถูกส่งมาเก็บไว้ใน Google Sheet.....	69
ภาพ 67 กราฟดิสชาร์จของการวัดค่าในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	70
ภาพ 68 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อสภาพขณะดิสชาร์จใน ห้องปฏิบัติการ.....	71
ภาพ 69 กราฟดิสชาร์จของการวัดค่าในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ เสื่อสภาพแล้ว .....	72
ภาพ 70 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังเสื่อสภาพแล้วขณะดิสชาร์จใน ห้องปฏิบัติการ.....	73
ภาพ 71 กราฟดิสชาร์จของการวัดค่าในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต .....	74
ภาพ 72 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตขณะดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการ	75

ภาพ 73 กราฟชาร์จของการวัดค่าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ .....	76
ภาพ 74 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพขณะชาร์จ .....	77
ภาพ 75 กราฟชาร์จของการวัดค่าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว .....	78
ภาพ 76 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้วขณะชาร์จ .....	79
ภาพ 77 กราฟชาร์จของการวัดค่าของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต .....	79
ภาพ 78 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตขณะชาร์จ .....	80
ภาพ 79 แสดงการดิสชาร์จของแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ชนิดต่าง ๆ [41] .....	81
ภาพ 80 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด .....	82
ภาพ 81 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว .....	82
ภาพ 82 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต .....	83
ภาพ 83 แสดงการชาร์จของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด แบ่งระยะการชาร์จเป็น 3 ระยะ [3, 20, 2] .....	83
ภาพ 84 State of charge (%) ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต [22] .....	84
ภาพ 85 กราฟชาร์จเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ .....	84
ภาพ 86 กราฟชาร์จเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด .....	85
ภาพ 87 กราฟชาร์จเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต .....	85
ภาพ 88 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด .....	87

ภาพ 89 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (ก่อนกำจัดค่าผิดปกติ).....	88
ภาพ 90 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ ตะกั่วกรด.....	89
ภาพ 91 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (หลังกำจัดค่าผิดปกติ).....	90
ภาพ 92 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้า กับพลังงานในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	93
ภาพ 93 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในสถานะดิสชาร์จ กับพลังงานในแบตเตอรี่ ตะกั่วกรด.....	93
ภาพ 94 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในสถานะชาร์จ กับพลังงานในแบตเตอรี่ตะกั่ว กรด.....	94
ภาพ 95 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับพลังงานในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	94
ภาพ 96 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้า กับพลังงานในแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต.....	95
ภาพ 97 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในสถานะดิสชาร์จ กับพลังงานในแบตเตอรี่ลิ เทียม ไอออน ฟอสเฟต.....	95
ภาพ 98 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในสถานะชาร์จ กับพลังงานในแบตเตอรี่ลิ เทียม ไอออน.....	96
ภาพ 99 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับพลังงานในแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต .....	96
ภาพ 100 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของแต่ละชั้นที่ได้จากการ คาดการณ์การเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ.....	100
ภาพ 101 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม.....	101

ภาพ 102 กราฟแสดงค่า MAE ของโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อผ่านการฝึกฝนจำนวน 1000 รอบ.....	101
ภาพ 103 กราฟแสดงค่า MSE ของโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อผ่านการฝึกฝนจำนวน 1000 รอบ.....	102
ภาพ 104 กราฟแสดงค่า MAE ของโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อผ่านการฝึกฝนจำนวน 1000 รอบ.....	102
ภาพ 105 กราฟแสดงค่า MSE ของโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อผ่านการฝึกฝนจำนวน 1000 รอบ.....	103
ภาพ 106 พื้นที่ในการเก็บข้อมูลการติสซาร์จของรถไฟฟ้าขณะมีโหด และการใช้งานรถไฟฟ้า.....	105
ภาพ 107 การเก็บข้อมูลการติสซาร์จขณะมีโหดของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ.....	106
ภาพ 108 กราฟการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ.....	107
ภาพ 109 กราฟการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม.....	107
ภาพ 110 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพขณะใช้งาน.....	108
ภาพ 111 การเก็บข้อมูลการติสซาร์จขณะมีโหดของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว.....	109
ภาพ 112 กราฟการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ.....	110
ภาพ 113 กราฟการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว.....	110

ภาพ 114 การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จขณะมีโหลดของแบตเตอรี่ไฟฟ้าชนิดแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต .....	111
ภาพ 115 กราฟการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่ไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณชนิดแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต .....	112
ภาพ 116 กราฟการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่ไฟฟ้าด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต.....	112
ภาพ 117 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตขณะใช้งาน .....	113
ภาพ 118 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 กับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ.....	114
ภาพ 119 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 กับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว .....	115
ภาพ 120 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 กับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต .....	115
ภาพ 121 กราฟชาร์จเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 3 กับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ .....	116
ภาพ 122 กราฟชาร์จเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 3 กับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว.....	117
ภาพ 123 กราฟชาร์จเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 กับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่.....	117
ภาพ 124 กราฟการเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 กับปัญญาประดิษฐ์....	118
ภาพ 125 กราฟการเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 กับปัญญาประดิษฐ์....	119
ภาพ 126 กราฟการเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 กับปัญญาประดิษฐ์....	120

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาของปัญหา

ในประเทศไทย รถพลังงานไฟฟ้ามีการจัดจำหน่ายหลากหลายประเภท เช่น รถจักรยานไฟฟ้า รถไฟฟ้าสำหรับคนพิการ รถไฟฟ้า 3 ล้อขนาดเล็ก และรถไฟฟ้าดัดแปลงต่าง ๆ ในอดีตรถพลังงานไฟฟ้าไม่ได้รับความนิยมมากนัก เนื่องจากหลากหลายสาเหตุ เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาถูก (ส่งผลให้รถใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นที่นิยมมากในอดีต) ราคาของรถไฟฟ้าสูง (ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทำให้เสียภาษีเพิ่มเติม) รถไฟฟ้าไม่ได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐเท่าที่ควร (ในอดีตรถไฟฟ้าไม่สามารถออกทะเบียนรถตามกฎหมายได้) ผู้ใช้งานไม่มั่นใจในบริการหลังการขาย ไม่มีระบบอำนวยความสะดวกที่ทันสมัย และเหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันความนิยมต่อการใช้งานพาหนะที่เป็นพลังงานสะอาดนับวันจะมีความต้องการที่สูงขึ้น เนื่องจากปัจจัยภายนอกประเทศ และปัจจัยภายในประเทศ เช่น เทคโนโลยีด้านรถไฟฟ้ามีการพัฒนา และตอบโจทย์ผู้ใช้งานโดยตรง ราคาเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ศักยภาพของรถไฟฟ้าด้านต่าง ๆ มีแนวโน้มที่ดีขึ้น ส่งผลให้รถไฟฟ้ากลับมาเป็นจุดสนใจสำหรับผู้ใช้งานพาหนะอย่างมาก อีกทั้งมาตรการส่งเสริมการใช้งานพาหนะของภาครัฐก็มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น โดยสังเกตจากจำนวนจุดชาร์จแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้นทั้งในตัวเอง และต่างจังหวัด โดยจะมีส่วนช่วยลดปริมาณก๊าซที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และลดการใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

ระบบประจุแบตเตอรี่ในรถไฟฟ้า โดยทั่วไป ใช้ระยะเวลาประมาณ 1 – 6 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดของแบตเตอรี่, ประเภทของแบตเตอรี่ และประเภทของระบบการประจุไฟฟ้า ทั้งนี้ระยะทางที่รถไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ในปัจจุบัน ยังไม่สามารถเดินทางในระยะไกลได้ด้วยการชาร์จเพียงครั้งเดียว เป็นปัญหาต่อผู้ใช้งานในการวางแผนการเดินทาง ทั้งนี้การมีระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ และแม่นยำ จะช่วยให้ผู้ใช้รถไฟฟ้าวางแผนการเดินทางหรือวางแผนการประจุพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยในการอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน อีกทั้งยังช่วยสนับสนุน และพัฒนาอุตสาหกรรมรถไฟฟ้าให้เกิดความเชื่อมั่นของผู้ใช้ในประเทศไทย

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) และแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) ขนาด 48 โวลต์ (V) 12 แอมป์ชั่วโมง (Ah) โดยจะทำการรวบรวมพารามิเตอร์การใช้งานแบตเตอรี่รถไฟฟ้าต่าง ๆ ได้แก่ กระแส (A) แรงดัน (V) และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ (°C) ทั้งขณะที่แบตเตอรี่มีโหลด และไม่มีโหลด และทดสอบการใช้งานจริงเมื่อใช้งานแบตเตอรี่ในระยะเวลาหนึ่ง และแบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพลง ทำให้ระดับพลังงานในแบตเตอรี่มีค่าต่างไปจากเดิม เป็นปัญหาในการออกแบบระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่เพื่อให้สามารถประมาณค่าพลังงานในแบตเตอรี่ได้แม่นยำตลอดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ จึงจำเป็นต้องใช้ปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์พลังงานในแบตเตอรี่ ซึ่งก็มีอยู่หลากหลายวิธี เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ของการใช้งานรถไฟฟ้าแล้ว ต่อมาก็จะนำปัญญาประดิษฐ์รูปแบบต่าง ๆ มาวิเคราะห์พลังงานในแบตเตอรี่แล้วนำมาเปรียบเทียบกับดูความเหมาะสมจากความแม่นยำของแต่ละวิธีแล้วเลือกนำไปใช้ในระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์

### จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) สำหรับรถไฟฟ้า 2 ชุด ทั้งในสถานะการประจุ, การใช้งานทั้งแบตเตอรี่ชุดที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (ยังไม่เสื่อมสภาพ) และแบตเตอรี่ที่ผ่านการใช้งานแล้ว (เสื่อมสภาพ)
2. ศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) สำหรับรถไฟฟ้าในสถานการณ์ประจุ
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่รถไฟฟ้า 3 ล้อ ระหว่างแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) ทั้ง 2 ชุดกับ แบตเตอรี่ชนิด ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>)
4. ศึกษาปัญญาประดิษฐ์รูปแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งานในระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้า
5. สามารถนำปัญญาประดิษฐ์ มาประยุกต์ใช้เพื่อประมาณการพลังงานของแบตเตอรี่

### ความสำคัญของการวิจัย

1. ได้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ (AI : Artificial Intelligence) เพื่อใช้ในการพยากรณ์ในระบบแสดงสถานะของแบตเตอรี่รถไฟฟ้า
2. เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการวิจัยในครั้งต่อไป
3. ตอบสนองนโยบายของภาครัฐในเรื่องการปฏิรูปประเทศด้านพลังงาน

### ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) ในรถไฟฟ้ายั้ง 2 ชุด ทั้งในสถานะการประจุ, การใช้งานแบตเตอรี่ชุดที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (ยังไม่เสื่อมสภาพ) และแบตเตอรี่ที่ผ่านการใช้งานแล้ว (เสื่อมสภาพ)
2. ศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) ในรถไฟฟ้ายั้ง
3. ออกแบบระบบแสดงสถานะของแบตเตอรี่รถไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ (AI : Artificial Intelligence)

### นิยามศัพท์เฉพาะ

1. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) คือ แบตเตอรี่แบบชาร์จไฟได้ชนิดที่เก่าแก่ที่สุด ซึ่งมีอัตราส่วนพลังงานต่อน้ำหนักที่ต่ำมาก และอัตราส่วนพลังงานต่อปริมาณที่ต่ำ แต่มีอัตราส่วนกำลังงานต่อน้ำหนักค่อนข้างสูง
2. แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) คือ แบตเตอรี่ชนิดชาร์จไฟได้ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมักใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา และรถยนต์ไฟฟ้า และกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สำหรับการใช้งานทางทหาร และการบินอวกาศ
3. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ คือ วิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ หลายตัว กับตัวแปรตาม 1 ตัว เพื่อศึกษาว่ามีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่ร่วมกันทำนาย หรือพยากรณ์ หรืออธิบายการผันแปรของตัวแปรตามได้
4. วิธีโครงข่ายประสาทเทียม คือ โมเดลทางคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลข้อมูลด้วยวิธีการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ ซึ่งแนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้มาจากการศึกษาโครงข่ายไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric Network) ในสมองที่ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neurons) และจุดประสานประสาท (Synapses) โดยเซลล์ประสาทหลาย ๆ เซลล์ที่ถูกเชื่อมต่อกันด้วยจุดประสานประสาทจนกลายเป็นโครงข่ายประสาทที่ทำงานร่วมกัน
5. การประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (R Square) คือ วิธีการประมาณ ค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัว โดยให้ผลรวมกำลังสองของความแตกต่างของค่า สังเกตกับค่าบนเส้นตรงที่แท้จริงแตกต่างกันน้อยที่สุด
6. ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error) คือ ตัวชี้วัดการประเมินแบบจำลองที่ใช้กับตัวแบบการถดถอย ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของแบบจำลองเทียบกับชุดทดสอบ คือค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของข้อผิดพลาดในการทำนายแต่ละรายการบนทุกกรณีในชุดทดสอบ ข้อผิดพลาดในการทำนายแต่ละครั้งคือ ความแตกต่างระหว่างค่าจริง และค่าที่คาดการณ์ไว้สำหรับชุดทดสอบ



7. ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error) คือ ผลต่างกำลังสองเฉลี่ยระหว่างค่าประมาณกับมูลค่าจริง MSE เป็นฟังก์ชันความเสี่ยง ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่คาดไว้ของการสูญเสียข้อผิดพลาดกำลังสอง

8. ค่าผิดปกติ (Outliers) เป็นข้อมูลที่มีค่าแยกออกจากกลุ่ม หรือแตกต่างไปจากข้อมูลค่าอื่น ๆ ที่มาจากแหล่งข้อมูล หรือมาจากความผิดพลาดจากการเก็บข้อมูลข้อมูล

### สมมุติฐานของการวิจัย

การประมาณการพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) ทั้ง 2 ชุด (เสื่อมสภาพ และยังไม่เสื่อมสภาพ) และแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต ( $\text{LiFePO}_4$ ) สามารถคำนวณได้จากค่าพลังงานไฟฟ้าเบื้องต้นขณะการใช้งานแบตเตอรี่ โดยอาศัยอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์หลากหลายรูปแบบ และสามารถประยุกต์ใช้งานจริงในระบบรถไฟฟ้า



## บทที่ 2

### เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

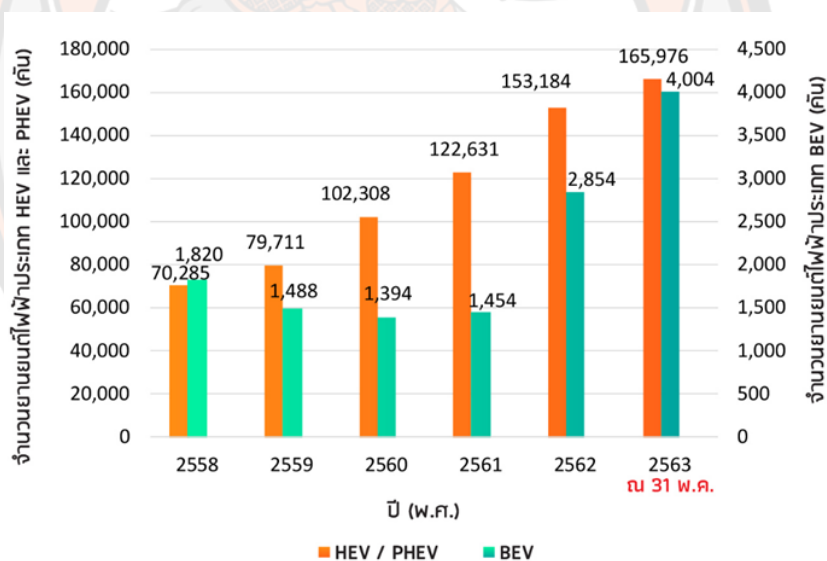
การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาร่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าพลังงานในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลแต่ละตัว ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด พร้อมทั้งเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพการพยากรณ์ระหว่างวิธีการ วิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น วิธีโครงข่ายประสาทเทียม และค่าจริงที่ได้จากการใช้เครื่องมือ วัด ในบทความนี้จะเป็นการนำเสนอหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ ทั้งนี้ก็เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาทฤษฎี และบทความที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ยานยนต์ไฟฟ้า
2. การศึกษาระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้า
3. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi
4. เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส (SCT-013-000)
5. เซ็นเซอร์อุณหภูมิแบบไร้สัมผัส (GY-906 MLX90614ESF)
6. วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider Circuit)
7. MCP 3008 (IC ขยายขา Analog)
8. Raspberry Pi 4 Model B
9. หลักการของการประจุแบตเตอรี่
10. แบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าขนาดกลาง
11. ผลของความเสื่อมอายุของแบตเตอรี่
12. BMS (Battery Management System)
13. มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน
14. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
15. การกำจัดค่าผิดปกติด้วยวิธี IQR
16. วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Method)
17. วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural networks Method)

## 18. การประเมินความแม่นยำของปัญญาประดิษฐ์

### ยานยนต์ไฟฟ้า

องค์การพลังงานนานาชาติ (International Energy Agency: IEA) [1] ได้รายงานการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าของโลกเป็นประจำทุกปี ทั้งนี้ได้ทำรวบรวมสถานการณ์พัฒนาในปัจจุบัน และข้อมูลจริงในอดีต เพื่อคาดการณ์แนวโน้มการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้าจนถึงปี พ.ศ. 2575 พบว่ามีประเด็นที่สำคัญ ได้แก่ การเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีอัดประจุไฟฟ้า แนวโน้มด้านราคายานยนต์ไฟฟ้า ตลอดจนความต้องการใช้แบตเตอรี่โดย IEA ได้เผยแพร่รายงานภาพรวมยานยนต์ไฟฟ้า เมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม 2562 ดังนี้ รถยนต์ไฟฟ้า ตลอดทั้งปี พ.ศ. 2561 พบว่ามีทั้งหมด มากกว่า 5.1 ล้านคัน เพิ่มขึ้นประมาณ 2 ล้านคัน เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนรถไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2560 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ตลาดภายในประเทศจีน นับเป็นตลาดรถยนต์ไฟฟ้าใหญ่ที่สุดในโลก สามารถจำหน่ายได้ประมาณ 1.1 ล้านคัน



ภาพ 1 จำนวนยานยนต์ไฟฟ้าสะสมในประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2558 – 31 พ.ค. 2563 [1]

สถานการณ์ยานยนต์ไฟฟ้าในไทย [1] การใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าภายในประเทศในภาพรวมมีทิศทางเพิ่มขึ้น พิจารณาได้จากสถิติข้อมูลการ ของกรมการขนส่งทางบก ตั้งแต่ พ.ศ. 2558 ถึง วันที่ 31 พ.ค. 2563 พบว่า ในกลุ่มของรถไฮบริด (HEV) และปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) มียอดจดทะเบียนสะสมกว่า 165,976 คัน และในกลุ่มของรถแบตเตอรี่ (BEV) มียอดจดทะเบียนสะสมกว่า 4,004 คัน



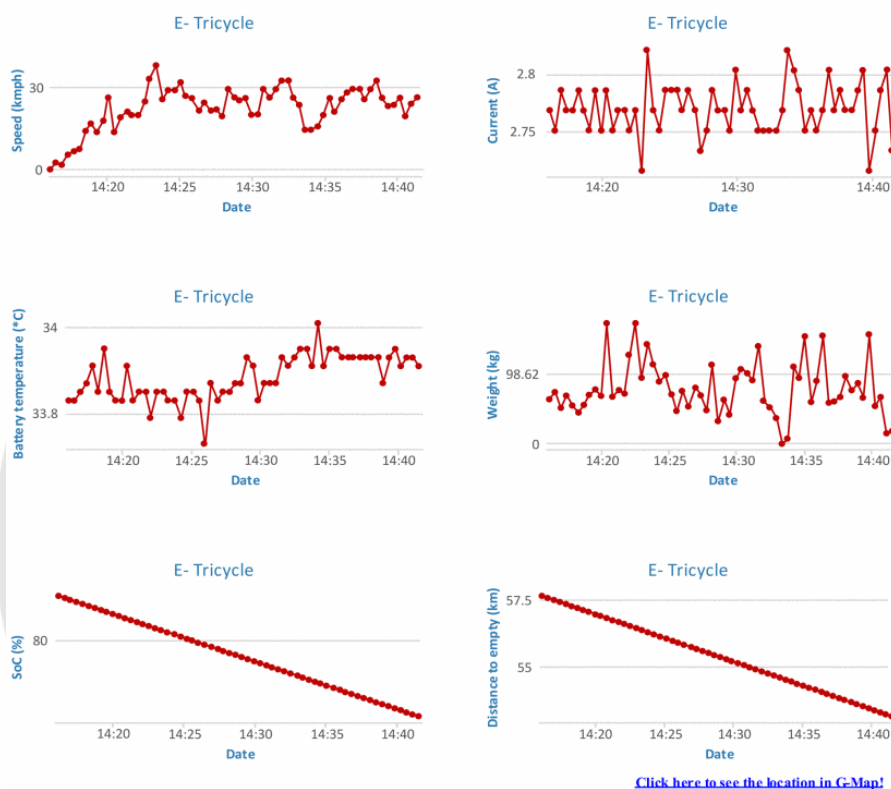
MIT Dataset โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการประมาณค่าอายุการใช้งานแบตเตอรี่ ได้แก่ กระแสชาร์จ (Charge), กระแสดีสชาร์จ (Discharge), อุณหภูมิ (Temperature), ค่าความจุแบตเตอรี่ (Capacity) และความต้านทานภายใน (Internal resistance) โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สามารถแยกคุณสมบัติออกเป็นคุณสมบัติย่อยจำนวน 42 รายการ ในการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ โดยใช้อัลกอริทึมของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) รูปแบบต่าง ๆ จำนวน 6 รูปแบบ ได้แก่ Elastic net, Gaussian process regression, Support vector machine, Random forest, Gradient boosting regression tree และ Neural network พบว่าอัลกอริทึม Elastic net, Gaussian process regression และ Support vector machine ให้ผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจมากกว่าอัลกอริทึมที่เหลือเนื่องจาก จำนวนข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างแบตเตอรี่ มีจำนวนน้อยเกินไปสำหรับอัลกอริทึมที่เหลือ ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าความผิดพลาดที่มาก

ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล, กฤษณะ จันทสิทธิ์ และธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต [4] ทำการศึกษาพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพแบตเตอรี่รถไฟฟ้า 3 ล้อขนาดเล็ก สำหรับใช้ในคริวเรือน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่ระหว่างแบตเตอรี่ตะกั่วกรดกับแบตเตอรี่ลิเธียม ไอออนฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) ด้วยการวิ่งทดสอบการใช้งานความเร็ว 3 ระดับ ด้วยรถไฟฟ้าขับเฟืองท้ายขนาดมอเตอร์ 500 วัตต์ ขนาดความกว้าง 160 เซนติเมตร ความยาว 108 เซนติเมตร และความสูง 69 เซนติเมตร ติดตั้งมาตรวัดความเร็ว และมาตรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าแบตเตอรี่ลิเธียม ไอออน ฟอสเฟต ขนาด 48 โวลต์ 20 แอมป์ พร้อมกับวงจรควบคุมการชาร์จ และคายประจุแบตเตอรี่ (BMS) ขนาด 48 โวลต์ 16S พบว่า หลังพัฒนาชุดแบตเตอรี่ลิเธียม ไอออน ฟอสเฟต ติดตั้งรถไฟฟ้า 3 ล้อ ขนาดเล็ก น้ำหนักแบตเตอรี่ลดลง 15.61 กิโลกรัม หรือร้อยละ 59.02 ระยะเวลาการชาร์จลดลง 5 ชั่วโมง หรือร้อยละ 37.50 ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3 ระดับ (ช้า ปานกลาง และสูง) เฉลี่ย 3 ครั้งในแต่ละระดับความเร็ว วัดระยะทาง ระยะเวลา และความเร็วสูงสุดของรถขณะวิ่ง โดยแบตเตอรี่ลิเธียม ไอออนฟอสเฟต มีประสิทธิภาพระยะทางการเคลื่อนที่ดีกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ร้อยละ 19.60 33.63 และ 30.27

SS Arya, Talluri, Mahi Teja and V. Karthikeyan\_[5] ได้ทำการศึกษาศักยภาพของรถสามล้อไฟฟ้าที่เปิดใช้งาน IoT (Internet of Things) สำหรับการเดินทางภายในพื้นที่ขนาดเล็ก เช่น สวนไอที สถาบันการศึกษา เมืองอัจฉริยะ ฯลฯ โดยพิจารณารูปแบบการขับขี่ในเมืองระดับ Tier 2 ของอินเดีย ระบบนี้ช่วยให้สามารถตรวจสอบอุณหภูมิจากระยะไกล สถานะการชาร์จ (SoC) ระยะทางที่รถไฟฟ้าวิ่งได้จนแบตเตอรี่หมด (DTE) ความเร็วและตำแหน่งของยานพาหนะ (Google-Map) โดยตรวจสอบจากวงจรที่เกี่ยวข้องซึ่งเกี่ยวข้องกับเซ็นเซอร์ต่าง ๆ และการรวมเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ได้รับการออกแบบ และทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ สำหรับวัตถุประสงค์ในการทดลอง โหลดตัวต้านทานแบบปรับได้ที่พิกัด 50 โอห์ม (Ohm), 5 แอมป์ (A)

เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ (V) , 40 แอมป์ชั่วโมง (Ah) ผลลัพธ์ของคุณสมบัติแต่ละอย่าง นำมาจากคลาวด์ Thing Speak และข้อมูลจะแสดงในเว็บเพจที่สร้างขึ้นเพื่อการรับชมที่ดีขึ้น ข้อมูล จะได้รับการอัปเดตทุก ๆ 25 วินาที แสดงดังภาพที่ 3

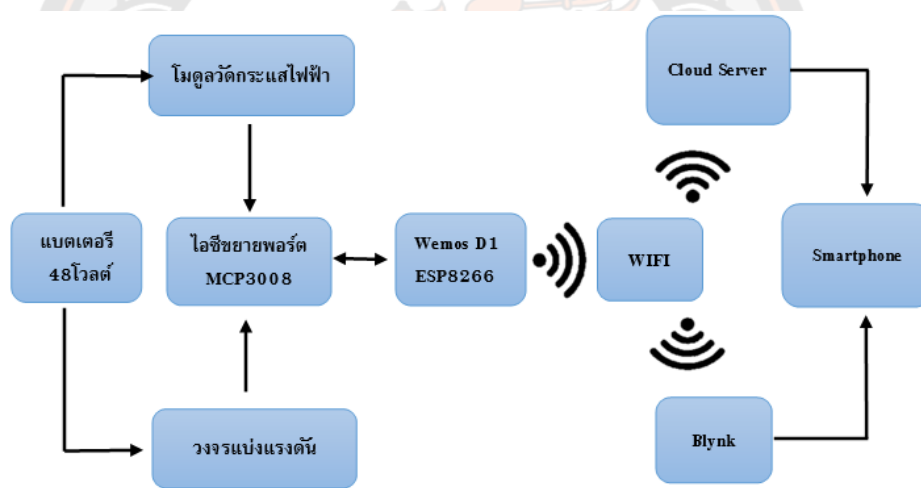
### E-Tricycle Monitoring



ภาพ 3 ผลลัพธ์ที่แสดงโดยใช้ Thing speak cloud [5]

ธีรพงศ์ บรรจง, พงศ์กิตต์ จินต์กสิกรรม, ฉัตรชัย โกสุม, อัครพันธ์ วงศ์กังแห และ สมพร เรืองสินชัยวานิช [6] ได้ศึกษาระบบต้นแบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เป็นระบบที่สามารถแสดงพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ ที่ซึ่งมีค่าระดับแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความจุประจุที่เหลือของแบตเตอรี่ในสถานการณ์แบบเรียลไทม์ อีกทั้งข้อมูลพลังงานของแบตเตอรี่สามารถถูกนำเสนอบนมือถือแบบสมาร์ทและเก็บรักษาในฐานข้อมูลคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ เริ่มต้นด้วยการนำเสนอโดยส่วนประกอบหลักของระบบต้นแบบ ประกอบด้วย บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Wemos D1ESP8266, โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า เพื่อทำการวัดขนาดกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน, วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า เพื่อทำการวัดระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน และไอซี MCP3008 เพื่อให้ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และ

สามารถขยายอินพุตได้ โดยภาพที่ 4 แสดงไดอะแกรมของระบบและความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในต้นแบบ ทั้งนี้เนื่องจากรถไฟฟ้ามีการเคลื่อนที่อยู่เสมอขณะถูกใช้งานใช้งาน ดังนั้นมีความจำเป็นต้องทำการส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน ในการนี้ต้นแบบทำการประยุกต์ใช้ฮอตสปอตไวไฟแบบพกพา (Mobile Hotspot WIFI) เพื่อช่วยในการส่งข้อมูลแบบปัจจุบันให้แก่ผู้ใช้งาน โดยในระบบสามารถส่งข้อมูลสถานะการใช้พลังงานไปเก็บไว้ที่ Google Sheet ที่ได้จัดทำไว้ นอกจากนี้ค่าที่ได้จะทำการแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชัน LINE เพื่อแจ้งเตือนว่าแบตเตอรี่เหลือพลังงานเท่าไร ทั้งนี้ปัจจุบันถือเป็นแอปพลิเคชันที่ง่ายต่อการใช้งาน และเข้าถึงประชาชนแทบทุกวัย อีกทั้งยังมีแอปพลิเคชัน Blynk สำรอง เพื่อสามารถดูค่าพารามิเตอร์พลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ขณะใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าจากผู้ใช้งานเอง หรือสมาชิกอื่น ๆ ได้ ผลที่ได้เป็นตามเป้าประสงค์ที่นำเสนอนี้ท้ายที่สุด



ภาพ 4 ส่วนประกอบของระบบแสดงสถานการณ์ใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า [6]

### บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi

Wemos D1 WiFi ตัวบอร์ดมีรูปร่างแบบเดียวกับ Arduino UNO ทำให้ใช้งานง่าย การต่อสายทำได้สะดวกขึ้น กล่าวได้ว่า Wemos D1 WiFi คือการทำให้ NodeMCU ESP8266 มาสร้างเป็นโครงสร้าง ในรูปแบบของ Arduino UNO Wemos D1 WiFi ใช้ชิพ TTL USB CH340 สำหรับเชื่อมต่อการอัปโหลดโปรแกรมลงบนบอร์ด สามารถใช้ Arduino IDE ลักษณะของ WeMos D1 ESP8266 WiFi แสดงดังภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ



ภาพ 5 แผงวงจรด้านหน้าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi [7]



ภาพ 6 แผงวงจรด้านหลังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi [7]

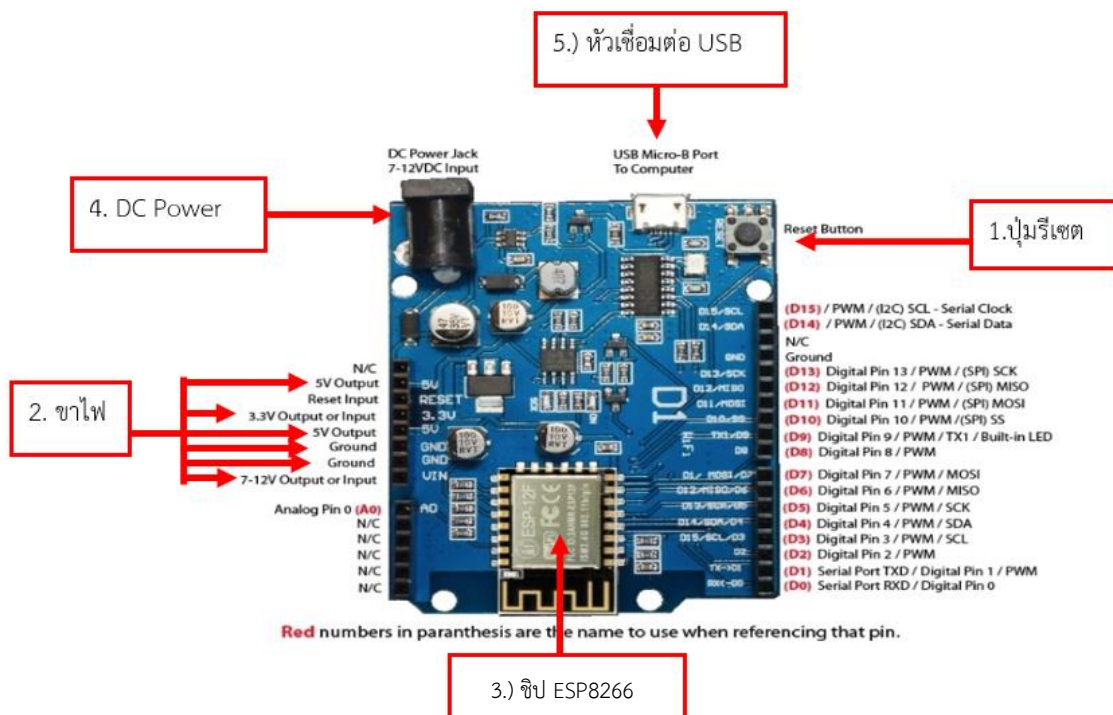


ตาราง 1 คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	ESP-8266EX
ใช้แรงดันไฟฟ้า	3.3 โวลต์
พอร์ตดิจิทัล อินพุต/เอาต์พุต	11
พอร์ต อนุาล็อกอินพุต	1 (รองรับแรงดันสูงสุด 3.3 โวลต์)
Clock Speed	80เมกะเฮิรตซ์ /160เมกะเฮิรตซ์
ออนบอร์ด 5 โวลต์ 1 แอมป์ Switching Power Supply (แรงดันไฟฟ้าอินพุตสูงสุด 24 โวลต์)	
เข้ากันได้กับ Arduino โดยใช้ Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรม	
ขนาด : 53.4×68.6 มิลลิเมตร	

### ส่วนประกอบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi

ไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi มีส่วนประกอบแสดงดังภาพที่ 7



ภาพ 7 ส่วนประกอบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Wemos D1 ESP8266 WiFi [7]

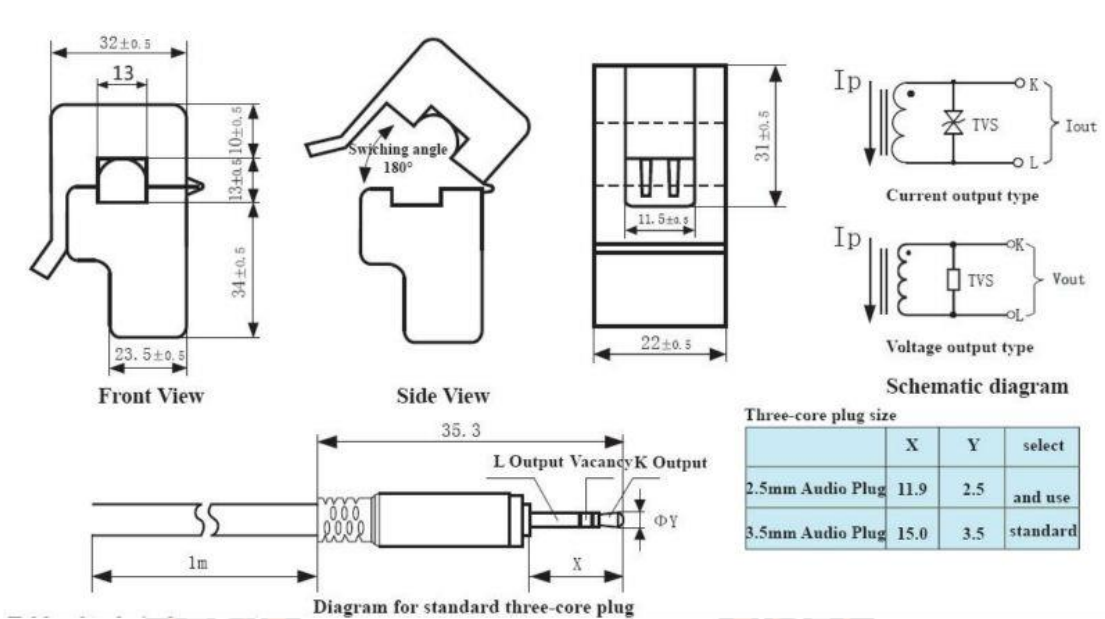
- 1.) ปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มการทำงานใหม่
- 2.) ขาไฟ (Power Port) ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +5 , +3.3 โวลต์, GND, Vin
- 3.) ชิพ ESP8266 คือโมดูล WiFi จากจีน ที่มีความพิเศษตรงที่สามารถโปรแกรมลงไปได้ ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย และมีพื้นที่โปรแกรมที่มากถึง 4 เมกะไบต์ ทำให้มีพื้นที่เหลือมากในการเขียนโปรแกรมลงไป
- 4.) DC Power รับแรงดันจากเต้าเสียบในย่าน 7 -12 โวลต์
- 5.) หัวเชื่อมต่อ USB ใช้ต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ และจ่ายไฟให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

#### เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส (SCT-013-000)

CT Sensor เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส คือ เป็นการวัดกระแสไฟฟ้าทางอ้อม โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า ให้เอาต์พุตออกมาเป็นโวลต์ สัมพันธ์กับกระแสที่วัดได้ มีฟังก์ชันป้องกันสัญญาณรบกวน , ตอบสนองต่อการวัดได้รวดเร็ว ใช้งานโดยการนำไปครอบสายไฟ โดย CT เป็นแบบแกนแยกได้ (Split Core Type) และมีตัวล๊อคจึงสะดวกในการใช้งาน สามารถวัดกระแสได้สูงสุด 20 แอมป์ (A) ให้แรงดัน เอาต์พุต 0-1 โวลต์ (V) สายยาว 1 เมตร แสดงดังภาพ 8 และ 9 คุณสมบัติเพิ่มเติมเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 2



ภาพ 8 เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส (SCT-013-000) [8]



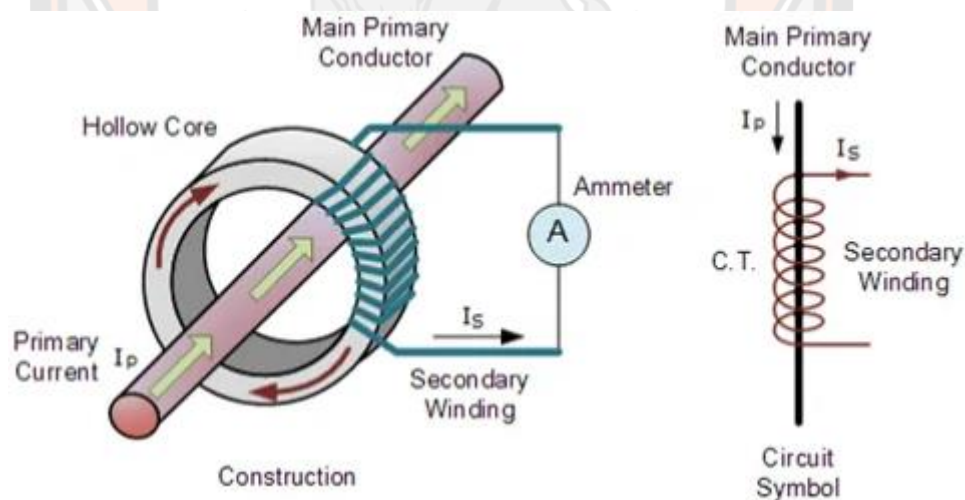
ภาพ 9 โครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส (SCT-013-000) [8]

ตาราง 2 คุณสมบัติเพิ่มเติมเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส

กระแสไฟเข้า	0 ~ 20 แอมป์
โหมดเอาต์พุต	0~50 มิลลิแอมป์
ความไม่เป็นเชิงเส้น	±3%
อัตราส่วน Turn Ratio	20 แอมป์ : 0.05 แอมป์
ระดับความต้านทาน	เกรด B
อุณหภูมิในการทำงาน	-25°C ~ + 70°C
ความยาวสาย	1 เมตร
ขนาด	13 มม. x 13 มม.

### หลักการการทำงานของเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า

เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าใช้หลักการเดียวกับ CT (Current Transformer) หรือ หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดทอนกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงให้เป็นกระแสไฟฟ้าที่มีค่าต่ำเพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า เมื่อต้องการวัดกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงกว่าพิสัย (Range) ของเครื่องวัดกระแสไฟฟ้านั้น เช่น แอมป์มิเตอร์ (Ammeter) ที่ใช้งานทั่วไปจะสามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้โดยตรงที่ 5 แอมป์ (A) เท่านั้น หากในกรณีที่ต้องการวัดกระแสไฟฟ้าที่มากกว่า 5 แอมป์ (A) จำเป็นจะต้องต่อผ่าน CT โดย CT (Current Transformer) จะทำหน้าที่วัดกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุต (Input Current) และลดทอนกระแสไฟฟ้าตามอัตราส่วน (Ratio) ของ CT แต่ละรุ่น โดยให้เหลือกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 5 แอมป์ (A) เช่น กระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุต หรือทางด้านปฐมภูมิ (Primary) 100 แอมป์ (A) เมื่อต่อผ่าน CT แล้ว กระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต หรือทางด้านทุติยภูมิ (Secondary) จะลดลงเหลือเพียง 5 แอมป์ (A) ตามอัตราส่วนของ CT แล้วนำไปต่อร่วมกับแอมป์มิเตอร์ เพื่อวัดและแสดงค่ากระแสไฟฟ้าโครงสร้างของ CT (Current Transformer) แสดงดังภาพที่ 10



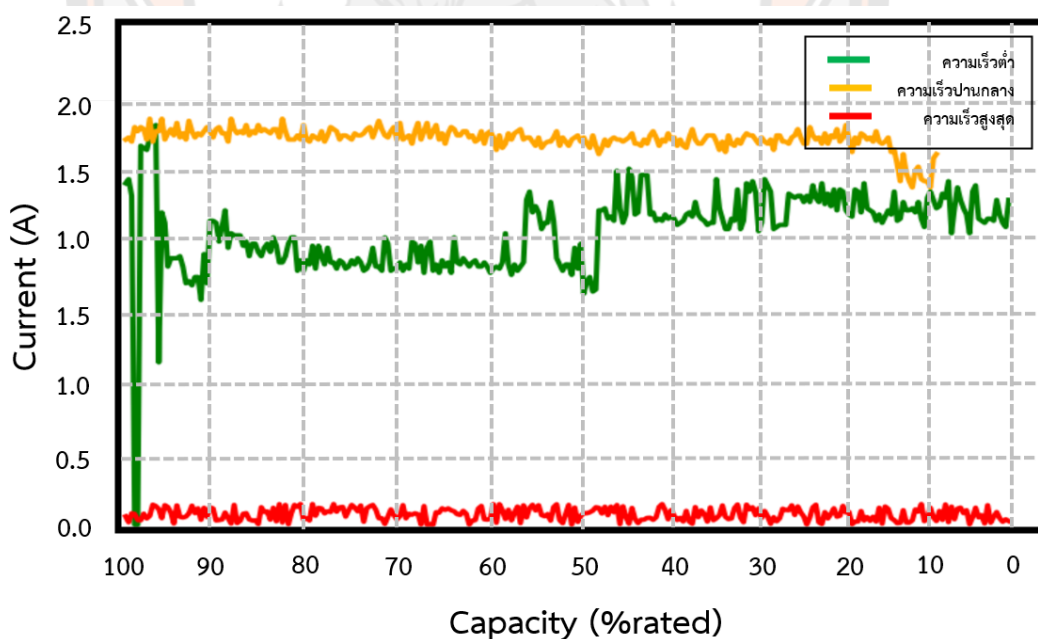
ภาพ 10 แสดงโครงสร้างของ CT (Current Transformer) [9]

จากภาพที่ 10 โครงสร้างของ CT (Current Transformer) หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ด้านบนจะเห็นว่าขดลวดทางด้านปฐมภูมิ (Primary Winding) มีสายไฟหรือบัสบาร์ผ่านแกนของ CT เพียงเส้นเดียว หมายความว่า CT วัดกระแสไฟฟ้าจะใช้งานกับโหลดได้หนึ่งตัวต่อ 1 เฟส ในส่วนของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ (Secondary Winding) จะมีการพันขดลวดที่แกน Hollow Core จำนวน

รอบของขดลวดมากกว่า โดยแกนวงกลมของหม้อแปลงวัดกระแสไฟฟ้า (CT) ทำมาจากเหล็กซึ่งเป็นวัสดุที่มีความสูญเสียต่ำ ซึ่งมีความสำคัญต่อค่าความแม่นยำของตัว CT ในการทำงานของ CT จะอาศัยหลักการวัดกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุต (Input Current) และลดทอนกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (Output Current) แบบสัดส่วน (Ratio) เพื่อไปต่อร่วมกับแอมป์มิเตอร์

Current Transformer เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับไหลผ่านสายไฟ จะทำให้เกิดเส้นสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปมา และไปตัดกับขดลวดที่พันรอบแกน Inductive Sensor ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเมื่อต่อกับโหลด ซึ่งจะวัดได้เฉพาะกระแสไฟฟ้า AC เท่านั้น กรณีที่จ่ายกระแสไฟฟ้า DC เข้าไปในสายไฟ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก

ในการหาค่ากระแสสูงสุดในฝั่ง Primary (Primary peak-current) ของกระแสไฟฟ้าในวงจร DC โดยคูณค่ากระแส RMS ด้วย  $\sqrt{2}$  และเมื่อนำไปคูณกับตัวปรับตั้งค่าในรหัสต้นฉบับของโปรแกรม พบว่าค่ากระแสที่วัดได้เกิดข้อผิดพลาดมากขึ้นตามการใช้งานรถไฟฟ้าที่ระดับความเร็วสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากระแสที่วัดจากแคลมป์มิเตอร์ แสดงดังภาพที่ 11 และ 12 ตามลำดับ



ภาพ 11 กราฟดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดกระแส ที่ระดับความเร็วต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

ก.)



ความเร็วต่ำ

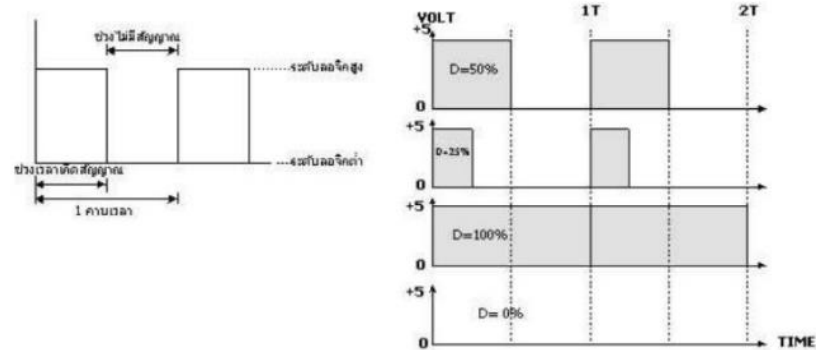
ข.) ความเร็วปานกลาง

ค.) ความเร็วสูงสุด

ภาพ 12 พิกัดกระแสที่ระดับความเร็วต่าง ๆ ที่วัดได้จากแคลมป์มิเตอร์ ของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

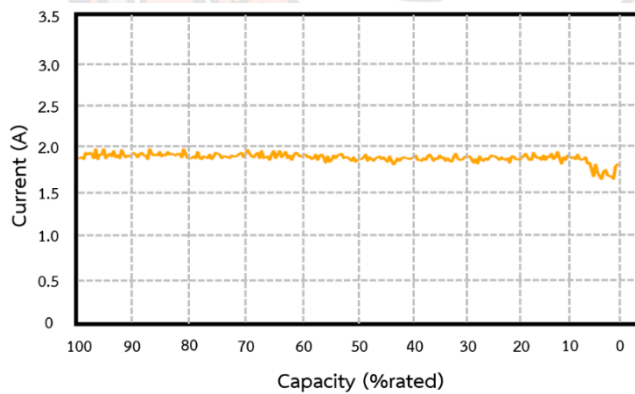
จากภาพที่ 11 และ 12 เมื่อเปรียบเทียบกราฟดิสมาร์จในห้องปฏิบัติการที่วัดได้จาก เซ็นเซอร์วัดกระแส ที่ระดับความเร็วสูงสุดที่ 0.09 แอมป์ กับพิกัดกระแสที่ระดับความเร็วสูงสุดที่วัดได้จากแคลมป์มิเตอร์ที่ 3.01 แอมป์ จะพบว่ามีค่าต่างกันมาก เนื่องจาก เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบ ไร้สัมผัส (SCT-013-000) ถูกออกแบบมาสำหรับวัดกระแสไฟฟ้า AC จึงทำให้ไม่สามารถวัดกระแสไฟฟ้า DC ในรถไฟฟ้าที่ทุกระดับความเร็วได้ แม้จะทำการคูณกับตัวปรับตั้งค่าในรหัสต้นฉบับของโปรแกรมแล้วก็ตาม เนื่องจากชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งใช้ในการควบคุมทิศทางและความเร็วรถไฟฟ้าจะปรับความกว้างของพัลส์ หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่า duty cycle ซึ่งค่าของ duty cycle คือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จาก ความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ในการปรับคาบเวลาจะมีผลกับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกไปยังอุปกรณ์ที่จะควบคุม

ถ้าปรับให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วสูงสุด หรือ 100% Duty cycle จะทำให้มีช่วงที่เป็น High 100% ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกไปเป็น 100% ของทั้งหมด จะทำให้สัญญาณพัลส์อยู่ในสถานะลอจิกสูงทั้งหมดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ดังนั้นเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าใช้หลักการเดียวกับหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าไม่สามารถอ่านค่ากระแสที่ระดับความเร็วสูงสุด หรืออ่านค่าได้น้อยมาก แสดงดังภาพที่ 13



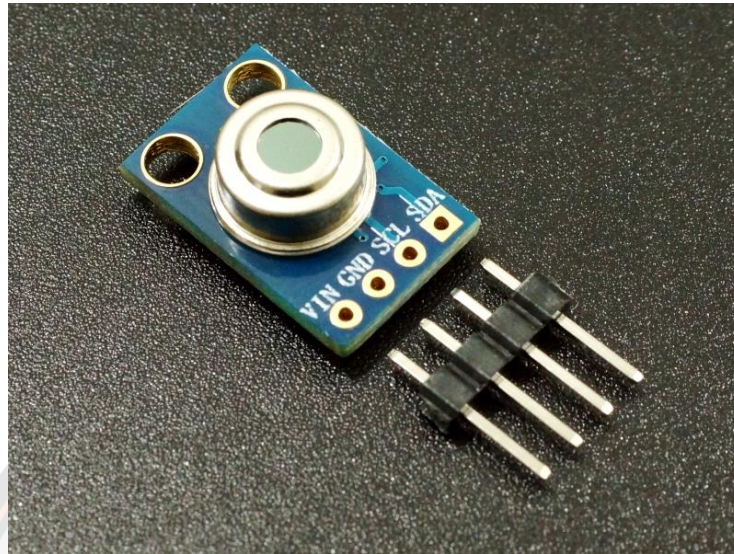
ภาพ 13 แสดงความกว้างของสัญญาณพัลส์ [10]

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเฉพาะความเร็วปานกลาง เพื่อจะได้ลดเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง และลดผลกระทบที่เกิดจากเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ทำให้สามารถปรับตั้งให้เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าสามารถวัดกระแสไฟฟ้าที่ระดับความเร็วปานกลางได้อย่างแม่นยำ เมื่อเปรียบเทียบกับที่วัดได้จากแคลมป์มิเตอร์ แสดงดังภาพที่ 14



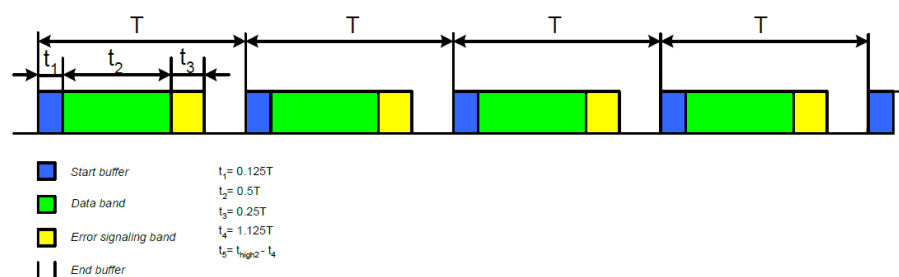
ภาพ 14 กราฟดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดกระแส ที่ระดับความเร็วปานกลาง เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากแคลมป์มิเตอร์ ของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

### เซนเซอร์อุณหภูมิแบบไร้สัมผัส (GY-906 MLX90614ESF)



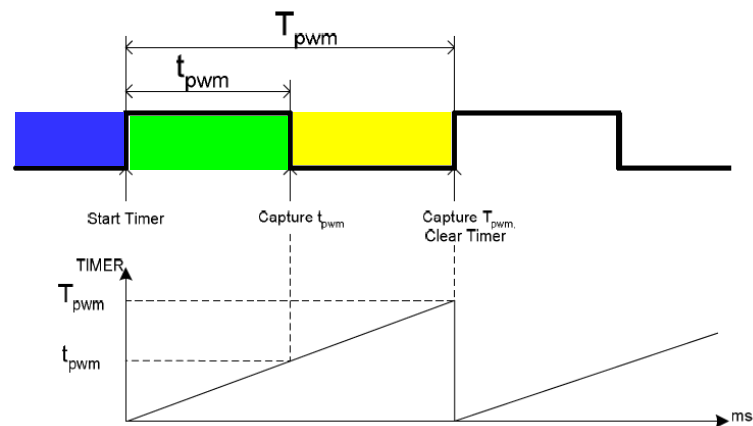
ภาพ 15 เซนเซอร์อุณหภูมิแบบไร้สัมผัส (GY-906 MLX90614ESF) [11]

จากภาพที่ 15 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส ใช้ชิพ MLX90614 โดยใช้หลักการแปลงแสงอินฟราเรดซึ่งจะมีความเข้มแสงแตกต่างกันตามแต่ละวัตถุให้เป็นค่าอุณหภูมิ สามารถวัดอุณหภูมิแบบไร้การสัมผัสที่เป้าหมายได้ระหว่าง -70 ถึง 380 องศาเซลเซียส และสามารถวัดอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมได้ระหว่าง -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส มีระยะวัดอุณหภูมิที่ 5 เซนติเมตร สามารถใช้ร่วมกับ Arduino ได้ ใช้ไฟเลี้ยง 5V เชื่อมต่อแบบ I2C โดยหลังจากชิพ MLX90614 ทำการประมวลผลอุณหภูมิของวัตถุ และสิ่งแวดล้อมจะถูกส่งออกผ่านเอาต์พุตแบบสัญญาณพัลส์ ขนาด 10 บิต (Pulse Width Modulation) แทนค่าอุณหภูมิที่วัดได้ เข้ากับขา SDA (Serial Data) สำหรับรับ - ส่งข้อมูล และ ขา SCL (Serial Clock) เป็นตัวควบคุมการรับ - ส่งข้อมูล แสดงดังภาพที่ 16



ภาพ 16 การส่งค่าเอาต์พุตแบบสัญญาณพัลส์ [12]



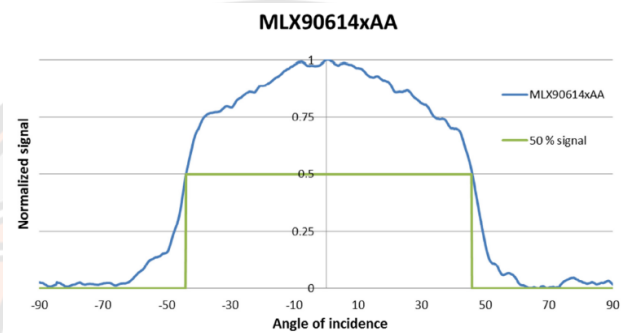
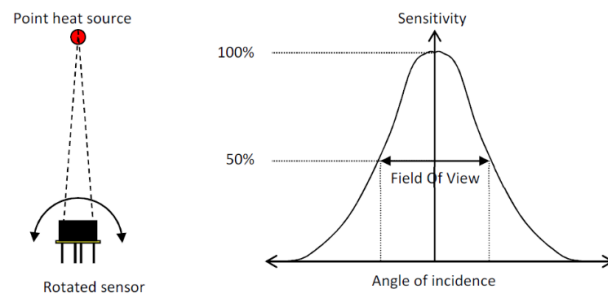


ภาพ 17 หลักการวัดค่าเอาต์พุตแบบสัญญาณพัลส์ [12]

จากภาพที่ 16 และภาพที่ 17 การวัดสัญญาณเอาต์พุตแบบสัญญาณพัลส์ เริ่มต้นเมื่อสัญญาณพัลส์อยู่ในสถานะลอจิกสูงถูกตรวจพบทำให้ TIMER เริ่มทำงาน หรือช่วง Start buffer ( $t_1$ ) ค่าของ TIMER ถูกเก็บไว้ในตัวแปร  $t_{pwm}$  หรือช่วง Data band ( $t_2$ ) เป็นช่วงที่จะทำการเก็บค่าทั้งหมดหมายถึง และสิ่งแวดล้อมไปประมวลผลเป็นค่าอนุกรมตัวเลข ส่วนสัญญาณพัลส์ในสถานะลอจิกต่ำค่า TIMER จะไม่ถูกเก็บไว้ในตัวแปร  $t_{pwm}$  โดยถือว่าเป็นค่าผิดปกติ หรือ Error signaling band ( $t_3$ ) และในช่วงที่สถานะลอจิกสูงถัดไป ค่าของ TIMER จะถูกเก็บไว้ในตัวแปร  $T_{pwm}$  โดย TIMER จะถูกล้าง หรือช่วง End buffer เป็นการจบการวัดสัญญาณพัลส์จนกว่า TIMER จะตรวจพบสัญญาณพัลส์ในสถานะลอจิกสูงถัดไป

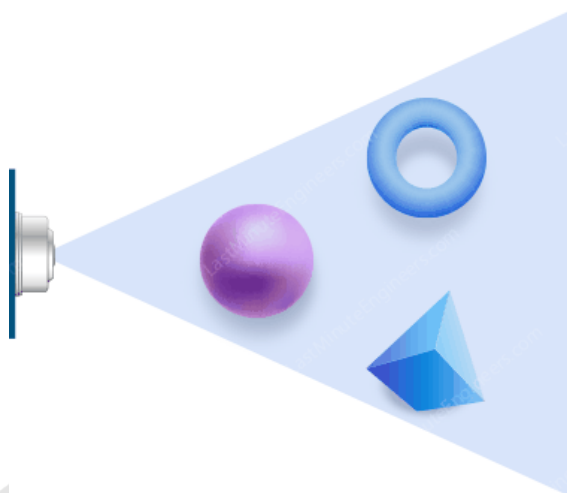
### ขอบเขตการมองเห็น (FOV)

ขอบเขตการมองเห็น (FOV) ของชิพ MLX90614 มีมุมรับภาพ 90 องศา และอนุกรมที่รายงานคือ อนุกรมเฉลี่ยภายในขอบเขตการมองเห็นนั้น สิ่งสำคัญคือ วัตถุที่วัดจะต้องอยู่ในขอบเขตการมองเห็นอย่างสมบูรณ์ มิฉะนั้นอาจส่งผลให้การวัดไม่แม่นยำ โดยหากวัดอนุกรมพื้นผิวของวัตถุ เช่น IC หรือเพลาหมุน โดยทั่วไปจะใช้ระยะการวัดประมาณ 1 ซม. มีฟิลเตอร์ออปติคัลในตัวที่ตัดแสงที่มองเห็น และไกล์อินฟราเรดออกเพื่อลดผลกระทบต่อการอ่าน แสดงดังภาพที่ 18



ภาพ 18 ความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิที่มุมขนาดต่าง ๆ ของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้การสัมผัส [13]

เซ็นเซอร์อุณหภูมิแบบไร้สัมผัส (GY-906 MLX90614ESF) มีระยะในการตรวจจับอุณหภูมิของวัตถุที่ 5 เซนติเมตร หมายความว่า เซ็นเซอร์อุณหภูมิแบบไร้สัมผัสจะมีความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิสูงสุดในระยะห่างจากวัตถุไม่เกิน 5 เซนติเมตร ถ้าเกินกว่าระยะนั้นความแม่นยำจะลดลงเนื่องจาก เซ็นเซอร์อาจตรวจพบวัตถุที่ไม่ควรวัด ส่งผลให้การวัดไม่แม่นยำ แสดงดังภาพที่ 19



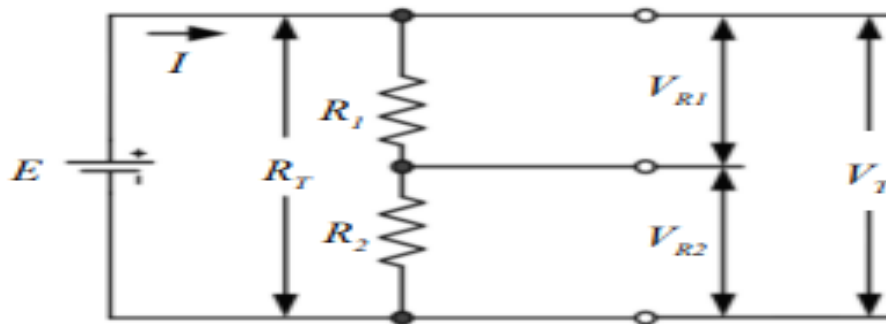
ภาพ 19 ระยะเวลาวัดอุณหภูมิของเซนเซอร์อุณหภูมิแบบไร้สัมผัส [14]

### วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider Circuit)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider Circuit) หมายถึงวงจรที่ประกอบด้วยความต้านทาน 2 ตัวขึ้นไปต่ออนุกรม (Series) อยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Power Supply) ซึ่งค่าความต้านทานในวงจรจะทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าในวงจร โดยทั่ว ๆ ไปแล้ววงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าพัฒนามาจากกฎของโอห์มเพียงแต่การคิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวใช้วิธีของวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า จะรวดเร็วกว่าและสะดวกกว่ากฎของโอห์ม วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

### วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider)

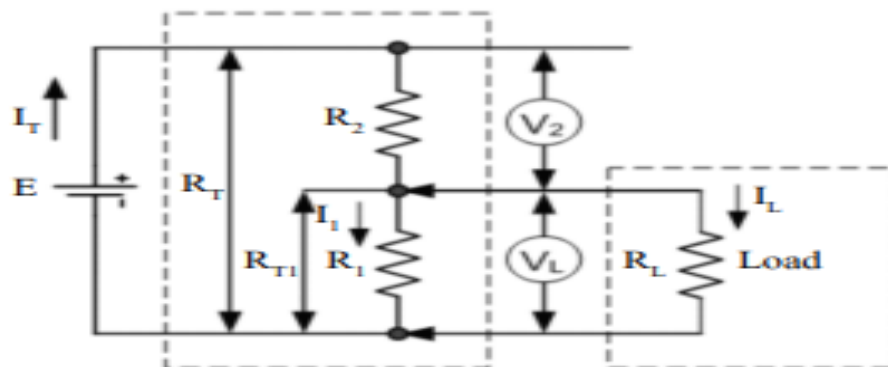
เป็นวงจรในสถานะที่ยังไม่ต่อโหลดเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า โดยจะมีตัวต้านทานต่ออนุกรมอยู่กับวงจร ในสภาวะนี้ยังไม่มีกระแส ไฟฟ้าจ่ายสู่โหลด (Load) ที่ต่ออยู่ภายนอก แสดงดังภาพที่ 20



ภาพ 20 วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด [15]

#### วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด (Load Voltage Divider)

เป็นสถานะของวงจรที่ต่อโหลด (Load) เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเกิดขึ้น โดยกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานแต่ละตัวที่ทำหน้าที่แบ่งแรงดันวงจร เรียกว่า กระแสบริดเตอร์ (Bleeder Current) ซึ่งในวงแบ่งแรงดันนี้ ค่ากระแสบริดเตอร์ควรมีค่าน้อยประมาณร้อยละ 10 – 20 ของกระแสโหลด มีการต่อวงจรแสดงดังภาพที่ 21

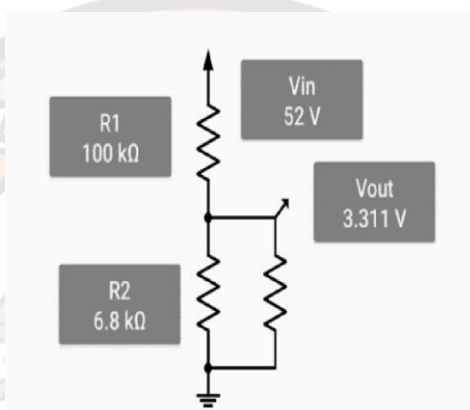


ภาพ 21 วงจรแบ่งแรงดันที่มีโหลด [15]

เนื่องจากแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) และแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) ขนาด 48 โวลต์ แต่แรงดันที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi รับได้คือ 3.3 โวลต์ จึงจำเป็นต้องใช้วงจรแบ่งแรงดันจาก 48 โวลต์ เป็น 3.3 โวลต์ ทำให้ WeMos D1 ESP8266 WiFi สามารถอ่านค่าแรงดันจากแบตเตอรี่ได้ สมการการแบ่งแรงดันจะเป็นไปตามสมการนี้

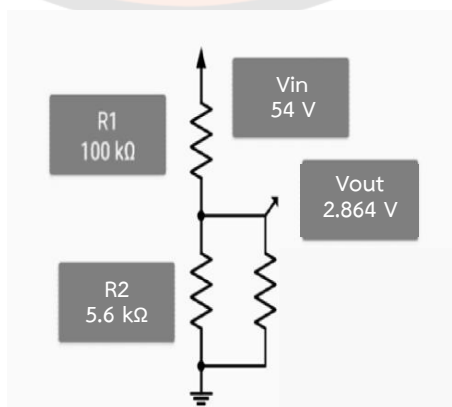
$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

ในการต่อวงจรแบ่งแรงดัน จากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) ขนาด 48 โวลต์ แต่เมื่อแบตเตอรี่ทำการชาร์จเต็มจะมีแรงดันอยู่ที่ประมาณ 52 โวลต์ ทำให้ต้องใช้ตัวต้านทานขนาด 100 กิโลโอห์ม และ 6.8 กิโลโอห์ม ในการแบ่งแรงดันจาก 52 โวลต์ ให้เหลือ 3.3 โวลต์ แสดงดังภาพที่ 22



ภาพ 22 วงจรแบ่งแรงดันสำหรับวัดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid)

ในการต่อวงจรแบ่งแรงดัน จากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO4) ขนาด 48 โวลต์ แต่เมื่อแบตเตอรี่ทำการชาร์จเต็มจะมีแรงดันอยู่ที่ ประมาณ 54 โวลต์ ทำให้ต้องใช้ตัวต้านทานขนาด 100 กิโลโอห์ม และ 5.6 กิโลโอห์ม ในการแบ่งแรงดันจาก 54 โวลต์ ให้เหลือต่ำกว่า 3.3 โวลต์ แสดงดังภาพที่ 23



ภาพ 23 วงจรแบ่งแรงดันสำหรับวัดแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO4)

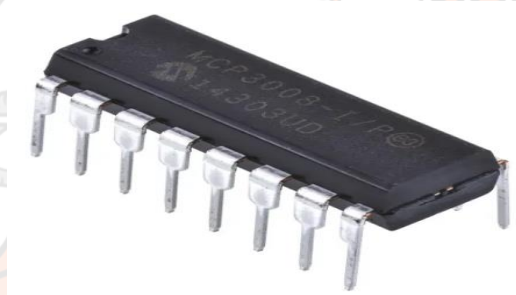
### MCP 3008 (IC ขยายขา Analog)

IC MCP3008 เป็น IC แปลงสัญญาณอนาล็อก ให้เป็นดิจิตอลแบบ 8 ช่องสัญญาณ (8 Channel) โดยความละเอียดแบบ 10 บิต (0-1023) ด้วยการสื่อสารแบบ SPI Interface เหมาะสำหรับนำไปใช้งานในการขยายขาสัญญาณอนาล็อก ให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266

โดยในที่นี้มีการใช้ขานาล็อก ในการวัดค่า กระแสและแรงดันรวม 2 ขา แต่ในตัวบอร์ด WeMos D1 ESP8266 WiFi นั้นมีขานาล็อก เพียงแค่ขาเดียวจึงจำเป็นต้องต่อตัว MCP เข้าไป เพื่อที่จะได้วัดค่าที่ต้องการออกมาได้

### โครงสร้างของ MCP 3008

รูปของ MCP 3008 แสดงดังภาพที่ 24



ภาพ 24 MCP3008 [16]

ขาข้อมูลของ MCP3008 แต่ละขาแสดงได้ดังภาพที่ 25 และตารางที่

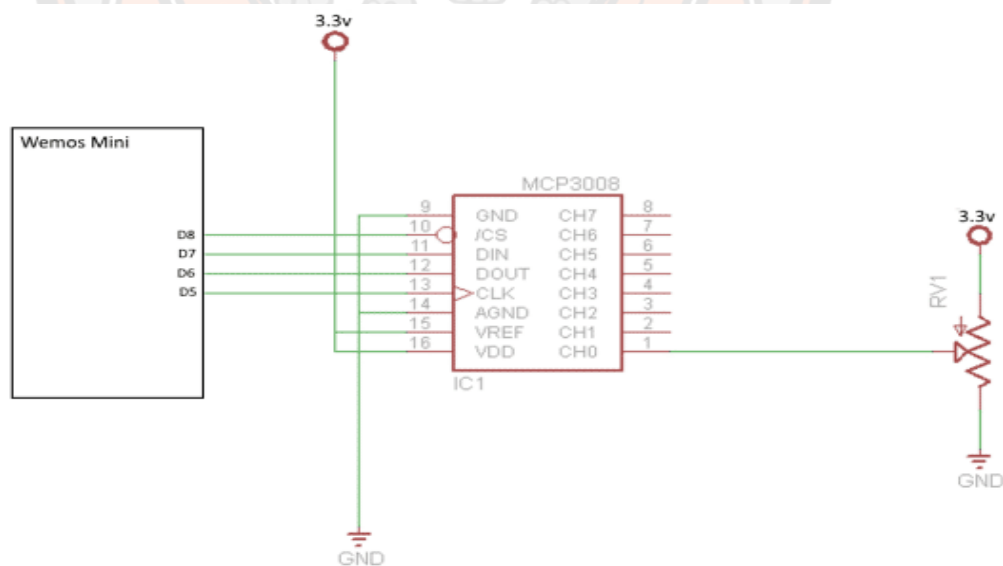
CH0	□	1	16	□	3.3V
CH1	□	2	15	□	3.3V
CH2	□	3	14	□	GND
CH3	□	4	13	□	D5
CH4	□	5	12	□	D6
CH5	□	6	11	□	D7
CH6	□	7	10	□	D8
CH7	□	8	9	□	GND

ภาพ 25 ขาข้อมูลของ MCP 3008 [16]

ตาราง 3 ขาข้อมูลของ MCP 3008 [16]

MCP3004	MCP3008	Symbol	Description
PDIP, SOIC, TSSOP	PDIP, SOIC		
1	1	CH0	Analog Input
2	2	CH1	Analog Input
3	3	CH2	Analog Input
4	4	CH3	Analog Input
-	5	CH4	Analog Input
-	6	CH5	Analog Input
-	7	CH6	Analog Input
-	8	CH7	Analog Input
7	9	DGND	Digital Ground
8	10	CS/SHDN	Chip Select/Shutdown Input
9	11	D <sub>IN</sub>	Serial Data In
10	12	D <sub>OUT</sub>	Serial Data Out
11	13	CLK	Serial Clock
12	14	AGND	Analog Ground
13	15	V <sub>REF</sub>	Reference Voltage Input
14	16	V <sub>DD</sub>	+2.7V to 5.5V Power Supply
5,6	-	NC	No Connection

การต่อขาอินพุต ของ MCP3008 เข้ากับบอร์ด WeMos D1 ESP8266 WiFi แสดง  
ได้ดังภาพที่ 26



ภาพ 26 การต่อ MCP3008 กับ Node MCU [16]

คุณสมบัติของ MCP3008 แสดงดังตารางที่ 4

ตาราง 4 แสดงคุณสมบัติของ MCP3008

คุณสมบัติ	
สถาปัตยกรรม	SAR
จำนวน ADC	8
ความละเอียด	10 บิต
Sampling Rate	200 ksps
ประเภทสัญญาณอินพุต	Pseudo Differential, Single Ended
ประเภทอินพุต	แรงดัน
ประเภทการติดตั้ง	ผ่านรู
ประเภทแพ็คเกจ	PDIP
จำนวนพิน	16
ข้อผิดพลาดแบบไม่เชิงเส้นเชิงปริพันธ์	$\pm 1$ LSB
ประเภทอินเทอร์เฟซดิจิทัล	Serial (SPI)
แรงดันไฟฟ้าเดี่ยวทั่วไป	5 โวลต์
อุณหภูมิในการทำงานสูงสุด	+85 องศาเซลเซียส
ขนาด	19.05 x 6.35 x 3.3 มิลลิเมตร
อุณหภูมิในการทำงานขั้นต่ำ	-40 องศาเซลเซียส

### Raspberry Pi 4 Model B

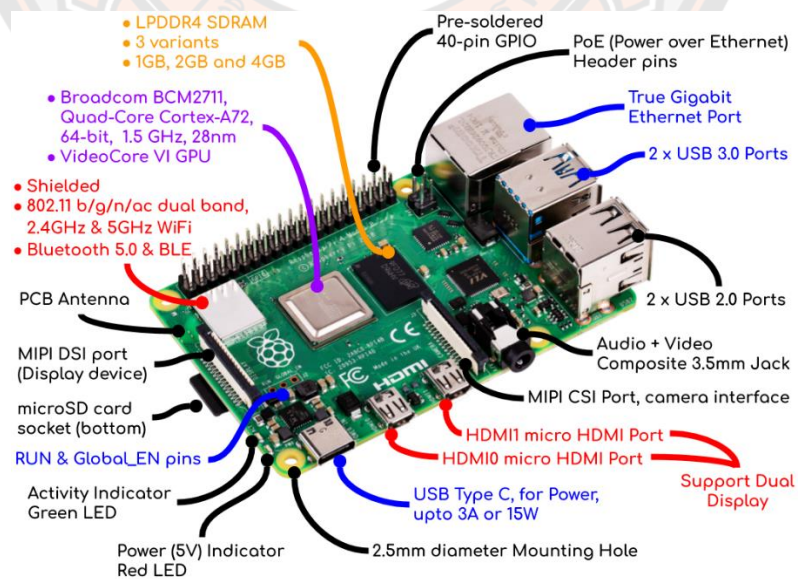
Raspberry Pi 4 Model B เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ล่าสุดในกลุ่มคอมพิวเตอร์ Raspberry Pi ที่ได้รับความนิยม เพิ่มความเร็วโปรเซสเซอร์ประสิทธิภาพมัลติมีเดียหน่วยความจำ และการเชื่อมต่อที่เพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดเมื่อเทียบกับ Raspberry Pi 3 Model B + รุ่นก่อนหน้าในขณะที่ยังคงความเข้ากันได้แบบย้อนหลัง และการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน สำหรับผู้ใช้ Raspberry Pi 4 Model B ให้ประสิทธิภาพของเดสก์ท็อปเทียบเท่ากับระบบพีซี x86 ระดับเริ่มต้น แสดงดังภาพที่ 27





ภาพ 27 Raspberry Pi 4 Model B [17]

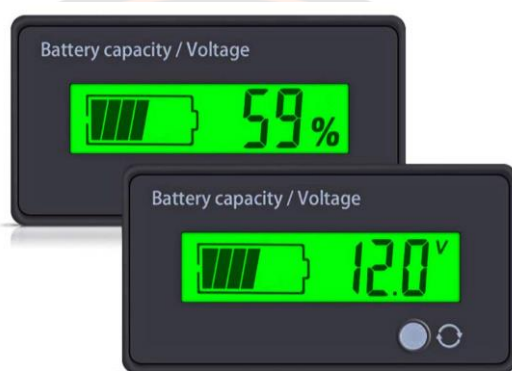
Raspberry Pi 4 Model B เป็น Single Board คอมพิวเตอร์จาก Raspberry Pi Foundation ใช้ชิพ Broadcom BCM2711 Quad-Core ARM Cortex-A72 ความเร็ว 1.5 GHz มีหน่วยความจำ LPDDR4-2400 ขนาด 4 GB มาพร้อมชิพ Wireless LAN แบบ Dual-Band รองรับ 2.4 GHz และ 5 GHz พร้อมรองรับ Bluetooth 5.0 BLE มีพอร์ต LAN รองรับ Gigabit Ethernet พอร์ต USB 3.0 Host Type A จำนวน 2 พอร์ต และ USB 2.0 Host Type A จำนวน 2 พอร์ต มีพอร์ต micro-HDMI จำนวน 2 พอร์ต รองรับการเชื่อมต่อจอ 4K60P แสดงดังภาพที่ 28



ภาพ 28 ส่วนประกอบของ Raspberry Pi 4 Model B [17]

### หลักการของการประจุแบตเตอรี่

ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการประจุแบตเตอรี่ประกอบไปด้วยขนาดความจุแบตเตอรี่ Ah ย่อมาจาก ขนาดของกระแส (A) และระยะเวลาการประจุเป็นชั่วโมง (h), ความจุแบตเตอรี่ที่เหลืออยู่ก่อนทำการประจุเพิ่มเข้าไป ในการชาร์จแบตเตอรี่อันดับแรกที่เราควรรู้ คือ ต้องดูว่าแบตเตอรี่ที่ใช้งานมีขนาดเท่าไร โดยดูจากขนาดความจุแบตเตอรี่ (Ah) โดยทั่วไปเวลาที่ชาร์จกระแสเริ่มต้น จะทำการประจุขนาดของกระแสที่ต่ำ ๆ และเป็นระยะเวลายาวนาน ทั้งนี้ไม่ควรประจุแบบใช้กระแสสูง ๆ เพื่อให้แบตเตอรี่เต็มไว เพราะอาจส่งผลทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วหรือแบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้



ภาพ 29 ตัวอย่างระบบแสดงระดับพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ [18]

- การคำนวณกระแสที่ใช้และเวลาที่ใช้ในการชาร์จ

การคำนวณประจุแบตเตอรี่จากกระแสที่ควรชาร์จ = ร้อยละ 10 x ขนาดความจุแบตเตอรี่ (Ah)

ตัวอย่าง เช่น

- แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 8 (Ah) :  $0.1 \times 8 = 0.8$  แอมป์ (A)
- แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 12 (Ah) :  $0.1 \times 12 = 1.2$  แอมป์ (A)

เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ให้ดูจากค่าได้จากกราฟในเอกสารข้อมูล (Data Sheet) ของแบตเตอรี่รุ่นที่ใช้ ยกตัวอย่างเมื่อแบตเตอรี่มีพลังงานเหลือประมาณร้อยละ 35 ดังนั้นจึงต้องทำการประจุชาร์จเพิ่มอีกร้อยละ 65 เพื่อให้แบตเตอรี่มีพลังงานเต็ม โดยคำนวณได้จากสมการ

จำนวน (Ah) ที่ต้องชาร์จเพิ่ม = ร้อยละ 65 x ขนาดแบตเตอรี่ (Ah)

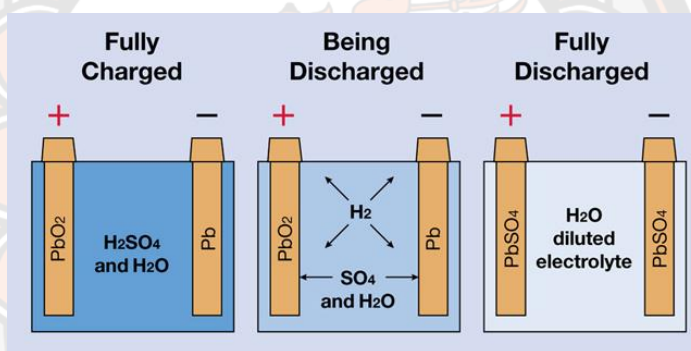
จำนวนชั่วโมง ชาร์จ = จำนวน (Ah) ที่ต้องชาร์จเพิ่ม ÷ กระแสที่ควรชาร์จ

หรือตัวอย่าง เช่น

- แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 12 (Ah)
- จำนวน (Ah) ที่ต้องชาร์จเพิ่ม =  $0.65 \times 12$  (Ah) = 7.8 (Ah)
- จำนวนชั่วโมง ชาร์จ =  $7.8$  (Ah) ÷  $1.2$  แอมป์ (A) = 6.5 ชม. ≈ 7 ชม. (h)

จากข้อมูลเบื้องต้น สามารถอธิบายได้ว่าแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ (V) 12 (Ah) เมื่อแบตเตอรี่ถูกคายประจุจนหมด ควรประจุเพิ่มอีก 7.8 (Ah) โดยชาร์จด้วยกระแส 1.2 (A) เป็นเวลาประมาณ 7 (h)

แบตเตอรี่ ถือเป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่สำคัญชิ้นหนึ่งของยานยนต์ไฟฟ้า โดยเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้ากักเก็บพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้ส่วนประกอบหลักประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ขั้วบวก (แคโทด) ขั้วลบ (แอโนด) และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ขณะที่เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งาน ขั้วลบ หรือขั้วแอโนดเป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยาเคมีส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) และขั้วบวก หรือขั้วแคโทดเป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยาเคมีที่รับอิเล็กตรอน (ปฏิกิริยารีดักชัน) โดยอิเล็กตรอนที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะวิ่งผ่านลวดโลหะก่อให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยอิเล็กโทรไลต์เป็นสารละลายที่ไม่นำอิเล็กตรอนแต่มีหน้าที่ส่งผ่านไอออนที่จำเป็นต่อการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้อย่างต่อเนื่องจนกว่าแบตเตอรี่จะหมด ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพ 30 ภาพหลักการทำงานของแบตเตอรี่ [19]

เมื่อพิจารณาประเภทของแบตเตอรี่สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

- 1) แบตเตอรี่แบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง หรือแบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ (Primary Batteries)
- 2) แบตเตอรี่แบบอัดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ หรือแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ (Rechargeable Batteries) โดยแบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าจะเป็นแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีของขั้วแคโทดและแอโนดที่แตกต่างกันหลายประเภท ดังจะได้กล่าวต่อไป

การวัดสมรรถนะของแบตเตอรี่สามารถวัดได้หลายมิติ โดยมีมิติที่สำคัญได้แก่ กำลังจำเพาะ (Specific Power, W/kg) อายุการใช้งาน (Service Life) อัตราการเก็บ และคายประจุ (Charge and Discharge Rate) อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นกับความจุ (Capacity, Ah) และจำนวนรอบที่

สามารถเก็บประจุ (Charge Cycles) ซึ่งค่าความจุจะขึ้นกับค่าพลังงานจำเพาะ (Specific Energy, Wh/kg) หรือค่าความหนาแน่นพลังงาน (Energy Density, Wh/l)

### แบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าขนาดกลาง

แบตเตอรี่ คือ อุปกรณ์ทำหน้าที่สำรองพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (Galvanic Cell) ที่ประกอบด้วย ขั้วบวก และขั้วลบพร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Solution) สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (Recharge) ได้หลายครั้ง ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้กับรถไฟฟ้าขนาดกลาง และขนาดเล็ก ส่วนใหญ่ใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ต่ออนุกรม 4 ลูก รวมเป็น 48 โวลต์

### แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid)

แบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่วถูกคิดค้นขึ้นมาครั้งแรกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1859 โดย Gaston Plante และได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 19 โดยปัจจุบันเป็นแบตเตอรี่ชนิดที่ใช้กันมากที่สุดในยานยนต์ โดยใช้เป็นแบตเตอรี่สำหรับติดเครื่องยนต์เป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากแบตเตอรี่ประเภทนี้มีราคาถูก เนื่องจากวัสดุที่ใช้สามารถหาได้ง่ายและมีกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน แบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่วมีขั้วลบทำจากตะกั่วที่มีลักษณะพรุน (Porous Lead) ส่วนขั้วบวกเป็นตะกั่วออกไซด์ที่มีลักษณะพรุนเช่นเดียวกัน โดยมีกรดกำมะถันหรือกรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และมีปฏิกิริยาเคมีที่เกิดบนขั้วทั้งสองในระหว่างการใช้งาน (จ่ายประจุ)

โดยแบตเตอรี่กรดตะกั่วสามารถแบ่งประเภทย่อยได้อีก 3 ประเภท คือ

1) แบตเตอรี่กรดตะกั่ว สำหรับติดเครื่องยนต์ (Starting Lighting Ignition หรือ SLI Battery) ซึ่งเป็นแบตเตอรี่กรดตะกั่วที่มีสัดส่วนการใช้งานมากที่สุด โดยถูกใช้สำหรับงานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูง เป็นระยะสั้น เช่น สำหรับติดเครื่องยนต์ในรถยนต์ หรือติดเครื่องยนต์สำหรับเครื่องจักร ทั้งนี้ แบตเตอรี่สำหรับติดเครื่องยนต์จะมีอายุการใช้งานสั้น ประมาณ 1.5 - 3 ปี

2) แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Deep Cycle หรือ Traction Battery ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่สำหรับใช้งานที่ต้องมีการจ่ายกระแสต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน โดยมีการใช้งานอยู่หลายประเภท เช่น สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า รถกอล์ฟ รถ Forklift อุปกรณ์ทางการแพทย์ หรือสำหรับเก็บไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนอื่น เช่น จากเซลล์แสงอาทิตย์ หรือจากกังหันลม เป็นต้น

3) แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Stationary ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบตเตอรี่ที่ถูกออกแบบมาให้สามารถจ่ายกระแสต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน แต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ต่างจากแบตเตอรี่ประเภท deep cycle โดยที่มักใช้งานในสถานะประจุถูกอัดอยู่เต็มอยู่ตลอดเวลา และมีการใช้งานเป็นครั้งคราวเท่านั้น มักใช้เพื่อการสำรองไฟฟ้าเวลาฉุกเฉิน (UPS) และใช้งานอยู่กับที่ ดังนั้น ความจุพลังงานต่อน้ำหนักจึงไม่มีความสำคัญเท่าแบตเตอรี่ประเภท Deep Cycle ที่ต้องมีการเคลื่อนที่จึงมีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าแบตเตอรี่ประเภทอื่นที่ความจุเดียวกัน แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานนานกว่า 3 ปี และอาจจะใช้งานได้ยาวนานถึง 5 - 10 ปี

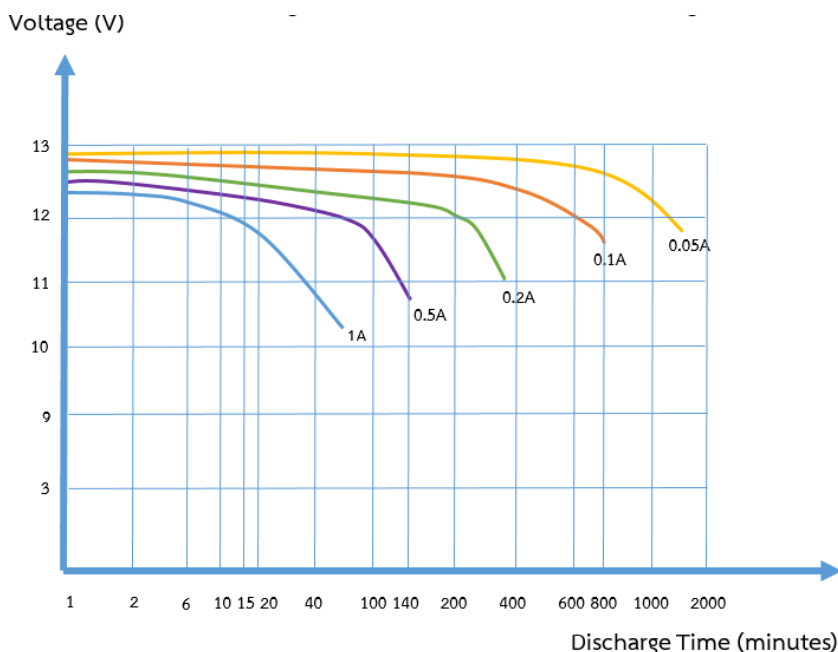
#### ข้อดี

- มีราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นและมีความซับซ้อนน้อยจึงสามารถผลิตได้ง่าย
- มีความทนทานหากใช้งานอย่างถูกต้อง
- มีระดับการคายประจุด้วยตัวเอง (Self-Discharge) ต่ำ
- สามารถคายประจุ (Discharge) ได้มาก
- มีขนาดให้เลือกหลากหลาย

#### ข้อด้อย

- ความจุของพลังงานต่อน้ำหนักต่ำทำให้มีน้ำหนักมาก
- แบตเตอรี่จะเสื่อมสภาพเร็วหากไม่มีประจุ
- ตะกั่วและกรดซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดได้รับความนิยมในรถไฟฟ้าขนาดกลาง เนื่องจากเหตุผลทางด้านราคา ทั้งนี้แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ปกติจะเป็นแบตเตอรี่ชนิดที่มีวาล์วระบายแรงดันภายใน กรณีเกิดแรงดันภายในสูงเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับแบตเตอรี่ จากการเกิดภาวะโอเวอร์ชาร์จ ภาพที่ 24 แสดงลักษณะโดยทั่วของการใช้งานแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ขณะทำการใช้งานที่กระแสต่าง ๆ [3, 20, 2] พบว่าจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) ช่วงระยะเวลาหนึ่ง และขณะที่ใช้กระแส 1 แอมป์ ช่วงการเปลี่ยนแปลงที่เป็นแบบเชิงเส้นจะสั้นกว่า ขณะการใช้งานที่กระแสไฟฟ้าที่น้อยกว่า ทั้งนี้ทำให้คาดการณ์ช่วงเวลาการใช้งานช่วงนี้ยาก และแบตเตอรี่จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ขึ้นอยู่กับสมรรถนะของแบตเตอรี่นั้น ๆ ทำให้ต้นแบบของระบบต้องใช้ระบบการเตือนขณะพลังงานไฟฟ้าเหลือน้อยในแบตเตอรี่ เพื่อให้ผู้ใช้งานรถไฟฟ้าวางแผนการประจุไฟฟ้าเพิ่มเติมต่อไป

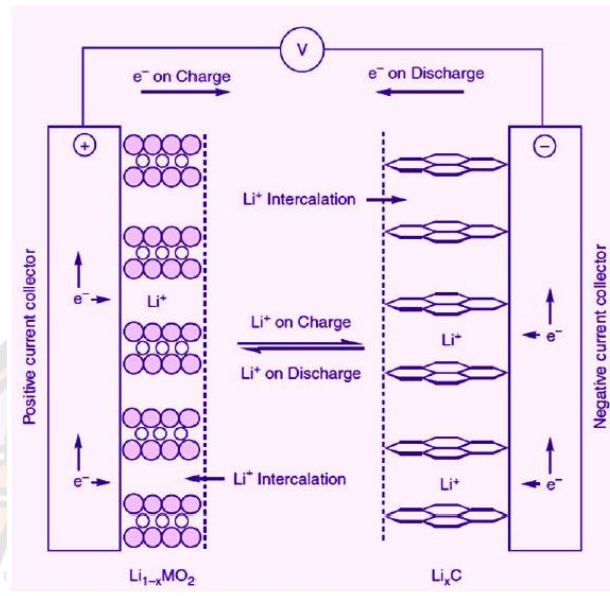


ภาพ 31 การใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดตามการใช้งานที่ค่ากระแสต่าง ๆ  
[3, 20, 2]

### แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>)

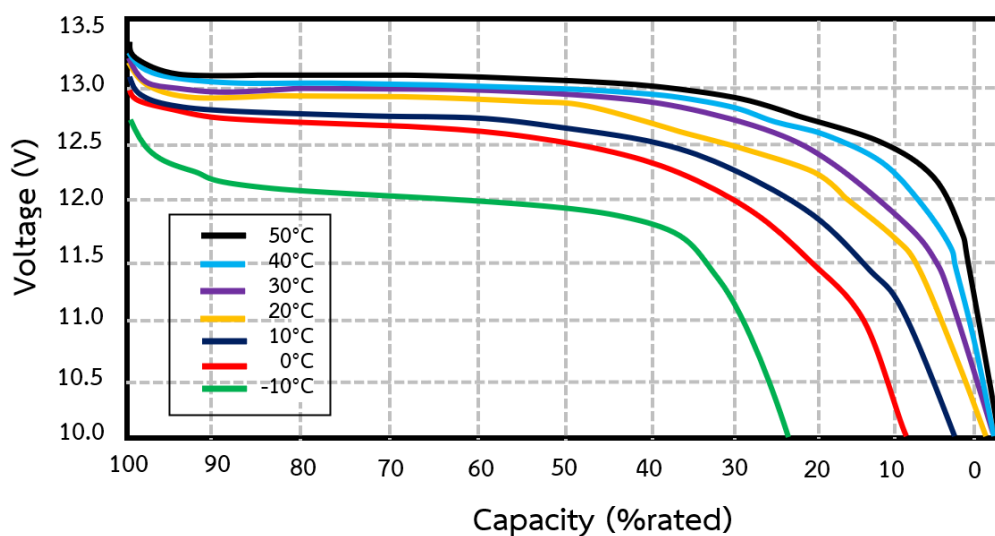
ในปัจจุบันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนกำลังได้รับความนิยมในการนำมาใช้งาน เนื่องจากคุณสมบัติทางด้านการคายประจุ (Discharge) รอบการใช้งาน (Cycle Use) และอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา สะดวก ต่อการนำไปใช้งาน เป็นเซลล์ที่ไม่มีทั้งนี้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ขั้วลบ มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอนที่มีรูพรุน (เช่น แกรไฟต์) เคลือบบนแผ่นทองแดง ขั้วบวกเป็นลิเทียมเมทัลออกไซด์เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียม สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ประกอบด้วย เกลือของลิเทียม เช่น LiPF<sub>6</sub> หรือ LiBF<sub>4</sub> ในตัวทำละลาย เช่น เอทิลีนคาร์บอเนต (Ethylene Carbonate) ไดเอทิลคาร์บอเนต (Diethyl Carbonate) และ/หรือ ไดเมทิลคาร์บอเนต (Dimethyl Carbonate) และเยื่อเลือกผ่าน (separator) กั้นระหว่างขั้วทั้งสอง ทำจากพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และ/หรือพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เมื่อมีการอัดประจุ (Charge) ไอออนของลิเทียมจะเคลื่อนออกจากโครงสร้างของขั้วบวก ผ่านเยื่อเลือกผ่าน เข้าสู่ขั้วลบ เกิดเป็นสารประกอบของลิเทียมและคาร์บอน และขณะเดียวกันอิเล็กตรอนจะเคลื่อนจากขั้วบวกสู่ขั้วลบผ่านวงจรภายนอก และขณะเกิดการคายประจุ (Discharge) ปฏิกิริยาจะเกิดในทางตรงกันข้าม กระบวนการที่ไอออนของลิเทียมสอดแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของวัสดุ

ขั้วบวกหรือขั้วลบ เรียกว่า Lithium Intercalation หรือ Lithium Insertion โดยแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่เหมาะสมต่อการใช้งานระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า [21] ดังแสดงในภาพที่ 32



ภาพ 32 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขณะอัดประจุ  $\text{Li}^+$  จะเข้าระหว่างชั้นของแกรไฟต์ในขั้วลบ และขณะคายประจุ  $\text{Li}^+$  จะเข้าสู่โครงสร้างของวัสดุขั้วบวก [21]

ภาพที่ 33 แสดงลักษณะโดยทั่วของการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ขณะทำการใช้งานที่อุณหภูมิต่าง ๆ [22, 23, 21] พบว่าจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) แบตเตอรี่ลิเทียมค่อนข้างมีความยืดหยุ่นในเรื่องอุณหภูมิ เช่น ยิ่งเก็บแบตเตอรี่ลิเทียมในที่อุณหภูมิสูง ก็จะเสื่อมสภาพเร็วเท่านั้น แต่ในทางกลับกัน ยิ่งอุณหภูมิต่ำเท่าไร ความจุแบตเตอรี่จะยิ่งลดลง



ภาพ 33 การใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนตามการใช้งานที่อุณหภูมิต่าง ๆ [22, 23, 21]

### ผลของความเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ (Battery Aging)

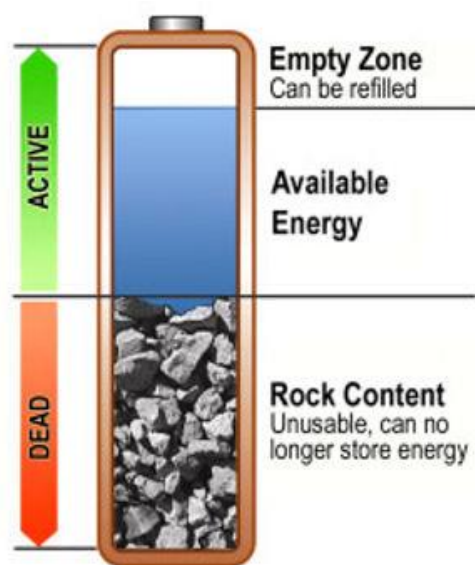
มีกลไกการเสื่อมอายุโดยทั่วไปสำหรับแบตเตอรี่ แบตเตอรี่อาจไม่สามารถให้พลังงานที่จำเป็นสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ในเวลาที่ต้องการ เรียกว่า การสูญเสียความจุ (capacity loss) หรือ ด้วยวงจรการชาร์จ และคายประจุที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ ก่อให้เกิดความเสียหายเล็ก ๆ และคงอยู่ถาวร เป็นผลให้แบตเตอรี่ไม่สามารถได้ความจุกลับมาเท่าเดิมเหมือนตอนเริ่มต้นได้ ปรากฏการณ์นี้เราเรียกว่า ความเสื่อมของแบตเตอรี่เมื่อมีอายุมาก (battery aging) [24, 25, 23]

มีหลายความเป็นไปได้ที่ลดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่บนพื้นฐานของปฏิกิริยาทางเคมี เป็นการยากที่จะฟันธงได้ว่าอะไรเป็นสาเหตุหลักของการสูญเสียความจุ ของแบตเตอรี่ อายุของแบตเตอรี่ มีผลต่อความจุของประจุแบตเตอรี่ลดลง การเพิ่มความต้านทานภายในและอัตราการคายประจุเองที่เพิ่มขึ้น



### การลดลงของความจุ (Capacity Fade)

ภายในของแบตเตอรี่สามารถเปรียบเทียบได้กับถังก้นน้ำ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังภาพที่ 34 ส่วนแรก หรือน้ำที่อยู่ในถังเปรียบเสมือนสถานะที่ชาร์จ (state of charge, SOC) ส่วนที่สอง เป็นส่วนที่ว่างที่ยังสามารถบรรจุน้ำได้ เปรียบเสมือนความลึกของการคายประจุ (depth of discharge, DOD) และส่วนที่สามเป็นส่วนที่ใช้งานไม่ได้ เปรียบเสมือนหินที่อยู่ในถังแทนความเสื่อมที่เป็นส่วนเล็ก ๆ อย่างถาวรของแบตเตอรี่อันเนื่องมาจากอายุที่มากขึ้น

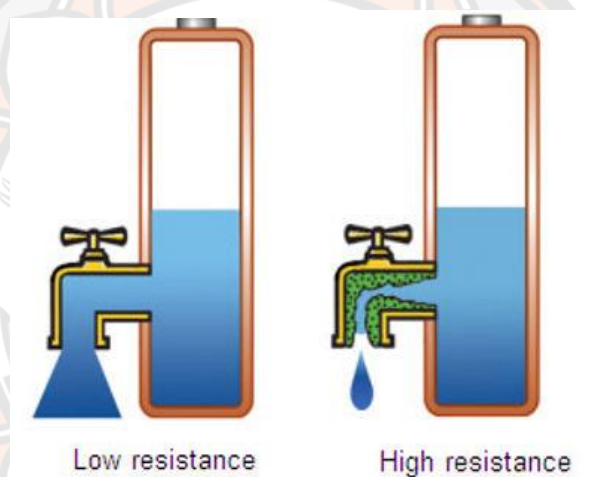


ภาพ 34 ลักษณะของแบตเตอรี่ที่มีอายุมาก [25]

การเสื่อมตามอายุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดนั้น สาเหตุหลักเกิดจากการเกิดซัลเฟต (Sulfation) และการกัดกร่อนซัลเฟตเป็นชั้นบาง ๆ ที่ก่อดัชนีบนแผ่นเซลล์ หากแบตเตอรี่อยู่ในสถานะที่มีประจุไฟฟ้าต่ำเป็นเวลานาน ถ้าซัลเฟตเกาะไม่นาน การชาร์จแบบอิกควอไลซ์สามารถช่วยปรับคืนสภาพได้ ส่วนแบตเตอรี่ที่ใช้นิกเกิลสิ่งทีเรียกว่า “หิน” มักเกิดจากการก่อดัชนีของผลึกที่เรียกว่า "memory" และบางครั้งการคายประจุจนสุดสามารถทำให้แบตเตอรี่กลับคืนสภาพมาได้ กระบวนการเสื่อมของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียม ไอออน ฟอสเฟต คือการออกซิเดชันของเซลล์ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยเป็นส่วนหนึ่งของการใช้งาน และการเสื่อมสภาพที่ไม่สามารถย้อนกลับได้

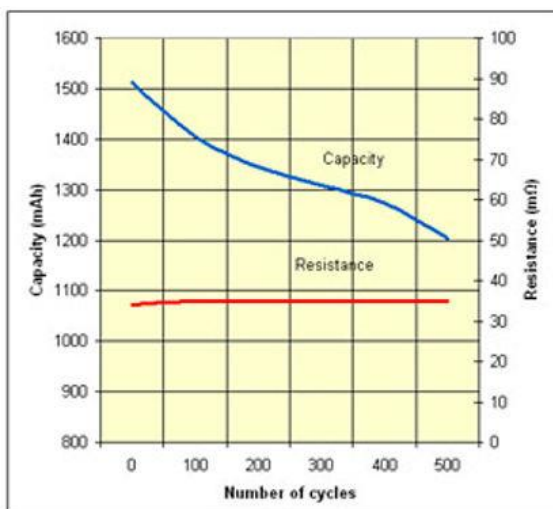
### ความต้านทานภายในที่เพิ่มขึ้น (Rising Internal Resistance)

ความจุของแบตเตอรี่ที่สูงอาจมีการใช้งานได้จำกัด หากแบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายพลังงานที่เก็บไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อที่จะดึงพลังงานออกมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบตเตอรี่ต้องมีความต้านทานภายในต่ำ ยิ่งมีค่าต่ำ แบตเตอรี่แพ็คก็จะมีข้อจำกัดน้อยลง สิ่งนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งกับการใช้งานหนัก และใช้กระแสสูง เนื่องจากความต้านทานที่สูงขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง และกระตุ้นให้อุปกรณ์ไฟฟ้าหยุดทำงานก่อนกำหนด ภาพที่ 35 แสดงให้เห็นถึงแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในต่ำ และความต้านทานภายในสูง โดยแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในต่ำ เปรียบเสมือนก๊อกน้ำที่สามารถปล่อยน้ำออกได้เต็มที่ ส่วนแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในสูง เปรียบเสมือนก๊อกน้ำที่มีสิ่งอุดตันเกาะอยู่ ทำให้น้ำไหลออกไม่สะดวก



ภาพ 35 แสดงผลของความต้านทานภายในแบตเตอรี่ [25]

ความต้านทานภายในให้ข้อมูลที่มีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ ตัวเลขที่สูงขึ้นบ่งบอกถึงการใกล้หมดอายุใช้งานของแบตเตอรี่ วิธีการวัดต้านทานภายในจะทำงานได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบการอ่านค่าแบตเตอรี่ที่กำหนดตั้งแต่ใช้งานครั้งแรกจนถึงสิ้นสุดอายุ และต้องวัดค่าที่ระดับการชาร์จ (SOC) ในระดับเดียวกัน และระดับอุณหภูมิเดียวกัน เพราะค่าความต้านทานภายในแปรผันตาม SOC เช่น แบตเตอรี่ชนิดลิเธียม ไอออน ฟอสเฟต มีความต้านทานภายในสูงขึ้นเมื่อชาร์จเต็ม และเมื่อสิ้นสุดการคายประจุ โดยมีช่วงที่ความต้านทานภายในต่ำอยู่ช่วงตรงกลาง และอุณหภูมิเย็นจะเพิ่มความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ทุกชนิด ภาพที่ 36 แสดงให้เห็นถึงความจุที่ลดน้อยลงตามจำนวนวงจรการชาร์จและคายประจุ ในความสัมพันธ์กับความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียม ไอออน ฟอสเฟต



ภาพ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างความจุ และความต้านทานภายใน กับจำนวนรอบของการชาร์จ และคายประจุ ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต [25]

### อัตราการคายประจุเองเพิ่มขึ้น (Elevated Self - Discharge)

การสูญเสียความจุ (capacity loss) สามารถมาในรูปแบบของการคายประจุเอง (self discharge) ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากแบตเตอรี่มีวงรอบการชาร์จ และคายประจุตลอดการใช้งาน อัตราการคายประจุเองของแบตเตอรี่สามารถเพิ่มขึ้นได้

แบตเตอรี่ทั้งหมดได้รับผลกระทบจากการคายประจุเอง การคายประจุเองไม่ใช่ข้อบกพร่องในการผลิต แต่การจัดการที่ไม่เหมาะสมสามารถเพิ่มปัญหาการคายประจุเองได้ ปริมาณการรั่วของประจุจะแตกต่างกันไปตามชนิดของเคมี เซลล์ชนิดลิเทียม และอัลคาไลน์เป็นเซลล์ที่ดีที่สุดในการกักเก็บพลังงาน แบตเตอรี่ชนิดที่ใช้ निकเกิลเป็นพื้นฐานมีอัตราการรั่วของประจุมากที่สุด และจำเป็นต้องชาร์จเพิ่มเติมหากเก็บไว้สัปดาห์ แบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูงที่ใช้ निकเกิลเป็นพื้นฐานอาจมีการคายประจุเองได้สูงกว่ารุ่นมาตรฐานที่มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำกว่า ภาพที่ 37 จำลองรูปแบบการคายประจุเองของแบตเตอรี่ที่เปรียบเสมือนน้ำรั่วออกจากถังกักน้ำ

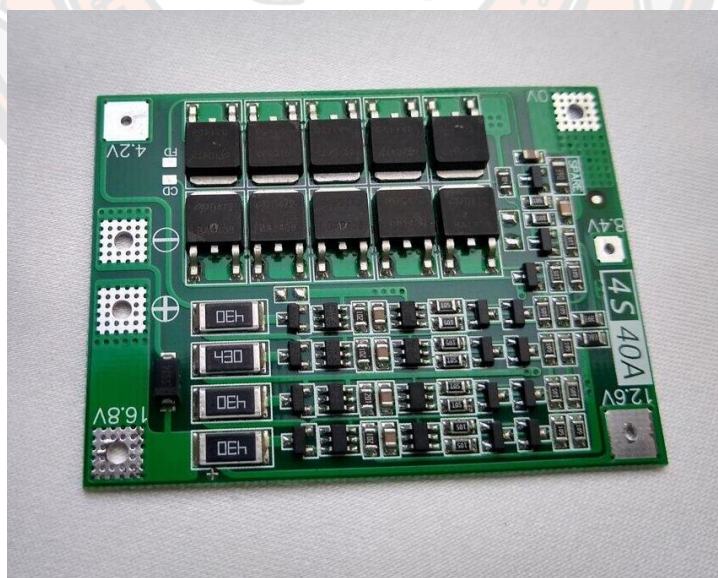


ภาพ 37 แสดงผลของการคายประจุเองสูง [25]

มีการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการฟื้นฟูแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพ เพ็ญพิชชา สายแก้ว และศิริพร จันทศิริ [26] ทำการศึกษาการปรับสภาพ และการฟื้นฟูแบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว โดยใช้สารเคมีต่าง ๆ ได้แก่ กรดซัลฟิวริก แมกนีเซียมซัลเฟต และกรดเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติก ทำปฏิกิริยาโดยจะตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานของแบตเตอรี่จากค่ากระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ ความต้านทาน ความถ่วงจำเพาะ และค่า CCA ซึ่งจากการทดลองพบว่า สารเคมีที่ฟื้นฟูแบตเตอรี่ได้ดีที่สุดคือ กรดซัลฟิวริก รองลงมาคือ กรดเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติก และแมกนีเซียมซัลเฟต ตามลำดับ พบว่าความเข้มข้น และระยะเวลาในการชาร์จกระแสไฟฟ้ามีผลต่อการฟื้นฟูแบตเตอรี่นั้น คือ ถ้าสารที่จะนำมาใช้ฟื้นฟูแบตเตอรี่มีความเข้มข้นที่มากขึ้นจะส่งผลให้สารนั้นทำปฏิกิริยากำจัดผลึกซัลเฟต (ตะกั่ว) ที่เกาะบนแผ่น ตะกั่วออกไปได้ดี ทำให้แผ่นตะกั่วบริสุทธิ์ขึ้น ผลึกซัลเฟตที่กำจัดออกไปจะรวมตัวกันอีกครั้งกลายเป็นสารละลายของกรดซัลฟิวริกที่เข้มข้นขึ้นส่งผลให้เมื่อให้ระยะเวลาในการชาร์จกระแสไฟฟ้ามากขึ้นกระแสไฟฟ้าจะเป็นตัวกระตุ้นให้มีการกำจัดผลึกซัลเฟตออกไปจากแผ่นตะกั่วซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในของแบตเตอรี่สูงขึ้นด้วย ส่วนแมกนีเซียมซัลเฟตจะสามารถลดความต้านทานภายในแบตเตอรี่เพื่อช่วยในการกำจัดผลึกซัลเฟตที่เกาะบนแผ่นตะกั่วส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้สูงขึ้น ดังนั้นทั้งสองปัจจัยข้างต้นจึงมีผลทำให้แบตเตอรี่ที่ได้รับการฟื้นฟูมีสภาพการทำงานที่ดีขึ้น ซึ่งส่งผลให้แบตเตอรี่นั้นสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาใช้งานใหม่ได้ โดยการวิจัยสามารถหาประสิทธิภาพของการฟื้นฟูแบตเตอรี่พบว่า การฟื้นฟูแบตเตอรี่สารเคมีที่ใช้ฟื้นฟูโดยให้ระยะเวลาในการชาร์จกระแสไฟฟ้าที่คงที่คือ 60 นาที และเมื่อให้ระยะเวลาการชาร์จกระแสไฟฟ้ามากขึ้นคือ 60, 120 และ 180 นาที ตามลำดับ จะส่งผลให้มีประสิทธิภาพของการฟื้นฟูแบตเตอรี่จะมากขึ้นด้วย

## BMS (Battery Management System)

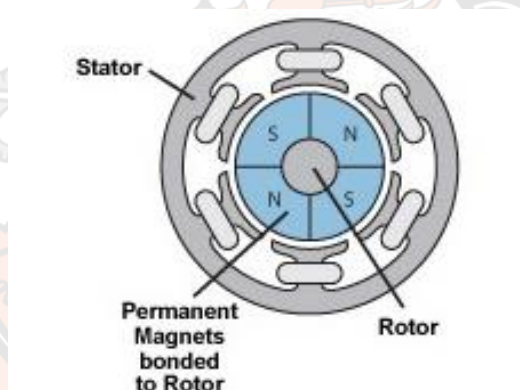
ระบบควบคุมการชาร์จ และคายประจุแบตเตอรี่ (Battery Management System : BMS) หมายถึง ระบบซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ทำงานในลักษณะที่เป็นอันตราย เช่น เกิดการชาร์จไฟมากเกินไปหรือจ่ายไฟออกมากเกินไป รวมทั้งการ Balance Cell Battery เพื่อประจุไฟให้เต็มมากที่สุด (Maximize Battery Capacity) และยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 31 ส่วนใหญ่จะนำมาควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO4) โดยจะมีฟังก์ชันการทำงานที่มากกว่าวงจรป้องกัน PCB Protected อย่างวงจรป้องกัน PCB Protected จะทำหน้าที่สำคัญ 3 อย่าง คือ คอยป้องกันการใช้งานที่กระแสเกิน (Over Current Protection) ป้องกันแรงดันการชาร์จไฟเกิน (Over Charge Voltage Protection) และป้องกันการใช้ไฟในระดับโวลต์ที่ต่ำกว่ากำหนด (Under Discharge Voltage Protection) วงจร BMS อาจจะมีเพิ่มขึ้นจาก 3 ฟังก์ชันข้างต้น ตัวอย่างเช่น เพิ่มฟังก์ชัน Over-Temperature, Under-Temperature, Short Circuit Protection, Ground Fault or Leakage Current Detection และอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตหรือบางรุ่นจะมีวงจร Balancing ในวงจร BMS ซึ่งจะทำหน้าที่คอยควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ไหลเข้า (Charge) หรือไหลออกจากแบตเตอรี่ (Discharge) ให้แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละก้อนเท่ากันอยู่เสมอ เพื่อไม่ให้มีก้อนใดก้อนหนึ่งถูกใช้งานหนักกว่าก้อนที่เหลือ ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ร้อน และเสื่อมสภาพเร็ว [27]



ภาพ 38 วงจรควบคุมการชาร์จ และคายประจุแบตเตอรี่ (BMS) [27]

### มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน

มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) มีโครงสร้าง โดยมีแกนหมุน (Rotor) และใช้แม่เหล็กถาวรเป็นส่วนประกอบ และมีขดลวดเหนี่ยวนำติดตั้งอยู่ที่สเตเตอร์ โดยทั่วไปจะใช้ระบบ 3 เฟส และมีขดลวดเหนี่ยวนำจำนวนไม่น้อยกว่าสามชุด มอเตอร์ชนิดนี้จึงสามารถทำงานได้โดยการจ่ายไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละชุดเป็นเฟสสลับกันไปเรื่อย ๆ เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กดึงและผลักแกนหมุนอย่างต่อเนื่อง มอเตอร์ชนิดนี้สามารถปรับแรงบิดได้โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้า และปรับความเร็วรอบได้โดยการปรับความถี่ในการสลับกระแสไฟฟ้าของขดลวด และสามารถทำงานในสภาวะการใช้งานต่าง ๆ ของยานยนต์ได้ เช่น สามารถกันน้ำ ทนต่อการสั่นสะเทือนและความร้อนได้ เป็นต้น ในการใช้งานมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน พบว่ามีลักษณะการสร้างแรงบิดและกำลังคล้ายกับมอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน และจากการที่แกนหมุนเป็นแม่เหล็กถาวร จึงทำให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับเมื่อใช้งานมอเตอร์ที่ความเร็วสูง



ภาพ 39 โครงสร้างภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน [28]



ภาพ 40 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน [28]

ขั้วแม่เหล็ก ในมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) ใช้แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) เป็นแหล่งจ่ายของสนามแม่เหล็กให้แก่มอเตอร์ ทั้งนี้ขั้วแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน มีข้อดี คือ มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ไม่มีจุดที่สัมผัสกับขั้วไฟฟ้าโรเตอร์และสเตเตอร์ที่ทำให้เกิดความเสียดสีของแปรงถ่านและขั้วไฟฟ้า แต่ไฟฟ้าจะถูกส่งไปยังขดลวดที่มอเตอร์ได้โดยตรง ให้เกิดขั้วแม่เหล็กตรงกลางขั้วแม่เหล็กเกิดการหมุน การหมุนแบบนี้ทำให้ไม่เกิดประกายไฟหรือความร้อนสะสม ทำให้มอเตอร์ไร้แปรงถ่านสามารถใช้งานต่อเนื่องได้ยาวนาน และความเสียหายที่เกิดกับมอเตอร์มีน้อย แรงบิดที่ได้จากมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน สูงกว่าแรงบิดของมอเตอร์แปรงถ่านในขนาดที่เท่ากัน



ภาพ 41 ขดลวดที่พันบนแกนเหล็กวางรอบตัวสเตเตอร์ [28]

มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านจะรับไฟจาก ESC เพื่อหมุนตามรอบหรือตามสเปกของมอเตอร์ เช่น 1000 กิโลวัตต์แปลว่า มอเตอร์สามารถทำรอบได้ 1000 รอบต่อนาทีต่อแรงดันไฟ 1 โวลต์ถ้าเราจ่ายไฟให้มอเตอร์ 12 โวลต์มอเตอร์จะหมุนได้ 12000 รอบต่อนาที (ในทางทฤษฎี) ในกรณีที่ไม่มีโหลดโดย Brushless DC Motor ถูกติดตั้งอยู่ด้านล่าง ท้ายของรถไฟฟ้า ลักษณะของรถไฟฟ้าที่ทางผู้วิจัยใช้ในการวิจัย แสดงดังภาพที่ 42



ภาพ 42 แสดงลักษณะของรถไฟฟ้า

#### แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

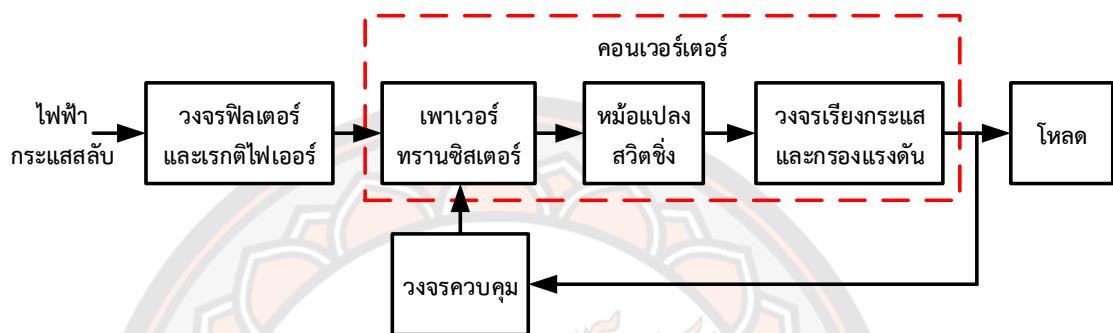
แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงและมีน้ำหนักเบา สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายทำงานโดยแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำจากอินพุตให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นจึงเปลี่ยนกลับไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (พัลส์) ที่ความถี่สูง แล้วส่งผ่านหม้อแปลงเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าลง และผ่านวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอีกครั้งหนึ่ง



ภาพ 43 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงชนิดสวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย



สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายประกอบด้วยส่วนประกอบพื้นฐาน 3 ส่วนใหญ่ คือ วงจรฟิลเตอร์ และเรกติไฟเออร์ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง คอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง และแปลงกลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำและวงจรควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตตามที่ต้องการ



ภาพ 44 ส่วนประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

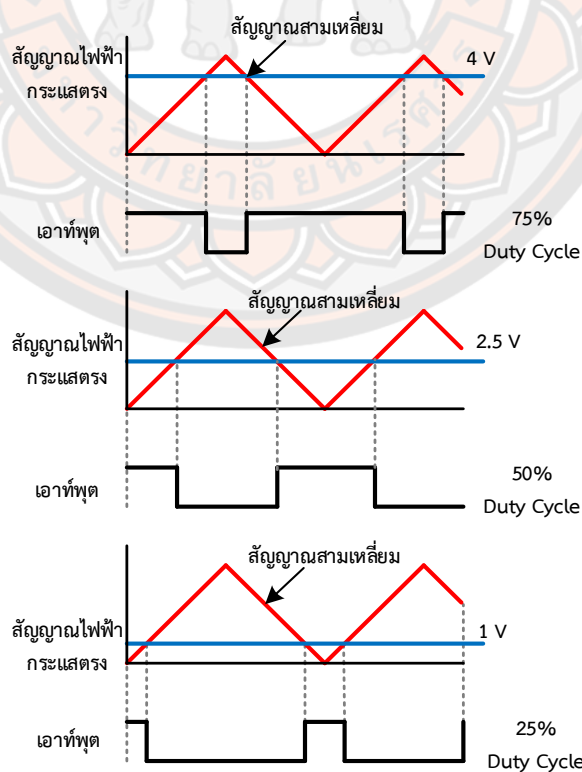
เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับค่าสูงจะผ่านเข้ามาทางวงจรฟิลเตอร์เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าสูงด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำงานเป็นเพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์โดยการตัดต่อแรงดันเป็นช่วงๆ ที่ความถี่ประมาณ 20-200 KHz จากนั้นจะผ่านไปยังหม้อแปลงสวิตชิงเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าลง เอาต์พุตของหม้อแปลงจะต่อกับวงจรเรียงกระแส และกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบ การคงค่าแรงดันไฟฟ้าจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตกลับมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสไฟฟ้ามากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตคงที่ได้

การทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหมุนสามารถทำได้โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วสูงสุดภายใต้สภาวะที่มอเตอร์รับภาระอยู่ในขณะนั้น ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางก็ทำได้โดยการกลับขั้วของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ในกรณีที่ต้องการควบคุมความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์ สามารถทำได้โดยการเพิ่มหรือลดขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์แบบพัลส์วิตท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation : PWM) เป็นวิธีที่นิยมมากในการเพิ่มหรือลดขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โดยที่ขนาดของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจะเปลี่ยนไปตามความกว้างของพัลส์



ภาพ 45 ชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายไฟแบบพัลส์วิตช์มอดูเลชัน อาศัยการทำงานจากการนำสัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์มาเปรียบเทียบกัน ตัวอย่างเช่น ถ้านำสัญญาณสามเหลี่ยมมาเปรียบเทียบกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง จะได้ความกว้างของพัลส์คงที่ โดยสัญญาณพัลส์ เมื่อเทียบเปอร์เซ็นต์ (%) ของช่วงเวลาที่ เป็นบวกกับเปอร์เซ็นต์ของคาบเวลา (Period) ของพัลส์ลูกนั้นๆ และถูกเรียกว่าวัฏจักรการทำงาน (Duty Cycle) และความกว้างของพัลส์นั้นจะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง



ภาพ 46 การเปลี่ยนแปลงวัฏจักรการทำงาน ขณะเปลี่ยนค่าสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

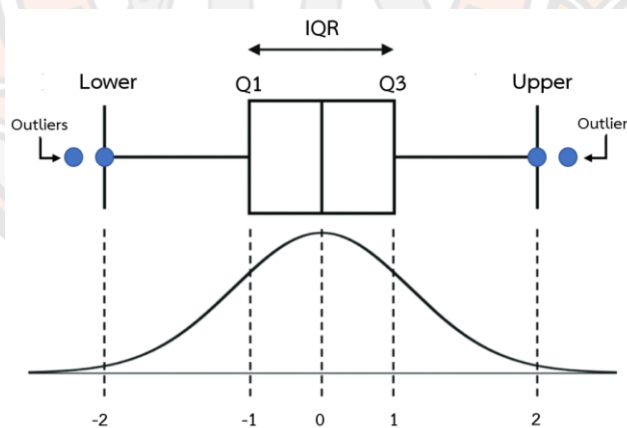
### การกำจัดค่าผิดปกติด้วยวิธี IQR

ค่าผิดปกติ (Outliers) เป็นค่า หรือจุดข้อมูลที่มีค่าแตกต่างไปจากข้อมูลในกลุ่ม นั่นคือมีค่ากระโดดห่างจากข้อมูลส่วนใหญ่มากผิดปกติ เช่น ยอดซื้อของกลุ่มลูกค้าโดยทั่วไปเกาะกลุ่มอยู่ที่ 1000 แต่มีบางข้อมูลกระโดดไปที่ 5000 ฯลฯ อาจเกิดจาก การบันทึกเก็บข้อมูลที่คลาดเคลื่อน เก็บข้อมูลผิดกลุ่มตัวอย่าง, ไม่ทั่วถึง, เก็บข้อมูลจำนวนน้อยเกินไป, สุ่มตัวอย่างน้อยเกินไป หรือเป็นข้อมูลจริงแต่ไม่เหมาะกับการนำไปใช้ ฯลฯ ซึ่งค่าผิดปกตินี้จะเป็นตัวดึงให้ค่าเฉลี่ย หรือค่ากลาง ผิดเพี้ยนไปจากที่ควรจะเป็น หากนำข้อมูลไปใช้เลย อาจทำให้ได้ข้อสรุป เคลื่อนจากความเป็นจริง ถ้านำไปสร้าง Model สำหรับ Machine Learning ก็จะได้ Model ที่ไม่แม่นยำเท่าที่ควร [29]

การกำจัดค่าผิดปกติด้วยวิธี IQR เป็นหนึ่งในวิธีที่ใช้ในการกำจัดค่าผิดปกติ เป็นตัวประมาณพื้นฐานของการกระจายข้อมูล โดยที่ IQR สามารถหาค่าได้จาก  $IQR = Q3 - Q1$  จากนั้นสามารถหาค่าบน (Upper) และค่าล่าง (Lower) ได้จากสมการ

$$\text{Upper} = Q3 + 1.5 \times IQR \quad (2)$$

$$\text{Lower} = Q1 - 1.5 \times IQR \quad (3)$$

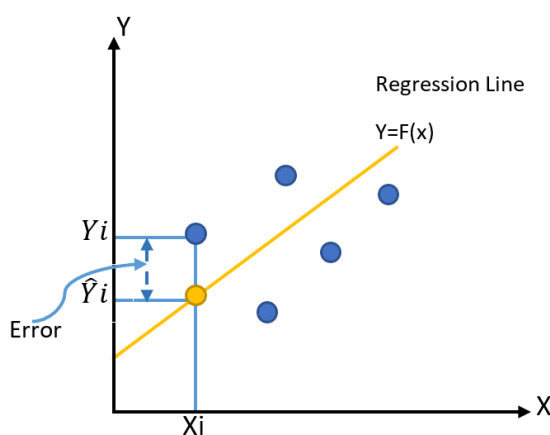


ภาพ 47 IQR และค่าผิดปกติ

จากภาพที่ 47 ค่าที่อยู่นอกเหนือ ค่าบน ค่าล่าง (Upper & Lower) ถือว่าเป็นค่าผิดปกติ (Outliers) ส่วนใหญ่จะพิจารณาตัดทิ้ง วิธี IQR จะใช้ข้อมูลที่มีการกระจายแบบ Normal ดังนั้นโดยทั่วไป นิยมตรวจด้วย Normality test ก่อนว่าข้อมูลมีการแจกแจง หรือกระจายแบบ Normal หรือไม่

## วิธีการถดถอย (Regression Method)

วิธีการถดถอย เป็นหนึ่งในอัลกอริทึมที่มีพื้นฐานคล้าย วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ทั้งนี้หลักการที่สำคัญคือ การศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัวขึ้นไป ดังแสดงในภาพที่ 13 เริ่มต้นจากการนำข้อมูล มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยทั่วไปจะใช้ตัวแปร (x, y) แทนตัวแปรที่สนใจซึ่งก็จะมีทั้งความสัมพันธ์ลักษณะที่เพิ่มขึ้น โดยภาษาไทยเรียก Regression ว่า “การถดถอย” มีความหมาย คือ การลดถอยลง แต่จริงๆ แล้วมันไม่ได้ลดถอยอย่างเดียว ยังสามารถประมาณการในลักษณะที่เพิ่มขึ้นได้ด้วย [30]



ภาพ 48 ตัวอย่างการวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอย [30]

### Simple Linear Regression

Simple Linear Regression เรียกสั้น ๆ ว่า Linear Regression [29] เป็น การศึกษาความสัมพันธ์ ของตัวแปร 2 ตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรง เช่น เมื่อลงทุนโฆษณา เพิ่มขึ้น (x) ผลประกอบการ หรือกำไร (y) ก็จะสูงขึ้น ในลักษณะเชิงเส้นตรง ข้อมูลหรือตัวแปรหรือ Feature ที่ใช้เรียก มีดังนี้

- ตัวแปรอิสระ (Independent Variable, Input หรือ Predictor) มักใช้สัญลักษณ์ x เป็น ค่าที่กำหนดตั้งต้นเพื่อหาค่าเป้าหมายหรือค่าประมาณการ (y) หลักการ
- ตัวแปรตาม (Dependent Variable, Output หรือ Response) มักใช้สัญลักษณ์ y ซึ่ง คำว่าตัวแปรตาม หมายถึงค่าที่แปรผันตามตัวแปรอิสระ (ตัวตั้งต้น) เช่น เมื่อลงทุนโฆษณา (x) มากขึ้น จะได้กำไร (y) สูงขึ้น ฯลฯ

ความสัมพันธ์ของสองตัวแปรเป็นเชิงเส้นตรง ซึ่งสูตรสมการจะได้ดังนี้

$$y = m \times x + b \quad (4)$$

โดยที่  $y$  คือค่าที่ต้องการหา เช่น ค่าประมาณการ หรือค่าคาดการณ์ ( $y$  แปรผันตาม  $x$ ) และ  $x$  คือค่าตั้งต้น หรือค่าที่กำหนดเพื่อนำไปหาค่า  $y$

### Multiple Linear Regression Model

Simple Linear Regression มีปัจจัย (Feature) ที่พิจารณาเพียงตัวแปรเดียวเท่านั้น ซึ่งความเป็นจริง อาจมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาพร้อมกัน หลาย ๆ ตัว ดังนั้นจึงต้องใช้ Multiple Linear Regression ซึ่งมีหลักการคล้ายกับ Simple Linear Regression แต่มีตัวแปรต้น ( $x$  หรือ Features) มากกว่า 1 ตัวอยู่ในสมการเดียวกัน โดยมีสมการโดยทั่วไปคือ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (5)$$

งานวิจัยนี้เป็นเรื่องเกี่ยวกับการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่รถไฟฟ้าในแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานที่แตกต่างกัน ทางผู้วิจัยได้ใช้วิธีการตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) [31, 32] ในการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ ตามปัจจัย 4 ประการที่ส่งผลต่อการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ นั่นคือ ระดับแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าในสถานะชาร์จ, กระแสไฟฟ้าในสถานะดิสชาร์จ และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน ทำให้ได้สมการของระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้า ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon \quad (6)$$

โดยที่  $\beta_0$  ถึง  $\beta_4$  เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่รู้จักในแบบจำลอง เรียกว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย  $\varepsilon$  เป็นค่าความผิดพลาดแบบสุ่ม นับเป็นตัวแปรตามการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า  $X_1$  ถึง  $X_4$  เป็นตัวแปรอิสระ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพลังงานในแบตเตอรี่ตามลำดับ ได้แก่ : ระดับแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าในสถานะชาร์จ, กระแสไฟฟ้าในสถานะดิสชาร์จ และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน

งานวิจัยที่มีการใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย กิตติศักดิ์ คงสีไพร, เกรียงศักดิ์ ไกรกิจราษฎร์ และสมพร เรืองสินชัยวานิช [33] ได้ทำการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้นเพื่อทำการศึกษการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยการใช้โปรแกรม Excel ในการช่วยวิเคราะห์ข้อมูล เป็นกรณีศึกษาจากสถานศึกษาตัวอย่าง 2 แห่งที่ตั้งอยู่ในเขตภาคเหนือ

ตอนล่างของประเทศไทย ทั้งนี้ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ตัวแปรตาม คือ การใช้พลังงานไฟฟ้า ( $y$ ) และตัวแปรอิสระ คือ ค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด ( $x_1$ ) กับค่าตัวประกอบโหลด ( $x_2$ ) เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ โดยผลจากการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการด้วยการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของทั้ง 2 สถานศึกษาในปี พ.ศ. 2557 พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 4.749\%$  และ  $\pm 5.014\%$

ภัทรพร ทองนิ่ม และภควัต ลำจวน [34] ได้ทำการศึกษาน้ำท่าและปริมาณน้ำฝนจากอดีต เพื่อการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในอนาคต 2 ปีข้างหน้าด้วยการใช้เทคนิคการพยากรณ์เชิงสถิติ ทั้งนี้ก็เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนตัดสินใจ รวมถึงการกำหนดนโยบายเพื่อหาแนวทางป้องกันน้ำท่วมฉับพลันในเขตลุ่มแม่น้ำชายฝั่งตะวันออก โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำฝนรายเดือนจากกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกทำการวิเคราะห์ด้านอุทกศาสตร์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2556 ช่วงที่ 2 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 ถึงปี พ.ศ. 2558 ผลของการศึกษาในช่วงแรก พบว่า จังหวัดชลบุรีมีปริมาณน้ำท่าที่ส่งผลต่อการเกิดน้ำท่วมฉับพลันได้มากที่สุด รองลงมาคือ จังหวัดระยอง จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดตราด ทั้งนี้ในส่วนของการพยากรณ์ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลถดถอยเชิงเส้น การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างของตัวแปรกับตัวแปรตามด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ จากการวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง 144 เดือน โดยการหาปัจจัยที่ส่งผลมากที่สุดคือ ความเร็วลม อุณหภูมิตุ้มแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ ตามลำดับ ส่วนผลการศึกษาในช่วงที่ 2 พบว่า เมื่อทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจากตัวแปรตาม คือ ปริมาณน้ำฝนและตัวแปรต้น คือ ฤดูกาลในทีนี้คือ 12 ฤดูกาล 1 เดือนเท่ากับ 1 ฤดูกาล และสร้างตัวแปรเทียมได้ 11 ตัวแปร โดยตัวแปรเทียมแต่ละตัวมีได้ 2 ค่า เท่านั้น คือ 0 กับ 1 และจะได้สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.811 และเมื่อทำการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณน้ำฝนในเขตลุ่มแม่น้ำตะวันออกจากการใช้ข้อมูลรายเดือน คือ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2543 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 รวมทั้งสิ้น 192 เดือน ได้ค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในอีก 2 ปีข้างหน้ามีแนวโน้มของปริมาณน้ำฝนลดลงจากปีก่อน

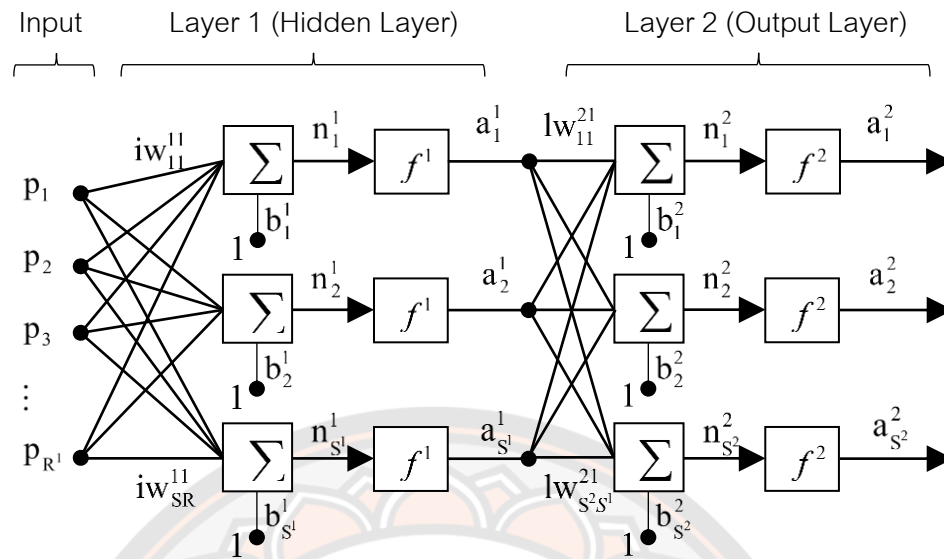
Hongyan Yang, Lei Liu, Hongpeng Zhou and Tianyi Gao [35] ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในกรุงปักกิ่ง ประเทศจีน ด้วยวิธีการทางสถิติหลายตัวแปร ได้แก่ การถดถอยองค์ประกอบหลัก (Principal Component Regression: PCR) การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Squares Regression: PLSR) และการปรับเปลี่ยนการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Modified Partial Least Squares Regression: MPLSR) ตัวแปรที่นำมาใช้ในการพยากรณ์ประกอบด้วย 5 ตัวแปร ได้แก่ ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) อุตสาหกรรมขั้นปฐมภูมิ (Primary Industry) ซึ่ง

เป็นอุตสาหกรรมที่นำเอาทรัพยากรทางธรรมชาติมาผลิตโดยตรง เช่น การทำเหมืองแร่ การแปรรูปไม้ เป็นต้น ผลการศึกษาพบว่า การสร้างสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอยองค์ประกอบหลัก มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ 19.7905 การสร้างสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ 6.0603 และการสร้างสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วนมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ 5.8217

### วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN) เป็นรูปแบบจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้คอมพิวเตอร์มีความฉลาดในการเรียนรู้เหมือนกับมนุษย์ กล่าวคือ สามารถฝึกฝนเพื่อนำความรู้และทักษะไปแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ทั้งนี้โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยส่วนการประมวลผลที่เรียกว่านิวรอน (Neuron) โดยทุกๆ นิวรอนสามารถมีอินพุตได้หลายอินพุต แต่จะมีเพียงเอาต์พุตเดียวเท่านั้น และทุก ๆ เอาต์พุตก็จะแยกออกไปยังอินพุตของนิวรอนอื่นภายในโครงข่ายเดียวกัน อีกทั้งการติดต่อกันภายในระหว่างนิวรอนจะใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดกำลังของการติดต่อและช่วยในการตัดสินใจ ทั้งนี้ในการทำงานของนิวรอนบางโครงข่ายจะถูกกำหนดไว้ตายตัว แต่บางโครงข่ายสามารถที่จะปรับแต่งได้ซึ่งอาจเป็นการปรับแต่งจากภายนอกโครงข่ายหรือนิวรอนสามารถปรับเองได้ ซึ่งในจุดนี้แสดงถึงความสามารถในการเรียนรู้และจดจำของโครงข่ายประสาทเทียมนั่นเอง [36, 37]

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron: MLP) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบหนึ่งที่มีโครงสร้างเป็นแบบหลายๆ ชั้น เหมาะสำหรับงานที่มีความซับซ้อน โดยมีกระบวนการฝึกฝนแบบมีผู้สอน (Supervise) และใช้ขั้นตอนการส่งค่าย้อนกลับ (Backpropagation) สำหรับการฝึกฝนกระบวนการส่งค่าย้อนกลับ จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนย่อยคือการส่งผ่านไปข้างหน้า (Forward Pass) และการส่งผ่านย้อนกลับ (Backward Pass) สำหรับการส่งผ่านไปข้างหน้า ข้อมูลจะผ่านเข้าโครงข่ายประสาทเทียมที่ชั้นข้อมูลเข้า และจะส่งผ่านจากอีกชั้นหนึ่งไปสู่อีกชั้นหนึ่งจนกระทั่งถึงชั้นข้อมูลออก ส่วนการส่งผ่านย้อนกลับค่าน้ำหนักการเชื่อมต่อจะถูกปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับกฎการแก้ข้อผิดพลาด (Error-Correction) คือผลต่างของผลตอบที่แท้จริง (Actual Response) กับผลตอบเป้าหมาย (Target Response) เกิดเป็นสัญญาณผิดพลาด (Error Signal) ซึ่งสัญญาณผิดพลาดนี้จะถูกส่งย้อนกลับเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมในทิศทางตรงกันข้ามกับการเชื่อมต่อ และค่าน้ำหนักของการเชื่อมต่อจะถูกปรับจนกระทั่งผลตอบที่แท้จริงเข้าใกล้ผลตอบเป้าหมาย ทั้งนี้โครงข่ายประสาทเทียมแบบสองชั้นจะแสดงดังภาพที่ 49



ภาพ 49 โครงข่ายประสาทเทียมสองชั้น [36]

จากภาพที่ 49 แสดงลักษณะการทำงานของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

**ชั้นข้อมูลเข้า (Input Layer)** เป็นส่วนที่รับข้อมูลส่งเข้าไปประมวลผลต่อในขั้นต่อไป โดยค่าที่รับเข้ามาในแบบจำลองคือ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพลังงานในแบตเตอรี่ตามลำดับได้แก่ : ระดับแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าในสถานะชาร์จ, กระแสไฟฟ้าในสถานะดิสชาร์จ และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน

**ชั้นซ่อน (Hidden Layer)** เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างกลาง ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการ เรียนรู้ของแบบจำลอง ซึ่งในชั้นซ่อนนั้นจะมีกี่ชั้นก็ได้

**ชั้นข้อมูลออก (Output Layer)** เป็นส่วนที่รับข้อมูลต่อจาก Hidden Layer แล้วประมวล (รวม และตัดสินใจ) จากนั้นจะให้ค่าออกเป็นผลลัพธ์สุดท้าย

### ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

ฟังก์ชันถ่ายโอน หรือฟังก์ชันการแปลง (Transfer Function) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รวมค่าเชิงตัวเลขจากเอาต์พุตของนิวรอน แล้วทำการตัดสินใจว่าจะส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปในรูปใด ทั้งนี้ ฟังก์ชันถ่ายโอนมีอยู่หลายชนิด เช่น ฟังก์ชัน Linear Activation, ฟังก์ชัน Sigmoid



(Logistic function) และฟังก์ชัน TanH (Hyperbolic Tangent Activation Function) เป็นต้น ซึ่งคุณลักษณะของฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชันมีรายละเอียดดังนี้

### ฟังก์ชัน Linear Activation

มีลักษณะการทำงานแบบเชิงเส้น ตามสมการเส้นตรงดังนี้

$$y = mx \quad (16)$$

ความหมายคือเอาต์พุต  $y$  เป็นผลลัพธ์ของฟังก์ชัน จะมีค่าเท่ากับค่าใดค่าหนึ่ง ( $m$ ) คูณกับค่า  $x$  (Input) ที่ป้อนเข้ากับฟังก์ชัน

### ฟังก์ชัน Sigmoid (Logistic function)

เป็นฟังก์ชันที่ถูกใช้มากที่สุดตัวหนึ่ง ทำหน้าที่แปลงค่าอินพุต ที่รับเข้ามาให้ได้เอาต์พุตมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ตามสมการดังนี้

$$S(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (15)$$

### ฟังก์ชัน TanH (Hyperbolic Tangent Activation Function)

เป็นฟังก์ชันที่ให้ค่าเอาต์พุตมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 คุณลักษณะคล้ายกับฟังก์ชัน Sigmoid แต่มีช่วงที่กว้างกว่า ตามสมการดังนี้

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (15)$$

กิตติศักดิ์ คงสีไพร [38] ศึกษาตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อการพยากรณ์ค่ารังสีอาทิตย์ โดยการประยุกต์ใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) และวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (OLS) และตัวแปร อิสระหลักถูกเลือกใช้ ตัวอย่างเช่น มุมชั่วโมง, อุณหภูมิอากาศสูงสุด, อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยกลางวัน, ความยาวนานเวลากลางวัน, มุมอัลติจูด, เดคลิเนชัน, มุมอาซิมุส และแพคเตอร์สำหรับแก้ผลการแปร ค่าของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ และเมื่อนาพารามิเตอร์เหล่านี้มาใช้ในสมการที่นำเสนอ การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถประมาณรูปลักษณ์กำลังไฟฟ้าได้ทั้งแบบรายชั่วโมง แบบรายวัน แบบรายปักษ์ และแบบรายเดือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้กับโซลาร์รูฟที่ อบรม สำหรับการศึกษานี้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) คือ ปริมาณการ

เปรียบเทียบค่าผิดพลาดการประมาณการของการพยากรณ์แบบต่างๆ จากโซลาร์รูฟท็อปในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พืชผลโลกใช้สำหรับกรณีศึกษาครั้งนี้ ทั้งนี้การประมาณของวิธีทั้งสองแบบเปรียบเทียบกับค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าจริงจากโซลาร์รูฟท็อปในกรณีแบบรายชั่วโมง ค่า MAPE อยู่ที่ 20.79 เปอร์เซ็นต์ของวิธี ANN และ 21.97 เปอร์เซ็นต์ของวิธี OLS สำหรับกรณีแบบรายวัน ค่า MAPE อยู่ที่ 12.19 เปอร์เซ็นต์ของวิธี ANN และ 12.78 เปอร์เซ็นต์ของวิธี OLS สำหรับกรณีแบบรายปักษ์ ค่า MAPE อยู่ที่ 6.59 เปอร์เซ็นต์ของวิธี ANN และ 6.88 เปอร์เซ็นต์ของวิธี OLS และสำหรับกรณีแบบรายเดือน ค่า MAPE อยู่ที่ 4.92 เปอร์เซ็นต์ของวิธี ANN และ 5.18 เปอร์เซ็นต์ของวิธี OLS

จักรพันธ์ นันทพันธุ์กุล และบุญยัง ปลั่งกลาง [39] ได้ประยุกต์ใช้ ANN แบบแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) ด้วยฟังก์ชันการเรียนรู้แบบเลเวนเบิร์ก-มาร์ควาร์ด และใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์แบบรายชั่วโมงของวันถัดไปที่กระต๊อบนระนาบใดๆ จากโปรแกรมโฮมเมอร์ (Homer) ป้อนเข้าระบบ ANN โดยโปรแกรมโฮมเมอร์เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองระบบพลังงานทดแทนต่างๆ รวมทั้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถแสดงค่ารังสีดวงอาทิตย์ ณ บริเวณที่ต้องการทราบได้ ทั้งนี้ผลจากการพยากรณ์ กำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ด้วยวิธี ANN จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ จากโปรแกรม Homer โดยใช้กล่องเครื่องมือโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Toolbox) ของโปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) ทั้งนี้ ANN จะประกอบไปด้วยชั้นอินพุต จำนวน 1 ชั้น มีจำนวน นิวรอนเท่ากับจำนวนชุดข้อมูล และชั้นซ่อน (Hidden Layer) 2 ชั้น จำนวนปมประสาทจะขึ้นอยู่กับ การทดลองออกแบบโครงข่าย และชั้นเอาต์พุตจำนวน 1 ชั้น สำหรับตัวแปรในการพยากรณ์ จะใช้ค่า ปริมาณแสงอาทิตย์และค่ากำลังไฟฟ้าแบบรายชั่วโมงที่ผลิตได้ตั้งแต่ 0:00 - 23:00 น. จากโปรแกรม โฮมเมอร์ อุณหภูมิอากาศ และดัชนีสภาพท้องฟ้าของวันถัดไป ทั้งนี้สถิติที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ผลการศึกษา พบว่า ANN ที่ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนเป็นแบบลือกซิกมอยด์ และในชั้นเอาต์พุตเป็นแบบเชิงเส้น มีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบผลการพยากรณ์กับข้อมูลจากโปรแกรมโฮมเมอร์ โดยมีค่า MAPE อยู่ที่ 4.60%

ชาตรี มากมี, ปฐมาภรณ์ ศรีผดุงธรรม และอุสาห์ บุญบำรุง [40] ได้เสนอการพยากรณ์ ค่ารังสีอาทิตย์ด้วยวิธี ANN แบบแพร่ย้อนกลับ โดยใช้ความสัมพันธ์ของช่วงเวลา ความเข้มแสง ความเร็วลม อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิแผง เพื่อใช้ในการพยากรณ์ความเข้มแสงเฉลี่ยรายชั่วโมงและรายวันใน 24 ชั่วโมงข้างหน้า โดยใช้ข้อมูลจริงจากระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานของศูนย์บริการนักท่องเที่ยววังกวาง อุทยานแห่งชาติภูกระดึง ตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ถึงวันที่ 23 สิงหาคม พ.ศ. 2555 มาทำการเรียนรู้ระบบเพื่อหารูปแบบและค่าอินพุตที่มีความเหมาะสม สำหรับการพยากรณ์ พร้อมทั้งทดสอบวิธี ANN จากการเลือกข้อมูลในช่วงเวลาต่างๆ กัน ซึ่งจากผล

การศึกษา พบว่า การพยากรณ์รังสีอาทิตย์แบบรายวันด้วยวิธี ANN มีค่า MAPE อยู่ที่ 9.87% และการพยากรณ์ รังสีอาทิตย์แบบรายชั่วโมงมีค่า MAPE อยู่ที่ 41.05%

### การประเมินความแม่นยำของปัญญาประดิษฐ์

การประเมินความคลาดเคลื่อน ความแม่นยำ Model (Model Evaluation) [29] เป็นเรื่องที่มีความสำคัญกับปัญญาประดิษฐ์มาก เนื่องจากจะเป็นตัวบอกได้ว่า Model ที่ได้มีความแม่นยำ มากน้อยเพียงไร เหมาะที่จะนำไปใช้งานหรือไม่ โดยการประเมินความแม่นยำ Model มีหลายวิธี ในที่นี้ขอกล่าววิธีที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ 3 วิธี

#### coefficient of determination

ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ R - Squared คือสัมประสิทธิ์การอธิบายที่สามารถแปลความหมายได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของความแปรปรวนในตัวแปรหนึ่งสามารถอธิบายหรือทำนายได้ด้วยตัวแปรอื่น ๆ โดยมีสมการทั่วไปคือ

$$R^2 = \frac{\sum(y_{est} - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \quad (7)$$

โดย R Square มีค่าระหว่าง 0 - 1 ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งแสดงว่า Model มีความแม่นยำสูงสุด ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า Model มีความผิดพลาดสูงสุด ยิ่งค่า R-Squared สูง ๆ หมายความว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์นั้นดี (เหมาะสมกับข้อมูล) แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีเงื่อนไขบางอย่างที่ต้องมีพร้อมกับค่า R-Squared ที่สูงนี้ด้วย

#### Mean Absolute Error (MAE)

มีสมการทั่วไปคือ

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (8)$$

หลักการคือหาผลรวมระยะคลาดเคลื่อน  $|y_i - \hat{y}_i|$  ทั้งหมด โดยคิดค่า Absolute (ถ้าค่าติดลบ ให้เปลี่ยนเป็นค่าบวก) แล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด (N) นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของระยะคลาดเคลื่อนทั้งหมด MAE ค่ายิ่งน้อยแสดงว่าคลาดเคลื่อนน้อย (แม่นยำสูง)

### Mean Square Error (MSE)

มีสมการทั่วไปคือ

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (9)$$

หลักการคล้ายกับ MAE แต่ใช้วิธีกำลังสอง เครื่องหมายที่ติดลบจะหายไป MSE ยิ่งค่าน้อยยิ่งแสดงว่าความคลาดเคลื่อนน้อย (แม่นยำสูง)



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในบทที่ผ่านมา สามารถนำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ โดยสร้างระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ซึ่งผู้วิจัยได้คิดค้นออกแบบ ระบบการทำงานในส่วนต่าง ๆ ประกอบด้วย การออกแบบระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับปัญญาประดิษฐ์ที่เลือกใช้ การวางแผนการเลือกปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบแสดงสถานะรถไฟฟ้า การสร้างระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ การนำแสดงค่าว่าแบตเตอรี่เหลือเท่าไร และนำค่าต่าง ๆ ที่ใช้ไปแสดงค่าผ่าน WebServer โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนประมวลผล ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

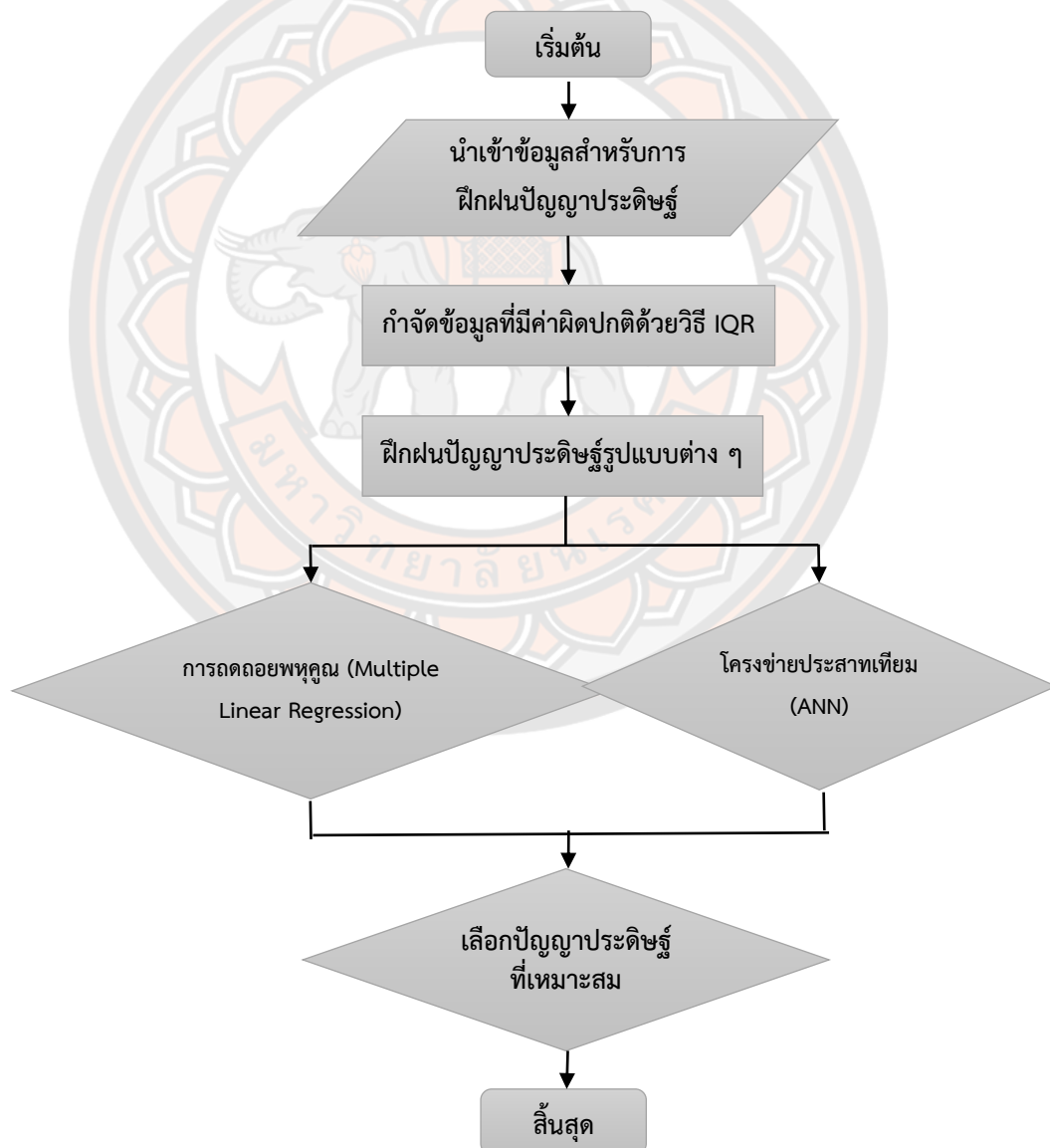
#### การออกแบบระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับปัญญาประดิษฐ์ที่เลือกใช้

การเลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เหมาะสมกับข้อมูลการใช้งานรถไฟฟ้านั้นก็มีความสำคัญมาก ทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลการใช้งานของรถไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยต้องคำนึงถึงความเร็วที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ความจุที่สามารถเก็บข้อมูลไว้เพื่อรอประมวลผล จากการเลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เหมาะสมกับข้อมูลการใช้งานรถไฟฟ้าแล้ว ดังนั้นต่อไปคือการเลือกรูปแบบของปัญญาประดิษฐ์ เพื่อให้อัลกอริทึมของปัญญาประดิษฐ์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการเลือก และออกแบบให้เหมาะสมกับข้อมูลของรถไฟฟ้าได้ดีที่สุด จากการเลือกใช้รูปแบบของปัญญาประดิษฐ์ ทั้งแบบการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) และ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural networks: ANN)

เมื่อได้รูปแบบของปัญญาประดิษฐ์ที่จะนำไปใช้กับระบบติดตามสถานะรถไฟฟ้าแล้ว ดังนั้นต่อไปคือการฝึกฝนให้อัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์มีความชาญฉลาด โดยการนำข้อมูลการใช้งานรถไฟฟ้ามาฝึกฝน โดยใช้โปรแกรม Python เนื่องจากมีไลบรารีเสริม Open – source ที่มีประสิทธิภาพสูงให้ใช้งานหลายตัว ทำให้สามารถบอกค่าสถานะรถไฟฟ้าได้ถูกต้องในระดับที่พึงพอใจแล้ว จึงสามารถนำระบบติดตามรถไฟฟ้าไปใช้งานได้จริง

### การวางแผนการเลือกปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบแสดงสถานะรถไฟฟ้า

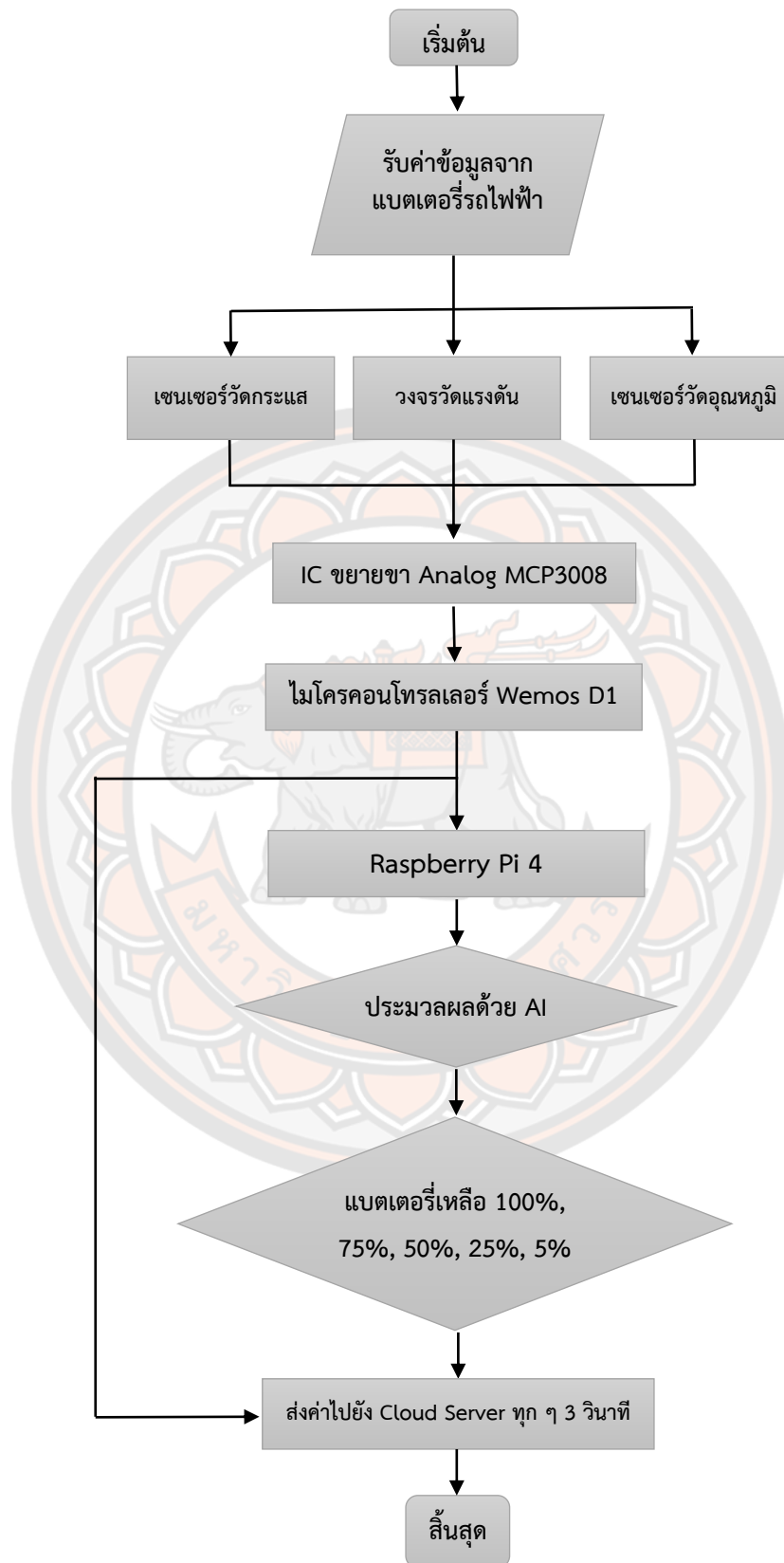
เริ่มต้นด้วยการเลือกรูปแบบปัญญาประดิษฐ์จากการนำข้อมูลการใช้งานรถไฟฟ้าแล้วนำมากำจัดค่าผิดปกติด้วยวิธี IQR จึงนำข้อมูลได้มาฝึกฝนให้กับปัญญาประดิษฐ์แต่ละรูปแบบแล้วดูค่าความถูกต้องของแต่ละรูปแบบว่าปัญญาประดิษฐ์แบบใดมีค่าความถูกต้องที่มากกว่ากัน โดยค่าความถูกต้องของปัญญาประดิษฐ์ก็ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝน ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลแต่ละชุด ซึ่งถ้ามีค่ามากก็อาจจะทำให้ปัญญาประดิษฐ์รูปแบบหนึ่งมีค่าความถูกต้องที่น้อยกว่าอีกรูปแบบหนึ่งที่ใช้วิธีการในการประมวลผลข้อมูลที่แตกต่างกัน การเลือกรูปแบบปัญญาประดิษฐ์จึงต้องเลือกตามความเหมาะสมกับการใช้งาน หลังจากนั้นจึงจะสามารถนำไปใช้กับระบบติดตามสถานะรถไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 50



ภาพ 50 แผนผังแสดงการเลือกรูปแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบแสดงสถานะรถไฟฟ้า

### หลักการทํางานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์

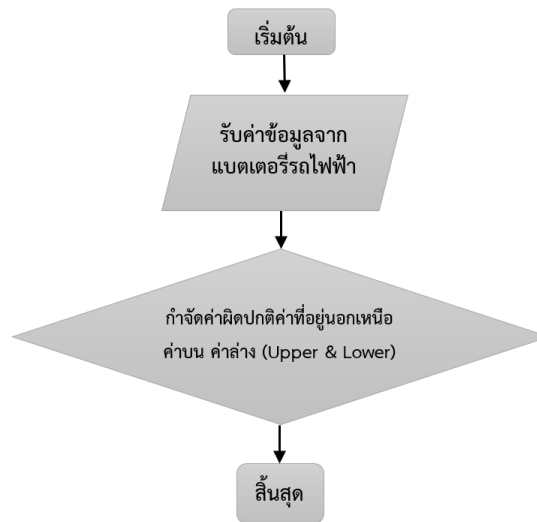
เมื่อได้ทํางานเลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เลือกรูปแบบของปัญญาประดิษฐ์ และทํางานฝึกฝนให้อัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์แล้ว ต่อมาจะทํางานสร้างระบบติดตามสถานะรถไฟฟ้า จากการศึกษาระบบต้นแบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง [6] โดย Raspberry Pi 4 Model B จะรับไฟมาจากแบตเตอรี่สำรอง (Power Bank) ทําหน้าที่ประมวลผล AI โดยจะทํางานรับค่าข้อมูลมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ต่ออยู่ในกล่องวงจรที่ได้จัดทําไว้ และเมื่อตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ Wemos D1 ได้รับไฟเลี้ยงจะส่งไฟไปให้ MCP3008 และส่งไปตัวเซ็นเซอร์วัดกระแสเมื่อเซ็นเซอร์วัดกระแสได้รับไฟมาจากบอร์ดก็จะทํางานวัดค่าของกระแส นอกจากนั้นในส่วนนี้ยังวัดแรงดันจากวงจรแบ่งแรงดันที่ได้ต่อผ่านตัวไวด้วยในแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า (ขนาด 12 โวลต์ 4 ลูกต่ออนุกรมกัน) และท้ายสุดจะทํางานวัดอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่รับค่าอุณหภูมิจากแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า โดยจะวัดค่าโดยใช้ตัว MCP3008 เป็นตัวกำหนดค่าเพื่อส่งค่าไปแสดงผล เมื่อวัดค่าได้แล้วก็จะคํานวณว่าสามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้อีกนานเท่าไรโดยใช้อัลกอริทึมของปัญญาประดิษฐ์ แล้วส่งค่ากลับไปยังตัว Raspberry Pi 4 Model B นำค่าพารามิเตอร์ไปเก็บไว้ใน WebServer ทั้งสถานะชาร์จ และดิสชาร์จของแบตเตอรี่รถไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 51



ภาพ 51 แผนผังแสดงการทำงานของระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์

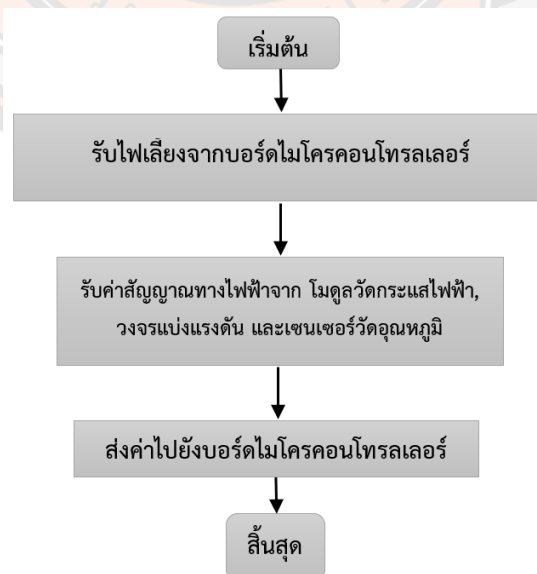


ขั้นตอนการทำงานในส่วนของการกำจัดค่าข้อมูลที่มีความผิดปกติสามารถอธิบายตามผังงานแสดงดังภาพที่ 52



ภาพ 52 แพนผังขั้นตอนการทำงานของการกำจัดข้อมูลที่มีค่าผิดปกติด้วยวิธี IQR

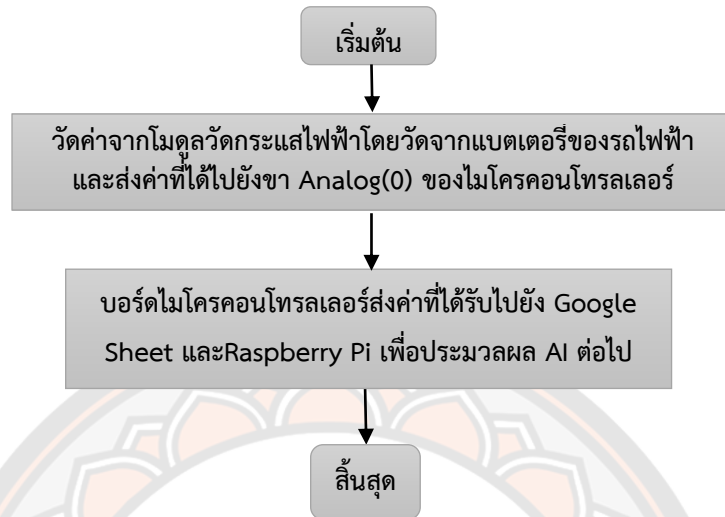
ขั้นตอนการทำงานในส่วนของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอธิบายตามผังงานแสดงดังภาพที่ 53



ภาพ 53 แพนผังขั้นตอนการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

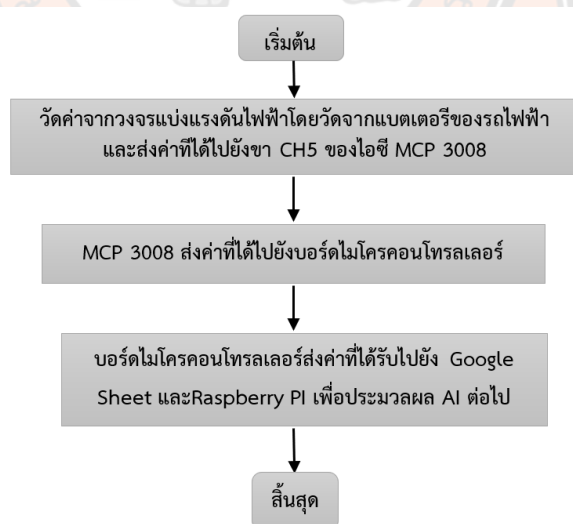
ขั้นตอนการทำงานในส่วนของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าสามารถอธิบายตามผังงานแสดงดังภาพที่

54



ภาพ 54 แพนผังขั้นตอนการทำงานของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้า

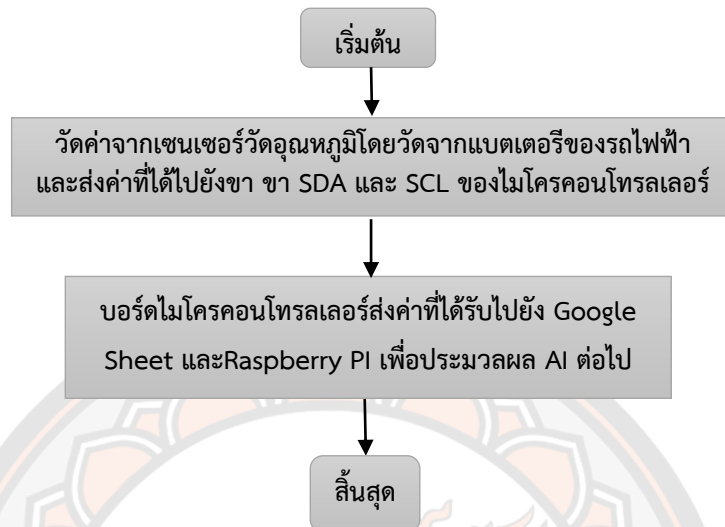
ขั้นตอนการทำงานในส่วนของวงจรแบ่งแรงดันสามารถอธิบายตามผังงานแสดงดังภาพที่ 55



ภาพ 55 แพนผังขั้นตอนการทำงานของวงจรแบ่งแรงดัน

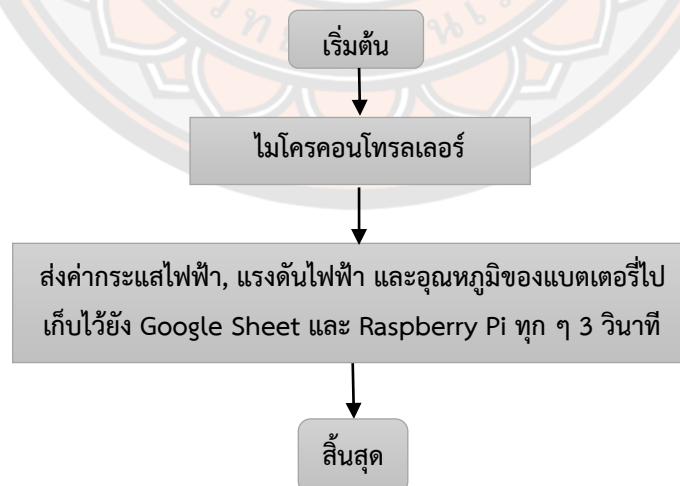
ขั้นตอนการทำงานในส่วนของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิสามารถอธิบายตามผังงานแสดงดังภาพที่

56



ภาพ 56 แพนผังขั้นตอนการทำงานของวงจรแบ่งแรงดัน

ขั้นตอนการทำงานในส่วนของการส่งค่าไปไว้ยัง Google Sheet และ Raspberry Pi สามารถอธิบายตามผังงานแสดงดังภาพที่ 57



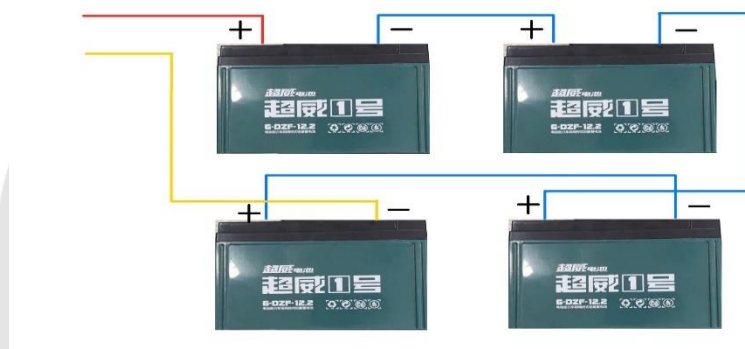
ภาพ 57 แพนผังขั้นตอนการส่งค่าไปไว้ยัง Google Sheet และ Raspberry Pi

## การสร้างระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์

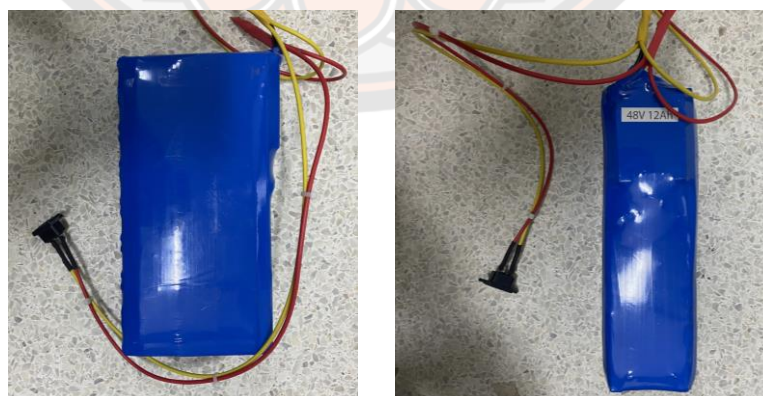
วงจรควบคุมการทำงานของระบบแสดงสถานะการใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า ประกอบด้วย แบตเตอรี่ที่ใช้งานรถไฟฟ้า Raspberry Pi 4 Model B ไมโครคอนโทรลเลอร์ โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า วงจรแบ่งแรงดัน และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิมีรายละเอียดดังนี้

### แบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า

แบตเตอรี่ที่ใช้งานกับรถไฟฟ้าเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) ขนาด 12 โวลต์ ต่ออนุกรม 4 ลูก เป็น 48 โวลต์ (V) 12 แอมป์ชั่วโมง (Ah) และแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>) ขนาด 48 โวลต์ (V) 12 แอมป์ชั่วโมง (Ah) แสดงดังภาพที่ 58 และ 59



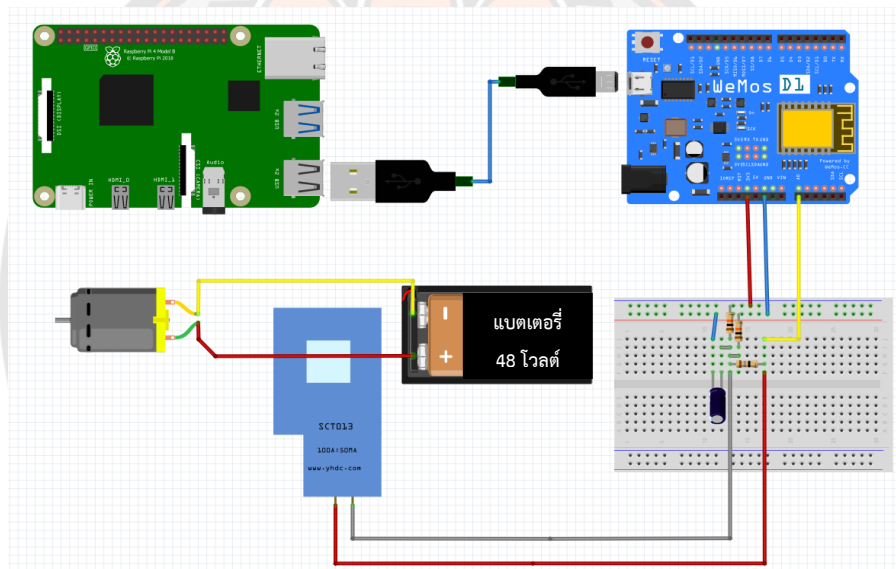
ภาพ 58 การต่ออนุกรมแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ที่ใช้งานของรถไฟฟ้า



ภาพ 59 การต่อแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตที่ใช้งานของรถไฟฟ้า

## โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า

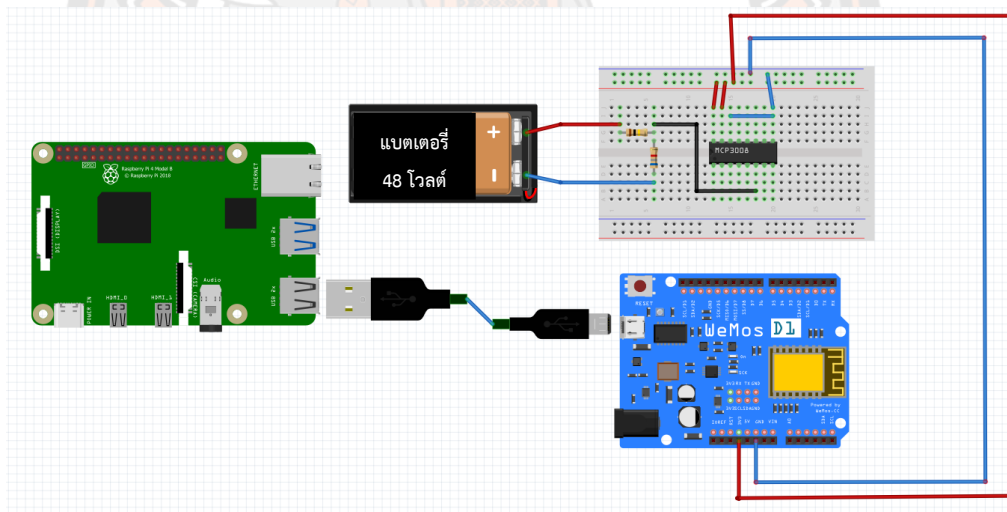
โมดูลวัดกระแสไฟฟ้าทำหน้าที่วัดค่ากระแสของของแบตเตอรี่ตอนชาร์จ และ ดิสชาร์จโดยใช้โมดูลวัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส แล้วส่งค่าให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะส่งค่าข้อมูลไปยัง Raspberry Pi 4 Model B เพื่อประมวลผล AI โดยขาของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าจะต่อเข้ากับตัวต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม 2 ตัว, ตัวต้านทานขนาด 18 โอห์ม 1 ตัว และตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัด ขาเอาต์พุตของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าใช้ส่งค่าไปยังขา Analog(0) ส่วนขากราวด์ และไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์ต่อเข้ากับขากราวด์ และ 3.3 โวลต์ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตามลำดับ การเชื่อมต่อใช้งานโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 60



ภาพ 60 แสดงการต่อวงจรของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส

### วงจรแบ่งแรงดัน

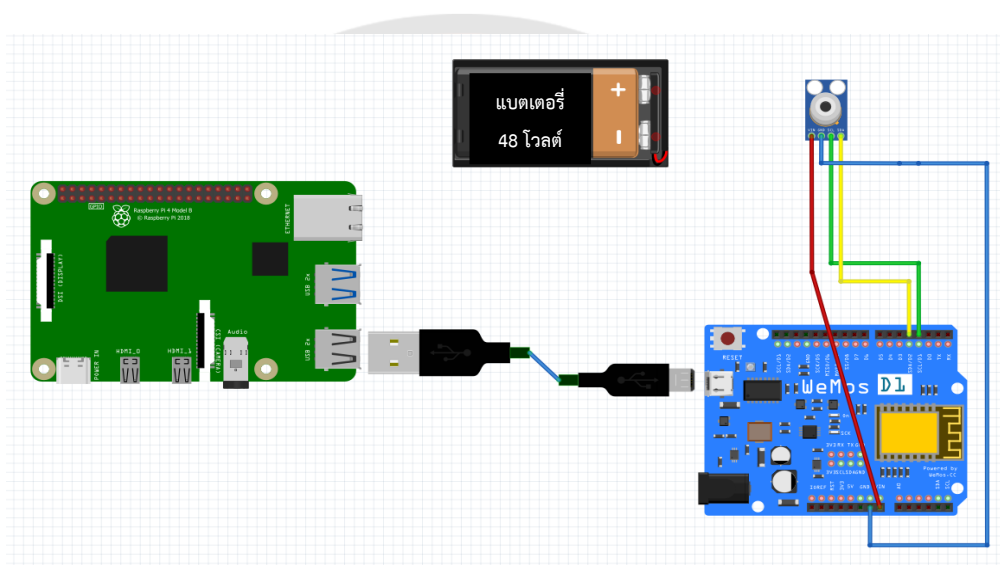
วงจรแบ่งแรงดันทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าในวงจร โดยใช้ความต้านทาน 2 ตัวขึ้นไป ต่ออนุกรม (Series) อยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Power Supply) ทำให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านค่าแรงดันแล้วส่งค่าไปยัง Raspberry Pi 4 Model B เพื่อประมวลผล AI โดยขั้วบวกของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) จะต่อเข้ากับตัวต้านทานขนาด 100 กิโลโอห์มซึ่งต่ออนุกรมกับตัวต้านทานขนาด 6.8 กิโลโอห์ม ส่วนขั้วลบของลบของแบตเตอรี่จะต่อเข้ากับอีกด้านหนึ่งของตัวต้านทานขนาด 6.8 กิโลโอห์ม และต่อขากราวด์ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ค่าแรงดันที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถวัดได้จะอยู่ตรงจุดที่ตัวต้านทานทั้งสองต่ออนุกรมกัน ซึ่งจะส่งค่าไปยังขา `adc.readADC (05)` ของ MCP3008 เช่นเดียวกับการวัดแรงดันจากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO4) ได้โดยขั้วบวกแบตเตอรี่จะต่อเข้ากับตัวต้านทานขนาด 100 กิโลโอห์มซึ่งต่ออนุกรมกับตัวต้านทานขนาด 5.6 กิโลโอห์ม ส่วนขั้วลบของแบตเตอรี่จะต่อเข้ากับอีกด้านหนึ่งของตัวต้านทานขนาด 5.6 กิโลโอห์ม การเชื่อมต่อใช้งานวงจรแบ่งแรงดันแสดงดังภาพที่ 61



ภาพ 61 แสดงการต่อวงจรของวงจรแบ่งแรงดัน

### เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน โดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส แล้วส่งค่าให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะส่งค่าข้อมูลไปยัง Raspberry Pi 4 Model B เพื่อประมวลผล AI โดยขาเอาต์พุตของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิจะต่อเข้ากับขา SDA และ SCL ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนขากราวด์ และไฟเลี้ยง Vin เข้ากับขากราวด์ และ Vin ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตามลำดับ การเชื่อมต่อใช้งานโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 62



ภาพ 62 แสดงการต่อวงจรของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส

### กล่องควบคุมการทำงาน

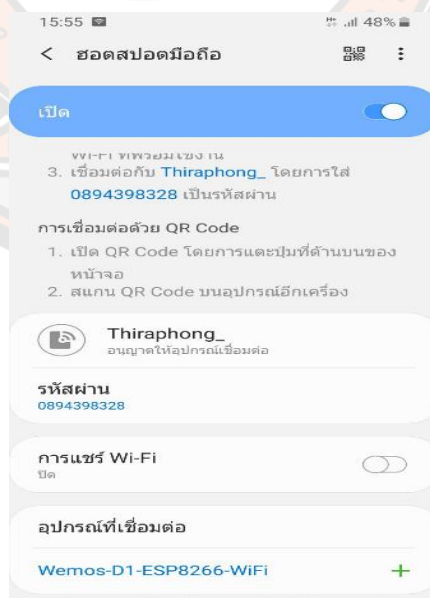
กล่องควบคุมทำจากพลาสติกเก็บสายไฟกันน้ำทรงสี่เหลี่ยมใช้สำหรับบรรจุวงจรควบคุมระบบแสดงสถานะการใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งภายในกล่องประกอบด้วย Raspberry Pi 4 Model B, บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ WeMos D1 ESP8266 WiFi, โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า, วงจรแบ่งแรงดัน, MCP3008, เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และแบตเตอรี่สำรอง (Power Bank) หน้าที่สำคัญของกล่องคือป้องกันฝุ่นและความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายในกล่อง แสดงดังภาพที่ 63



ภาพ 63 วงจรควบคุมระบบแสดงสถานการณ์ใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า

### สัญญาณ WiFi ขณะใช้งานรถไฟฟ้า

ในการใช้งานรถไฟฟ้า ขณะทำการทดลองวัดค่าเครื่องมือวัดทางผู้วิจัยได้ทำการเชื่อมต่อ Raspberry Pi 4 Model B และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับสัญญาณ WiFi จากสมาร์ตโฟน เพื่อให้สัญญาณ WiFi มีความเสถียรในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 64



ภาพ 64 แสดงการเชื่อมต่อสัญญาณ WiFi กับ Raspberry Pi และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านสมาร์ตโฟน



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

ในบทนี้จะขอกล่าวถึงผลของการสร้างระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งจากขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัยในบทที่ 3 ที่กล่าวไปแล้วข้างต้น สามารถแบ่งผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การเก็บค่าที่วัดได้จากรถไฟฟ้า
2. การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จของรถไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ
3. การเก็บข้อมูลการชาร์จของรถไฟฟ้า
4. การเปรียบเทียบค่าดิสชาร์จ และชาร์จในห้องปฏิบัติการกับค่าอ้างอิง
5. การกำจัดข้อมูลที่มีค่าผิดปกติด้วยวิธี IQR
6. ผลลัพธ์ที่ได้จากปัญญาประดิษฐ์
7. การนำปัญญาประดิษฐ์ไปใช้งานจริง
8. การเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลกับปัญญาประดิษฐ์

#### การเก็บค่าที่วัดค่าจากรถไฟฟ้า

ในการเก็บค่าที่วัดได้จากรถไฟฟ้า นั้น สามารถทำได้โดยการใช้ WeMos D1 ESP8266 WiFi ที่ได้ติดตั้งไปในตัวรถ แล้วส่งค่าที่วัดได้จากรถไฟฟ้า Raspberry Pi 4 Model B เพื่อประมวลผล AI และแล้วนำค่าไปเก็บไว้ที่ Google Sheet ที่ได้จัดทำไว้

จากภาพที่ 65 และภาพที่ 66 เป็นการทดสอบเก็บค่าข้อมูลของรถไฟฟ้าเพื่อใช้ประมวลผล AI โดยจะทำการทดสอบ 2 รอบเพื่อดูค่าความแตกต่างแล้วนำไปปรับแก้ไขเพื่อใช้ในกรณีที่มีโหลด โดยจะวัดค่าจากมัลติมิเตอร์โดยตรง และดูค่าที่ส่งขึ้นมายัง Google Sheet จะเห็นว่าจะมีค่าของแรงดัน, กระแสชาร์จ, กระแสดิสชาร์จ, อุณหภูมิของแบตเตอรี่, ค่าร้อยละของแบตเตอรี่ที่เหลืออยู่ในขณะนั้น, เวลาและวันที่ จำนวนครั้งในการเก็บค่าจะถูกส่งมาเก็บใน Google Sheet โดยในการเก็บค่าแต่ละครั้งเราจะทำการพักรถไฟฟ้าด้วยเพื่อป้องกันมอเตอร์ของรถเกิดความเสียหาย



ภาพ 65 การวัดค่าจากมัลติมิเตอร์โดยตรง

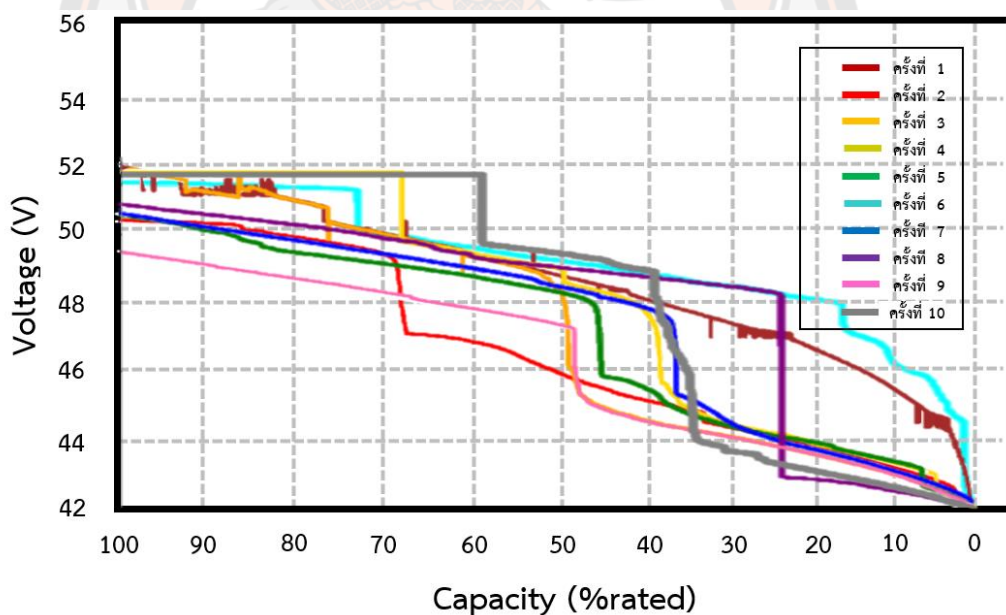
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Date	Time	percent_bat	voltage	discharge	charge	temperature	Ambient_temp	lrms temp	predict_battery				
2	15/9/2022	13:27:33	93	50.37	2.22	0	26.59	24.65	0.01	1.94	02.28422689			
3	15/9/2022	13:27:36	93.08	50.38	5.97	0	26.59	24.65	0.11	1.94	02.28524594			
4	15/9/2022	13:27:40	93.22	50.39	6.84	0	26.61	24.65	0.11	1.96	02.4229595			
5	15/9/2022	13:27:43	93.27	50.39	6.65	0	26.61	24.67	0.14	1.94	02.42915841			
6	15/9/2022	13:27:46	93.3	50.4	9.91	0	26.65	24.63	0.1	2.02	02.62489381			
7	15/9/2022	13:27:50	93.38	50.4	10.68	0	26.61	24.65	0.11	1.96	02.61813099			
8	15/9/2022	13:27:53	93.53	50.42	8.25	0	26.59	24.63	0.11	1.96	02.62971519			
9	15/9/2022	13:27:57	93.51	50.42	7.52	0	26.59	24.61	0.07	1.98	02.61804238			
10	15/9/2022	13:28:01	93.52	50.42	8.72	0	26.61	24.65	0.1	1.96	02.62016091			
11	15/9/2022	13:28:04	93.52	50.42	7.46	0	26.61	24.63	0.11	1.98	02.6290667			
12	15/9/2022	13:28:08	93.52	50.42	7.74	0	26.59	24.65	0.1	1.94	02.61989117			
13	15/9/2022	13:28:11	93.52	50.42	8.65	0	26.61	24.63	0.1	1.98	01.74253193			
14	15/9/2022	13:28:15	93.52	50.42	7.71	0	26.59	24.63	0.08	1.96	02.07126423			
15	15/9/2022	13:28:19	92.62	50.34	7.44	0	26.59	24.63	0.1	1.96	91.9564163			
16	15/9/2022	13:28:22	92.65	50.37	7.36	0	26.65	24.67	0.13	1.96	01.64067864			
17	15/9/2022	13:28:26	92.93	50.36	7.84	0	26.61	24.65	0.08	1.96	03.42823664			
18	15/9/2022	13:28:29	92.51	50.33	8.25	0	26.59	24.63	0.09	1.96	106.0478245			
19	15/9/2022	13:28:33	94.47	50.5	0.48	0	26.61	24.65	0.08	1.96	107.0825615			
20	15/9/2022	13:28:36	100	51.73	7.89	0	26.61	24.63	0.06	1.98	106.9735788			
21	15/9/2022	13:28:40	100	51.74	10.68	0	26.59	24.65	0.09	1.94	106.7283689			
22	15/9/2022	13:28:43	100	51.73	10.67	0	26.61	24.63	0.09	1.98	106.6363356			
23	15/9/2022	13:28:47	100	51.71	7.81	0	26.61	24.57	0.11	2.04	106.6183753			
24	15/9/2022	13:28:51	100	51.7	9.68	0	26.61	24.63	0.13	1.98	01.70002086			
25	15/9/2022	13:28:55	100	51.7	7.59	0	26.67	24.63	0.1	2.04	01.64346191			
26	15/9/2022	13:28:58	92.79	50.35	0.56	0	26.67	24.65	0.09	2.02	98.58584526			
27	15/9/2022	13:29:02	95.68	50.33	0.6	0	26.61	24.62	0.14	2.02	104.03844398			

ภาพ 66 ค่าที่ถูกส่งมาเก็บไว้ใน Google Sheet

### การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จของรถไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ

การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จของรถไฟฟ้าสำหรับการประมวลผล AI จะทำการเก็บข้อมูลการดิสชาร์จของรถไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ สามารถแบ่งพิกัดกระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่สามารถรับมอเตอร์ได้ตามการปรับตั้งความเร็วของตัวรถไฟฟ้าได้เป็น 3 ระดับ คือ ความเร็วต่ำ ความเร็วปานกลาง และความเร็วสูงสุด แต่ในทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเฉพาะความเร็วปานกลาง เพื่อจะได้ลดเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง และลดผลกระทบที่เกิดจากเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า โดยจะทำการเก็บค่าเป็นจำนวน 10 รอบ ในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) ทั้ง 2 ชุด (ยังไม่เสื่อมสภาพ และเสื่อมสภาพแล้ว) และเก็บค่าจำนวน 5 รอบสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (LiFePO<sub>4</sub>)

### การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ

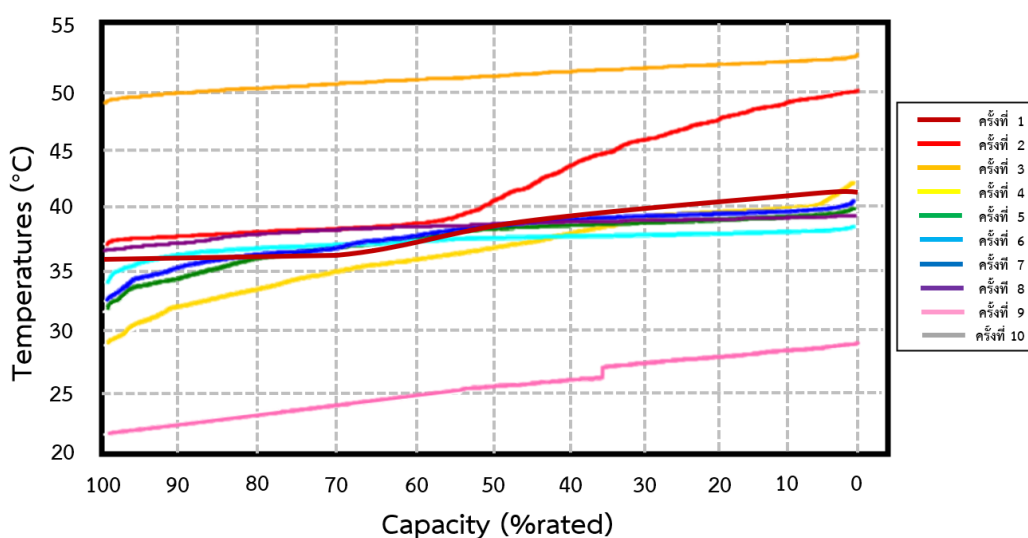


ภาพ 67 กราฟการดิสชาร์จของการวัดค่าในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ

จากภาพที่ 67 กราฟแสดงการดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการทั้ง 10 ครั้ง จะเห็นว่าแรงดันมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งแบตเตอรี่ลดลงจนเหลือประมาณร้อยละ 40 (ประมาณ 46 โวลต์) กระทั่งแบตเตอรี่เหลือร้อยละ 0 (42 โวลต์) ใช้เวลาในการดิสชาร์จ จากแบตเตอรี่เต็มร้อยละ 100 จนเหลือร้อยละ 0 และพิกัดกระแสสูงสุด ของแต่ละรอบแสดงดังตารางที่ 5

ตาราง 5 ระยะเวลาในการดิสชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ

จำนวนครั้งการดิสชาร์จ	ระยะเวลาดิสชาร์จ	พิกัดกระแส	พิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่
ครั้งที่ 1	4 ชั่วโมง 50 นาที	3.06 แอมป์ (A)	42.34 °C
ครั้งที่ 2	4 ชั่วโมง 44 นาที	2.61 แอมป์ (A)	50.25 °C
ครั้งที่ 3	4 ชั่วโมง 42 นาที	3.09 แอมป์ (A)	53.67 °C
ครั้งที่ 4	6 ชั่วโมง 24 นาที	2.73 แอมป์ (A)	38.89 °C
ครั้งที่ 5	5 ชั่วโมง 24 นาที	3.05 แอมป์ (A)	36.89 °C
ครั้งที่ 6	5 ชั่วโมง 39 นาที	3.00 แอมป์ (A)	35.75 °C
ครั้งที่ 7	5 ชั่วโมง 31 นาที	2.69 แอมป์ (A)	37.41 °C
ครั้งที่ 8	4 ชั่วโมง 59 นาที	3.15 แอมป์ (A)	36.73 °C
ครั้งที่ 9	5 ชั่วโมง 25 นาที	3.08 แอมป์ (A)	27.81 °C
ครั้งที่ 10	6 ชั่วโมง 06 นาที	2.77 แอมป์ (A)	37.55 °C

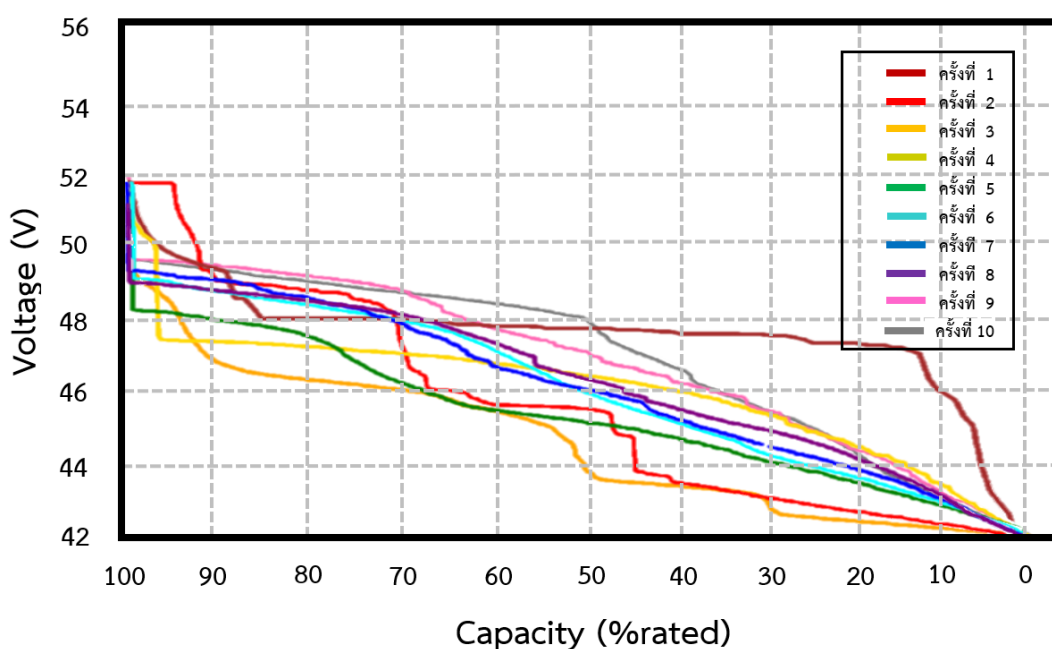


ภาพ 68 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพขณะดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการ

จากภาพที่ 68 และตารางที่ 5 แสดงอุณหภูมิดิสชาร์จของแบตเตอรี่ในห้องปฏิบัติการ จะเห็นว่าอุณหภูมิมักค่าอยู่ระหว่าง 20 – 55 องศาเซลเซียส (°C) และบางครั้งมีค่าอุณหภูมิมักมีความแตกต่างจากค่าอื่นมาก ทั้งนี้ก็มีหลายปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ เช่น อุณหภูมิห้องขณะทำ

การเก็บข้อมูล ยังมีค่าต่ำก็จะส่งผลให้แบตเตอรี่มีอุณหภูมิลดลงด้วย ทำให้การเก็บค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ในแต่ละครั้งมีค่าไม่เท่ากัน

การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

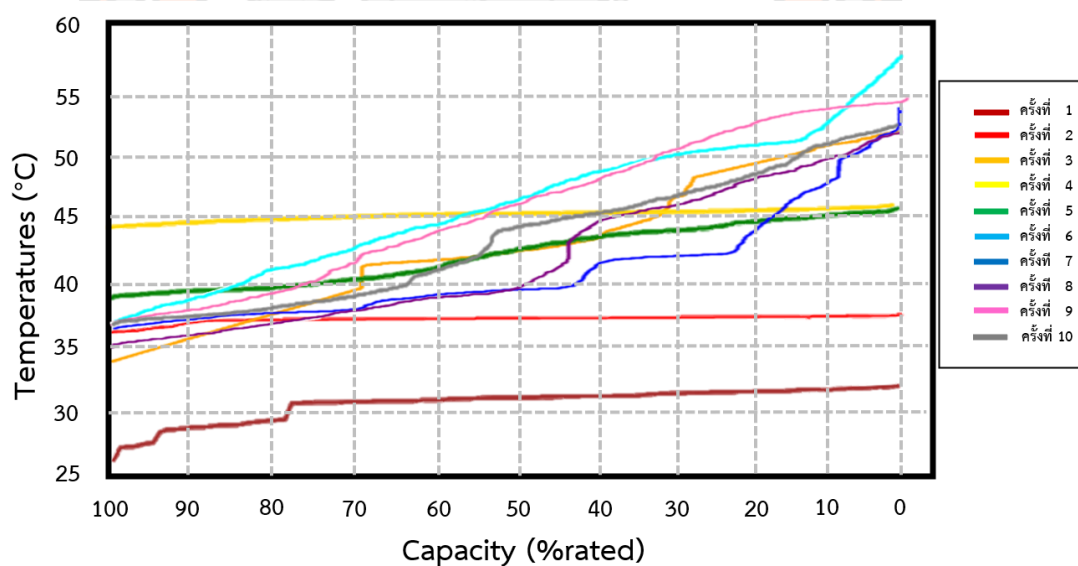


ภาพ 69 กราฟดิสชาร์จของการวัดค่าในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

จากภาพที่ 69 กราฟแสดงการดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการทั้ง 10 ครั้ง จะเห็นว่าแรงดันมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งแบตเตอรี่ลดจนเหลือประมาณร้อยละ 0 (ประมาณ 42 โวลต์) อย่างรวดเร็วเนื่องจากแบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพแล้ว [25] ทำให้ความจุภายในน้อยลงส่งผลไปถึงระยะเวลาที่สามารถปล่อยประจุได้น้อยลงไปด้วย ระยะเวลาในการดิสชาร์จ จากแบตเตอรี่เต็มร้อยละ 100 จนเหลือร้อยละ 0 และพิกัดกระแสสูงสุด ของแต่ละรอบแสดงดังตารางที่ 6

ตาราง 6 ระยะเวลาในการดิสชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

จำนวนครั้งการดิสชาร์จ	ระยะเวลาดิสชาร์จ	พิกัดกระแส	พิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่
ครั้งที่ 1	1 ชั่วโมง 25 นาที	3.02 แอมป์ (A)	33.49 °C
ครั้งที่ 2	1 ชั่วโมง 37 นาที	2.99 แอมป์ (A)	38.85 °C
ครั้งที่ 3	1 ชั่วโมง 47 นาที	2.85 แอมป์ (A)	52.19 °C
ครั้งที่ 4	1 ชั่วโมง 54 นาที	2.51 แอมป์ (A)	40.63 °C
ครั้งที่ 5	1 ชั่วโมง 56 นาที	2.97 แอมป์ (A)	52.73 °C
ครั้งที่ 6	1 ชั่วโมง 42 นาที	3.00 แอมป์ (A)	57.71 °C
ครั้งที่ 7	1 ชั่วโมง 40 นาที	3.00 แอมป์ (A)	55.11 °C
ครั้งที่ 8	1 ชั่วโมง 23 นาที	2.97 แอมป์ (A)	52.19 °C
ครั้งที่ 9	1 ชั่วโมง 27 นาที	2.97 แอมป์ (A)	53.91 °C
ครั้งที่ 10	1 ชั่วโมง 29 นาที	3.00 แอมป์ (A)	52.09 °C

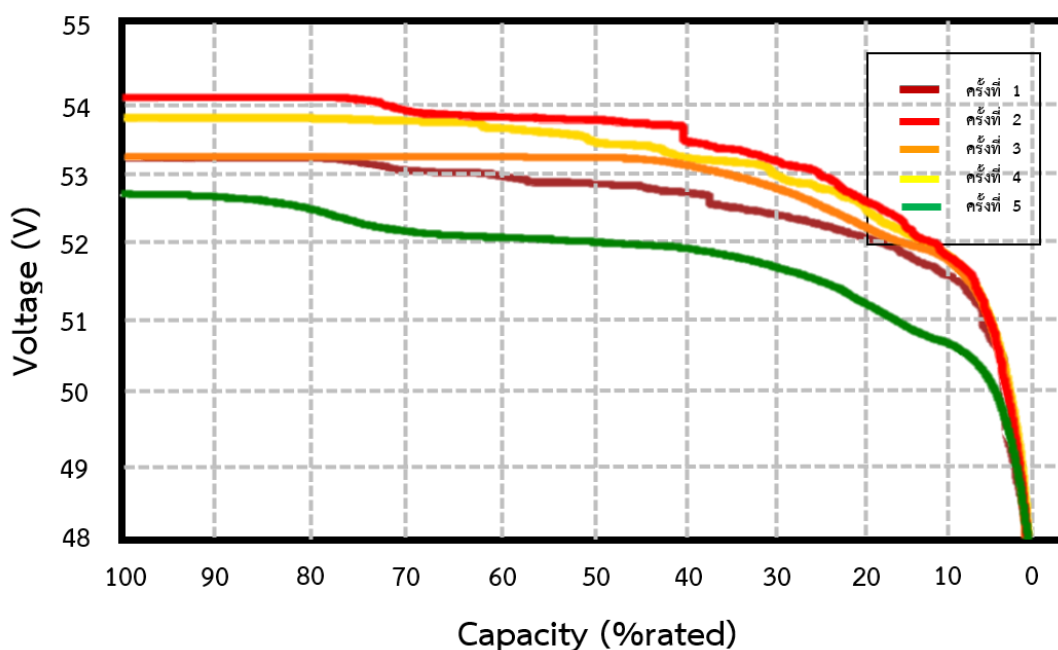


ภาพ 70 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังเสื่อมสภาพแล้วขณะดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการ

จากภาพที่ 70 และตารางที่ 6 แสดงอุณหภูมิดิสชาร์จของแบตเตอรี่ในห้องปฏิบัติการจะเห็นว่าอุณหภูมิมักอยู่ระหว่าง 20 – 60 องศาเซลเซียส (°C) และบางครั้งมีค่าอุณหภูมิต่างกันมาก ทั้งนี้ก็มีหลายปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ เช่น

อุณหภูมิห้องขณะทำการเก็บข้อมูล ยิ่งมีค่าต่ำก็จะส่งผลให้แบตเตอรี่มีอุณหภูมิลดลงด้วย ทำให้การเก็บค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ในแต่ละครั้งมีค่าไม่เท่ากัน

### การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ชนิดชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

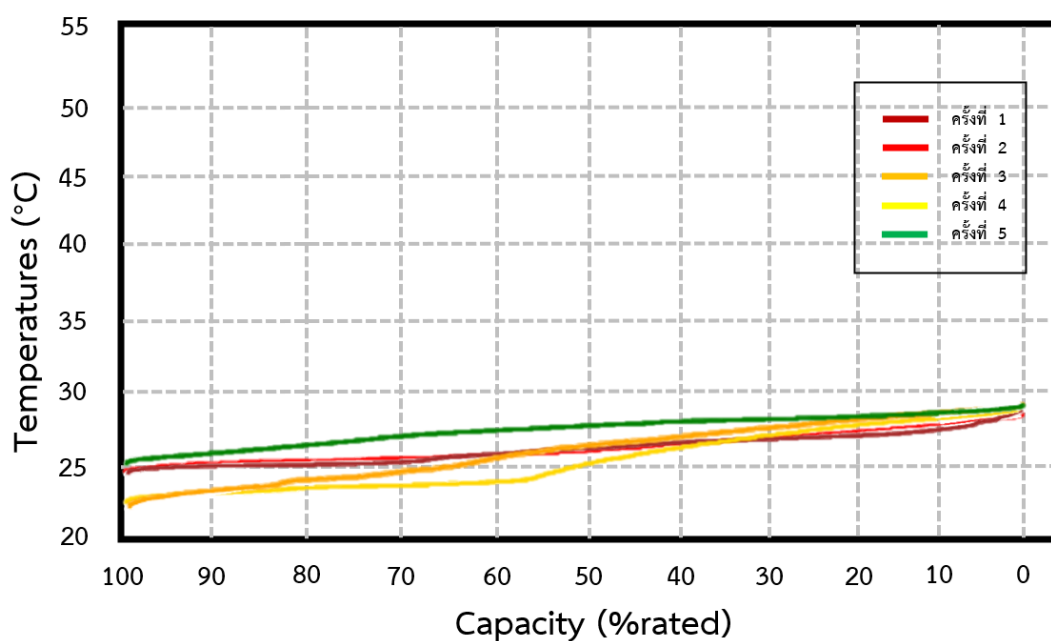


ภาพ 71 กราฟดิสชาร์จของการวัดค่าในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

จากภาพที่ 71 กราฟแสดงการดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการทั้ง 5 ครั้ง จะเห็นว่าแรงดันมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งแบตเตอรี่ลดลงจนเหลือประมาณร้อยละ 10 (ประมาณ 52 โวลต์) กระทั่งแบตเตอรี่เหลือร้อยละ 0 (48 โวลต์) ใช้เวลาในการดิสชาร์จ จากแบตเตอรี่เต็มร้อยละ 100 จนเหลือร้อยละ 0 และพิกัดกระแสสูงสุดของแต่ละรอบแสดงดังตารางที่ 7

ตาราง 7 ระยะเวลาในการดิสชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ฟอสเฟต

จำนวนครั้งการดิสชาร์จ	ระยะเวลาดิสชาร์จ	พิกัดกระแส	พิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่
ครั้งที่ 1	5 ชั่วโมง 5 นาที	2.94 แอมป์ (A)	27.29 °C
ครั้งที่ 2	4 ชั่วโมง 53 นาที	2.97 แอมป์ (A)	28.89 °C
ครั้งที่ 3	4 ชั่วโมง 54 นาที	2.95 แอมป์ (A)	28.89 °C
ครั้งที่ 4	4 ชั่วโมง 53 นาที	3.08 แอมป์ (A)	29.17 °C
ครั้งที่ 5	5 ชั่วโมง 10 นาที	3.20 แอมป์ (A)	28.97 °C



ภาพ 72 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตขณะดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการ

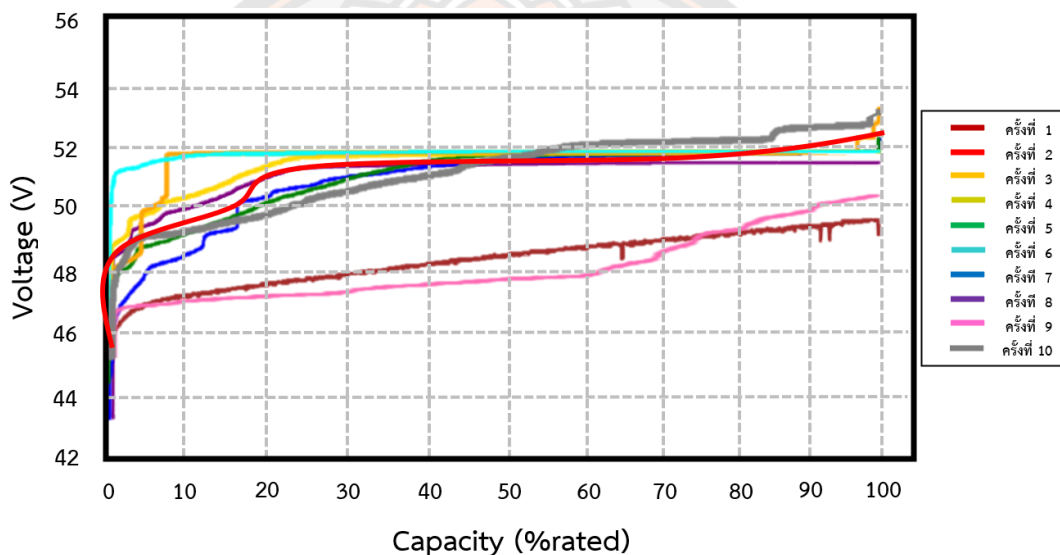
จากภาพที่ 72 และตารางที่ 7 แสดงอุณหภูมิการดิสชาร์จของแบตเตอรี่ในห้องปฏิบัติการจะเห็นว่าอุณหภูมิมักจะอยู่ระหว่าง 20 – 30 องศาเซลเซียส (°C) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต ต่ำกว่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดอย่างมีนัยยะ



### การเก็บข้อมูลการชาร์จของรถไฟฟ้า

การเก็บข้อมูลชาร์จของรถไฟฟ้าสำหรับการประมวลผล AI จะทำการเก็บข้อมูลชาร์จของรถไฟฟ้า โดยจะทำการเก็บค่าเป็นจำนวน 10 รอบ ในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid) ทั้ง 2 ชุด (ยังไม่เสื่อมสภาพ และเสื่อมสภาพแล้ว) และเก็บค่าจำนวน 5 รอบสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน ฟอสเฟต (LiFePO4)

#### การเก็บข้อมูลการชาร์จของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ



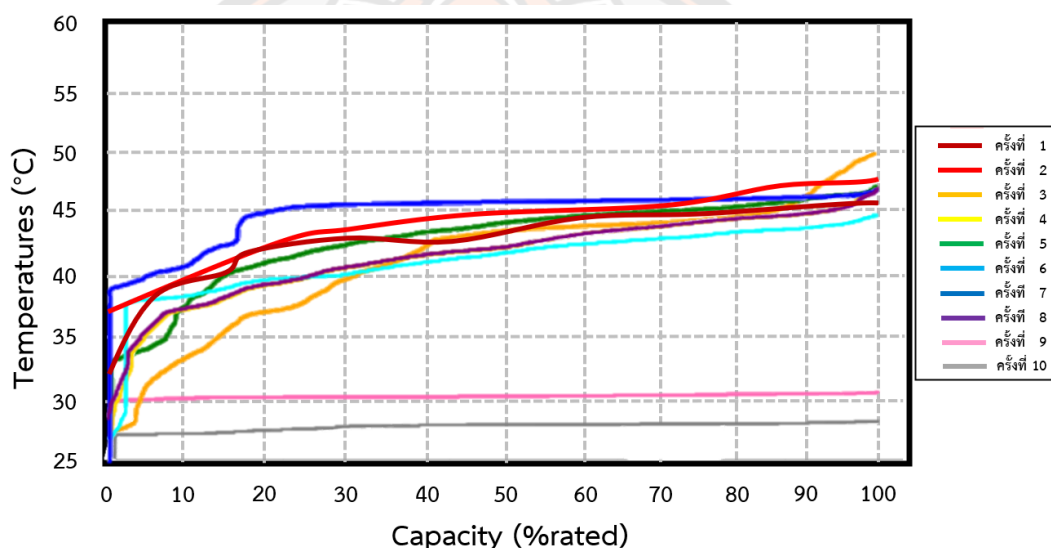
ภาพ 73 กราฟชาร์จของการวัดค่าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ

จากภาพที่ 73 กราฟแสดงการชาร์จแบตเตอรี่ทั้ง 10 ครั้ง ใช้เวลาในการชาร์จ จากแบตเตอรี่เหลือร้อยละ 0 จนแบตเตอรี่เต็ม และพิกัดกระแสสูงสุด ของแต่ละรอบแสดงดังตารางที่ 8

ตาราง 8 ระยะเวลาในการชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ

จำนวนครั้งการชาร์จ	ระยะเวลาชาร์จ	พิกัดกระแส	พิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่
ครั้งที่ 1	7 ชั่วโมง 9 นาที	1.96 แอมป์ (A)	45.87 °C
ครั้งที่ 2	7 ชั่วโมง 10 นาที	1.61 แอมป์ (A)	47.64 °C
ครั้งที่ 3	7 ชั่วโมง 21 นาที	1.95 แอมป์ (A)	49.73 °C

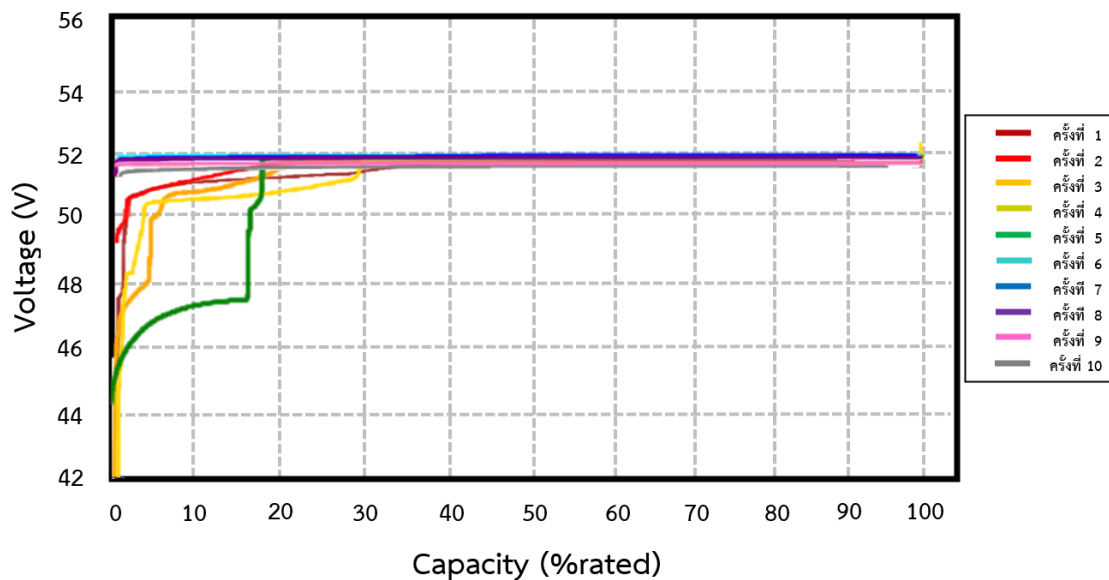
จำนวนครั้งการชาร์จ	ระยะเวลาชาร์จ	พิกัดกระแส	พิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่
ครั้งที่ 4	7 ชั่วโมง 19 นาที	1.59 แอมป์ (A)	46.75 °C
ครั้งที่ 5	6 ชั่วโมง 49 นาที	1.71 แอมป์ (A)	46.83 °C
ครั้งที่ 6	6 ชั่วโมง 44 นาที	1.77 แอมป์ (A)	44.53 °C
ครั้งที่ 7	6 ชั่วโมง 53 นาที	1.68 แอมป์ (A)	46.61 °C
ครั้งที่ 8	7 ชั่วโมง 16 นาที	1.59 แอมป์ (A)	46.87 °C
ครั้งที่ 9	7 ชั่วโมง 5 นาที	1.88 แอมป์ (A)	30.29 °C
ครั้งที่ 10	6 ชั่วโมง 56 นาที	1.87 แอมป์ (A)	28.01 °C



ภาพ 74 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพขณะชาร์จ

จากภาพที่ 74 และตารางที่ 8 แสดงอุณหภูมิขณะชาร์จของแบตเตอรี่ จะเห็นว่าอุณหภูมิมักจะอยู่ระหว่าง 25 – 50 องศาเซลเซียส (°C) และบางครั้งมีค่าอุณหภูมิต่างกันมาก ทั้งนี้ก็มีหลายปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ เช่น อุณหภูมิห้องขณะทำการเก็บข้อมูล ยิ่งมีค่าต่ำก็จะส่งผลให้แบตเตอรี่มีอุณหภูมิลดลงด้วย ทำให้การเก็บค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ในแต่ละครั้งมีค่าไม่เท่ากัน

### การเก็บข้อมูลการชาร์จของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

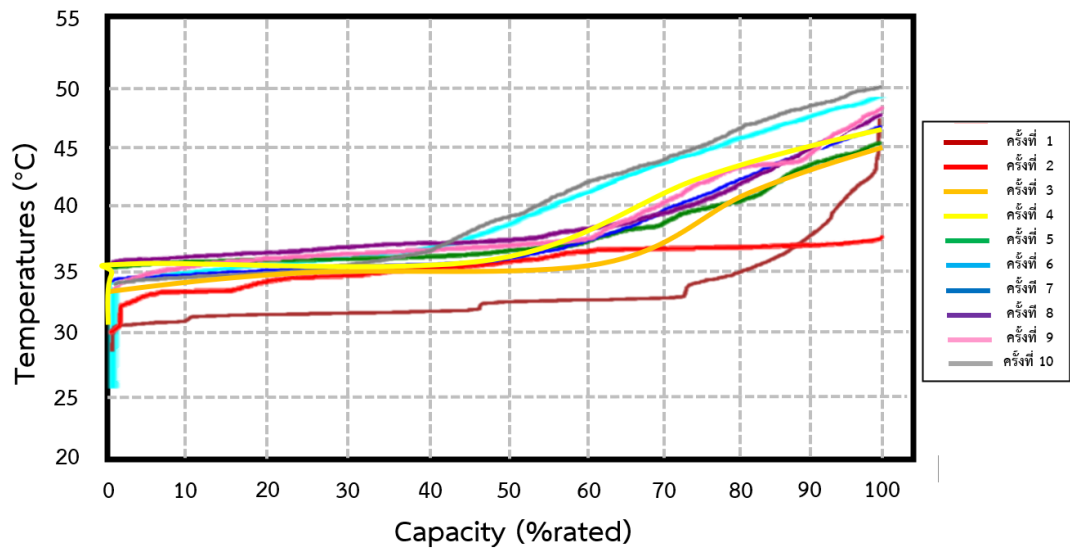


ภาพ 75 กราฟชาร์จของการวัดค่าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

จากภาพที่ 75 กราฟแสดงการชาร์จทั้ง 10 ครั้ง ใช้เวลาในการชาร์จ จากแบตเตอรี่เหลือร้อยละ 0 จนแบตเตอรี่เต็ม และพิกัดกระแสสูงสุด ของแต่ละรอบแสดงดังตารางที่ 9

ตาราง 9 ระยะเวลาในการชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

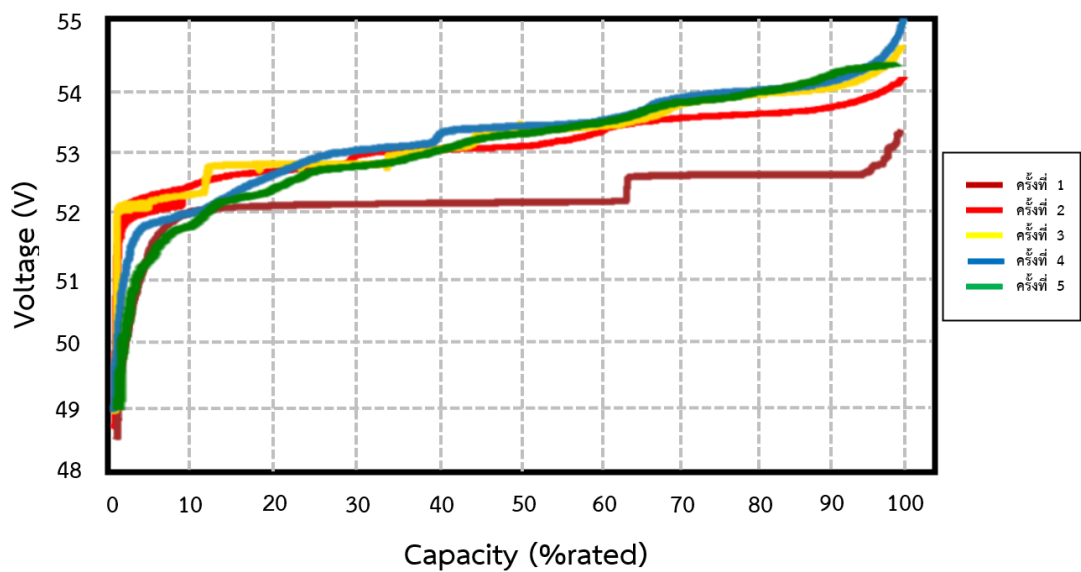
จำนวนครั้งการชาร์จ	ระยะเวลาชาร์จ	พิกัดกระแส	พิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่
ครั้งที่ 1	2 ชั่วโมง 14 นาที	1.51 แอมป์ (A)	46.75 °C
ครั้งที่ 2	2 ชั่วโมง 10 นาที	1.55 แอมป์ (A)	37.55 °C
ครั้งที่ 3	2 ชั่วโมง 9 นาที	1.74 แอมป์ (A)	45.35°C
ครั้งที่ 4	1 ชั่วโมง 59 นาที	1.80 แอมป์ (A)	46.47°C
ครั้งที่ 5	2 ชั่วโมง 25 นาที	1.80 แอมป์ (A)	45.57 °C
ครั้งที่ 6	2 ชั่วโมง 19 นาที	1.80 แอมป์ (A)	49.85 °C
ครั้งที่ 7	2 ชั่วโมง 2 นาที	1.80 แอมป์ (A)	46.59 °C
ครั้งที่ 8	2 ชั่วโมง 5 นาที	1.80 แอมป์ (A)	47.23 °C
ครั้งที่ 9	2 ชั่วโมง 18 นาที	1.77 แอมป์ (A)	47.63 °C
ครั้งที่ 10	2 ชั่วโมง 34 นาที	1.80 แอมป์ (A)	50.53 °C



ภาพ 76 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้วขณะชาร์จ

จากภาพที่ 76 และตารางที่ 9 แสดงอุณหภูมิขณะชาร์จของแบตเตอรี่ จะเห็นว่า อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 25 – 50 องศาเซลเซียส (°C) ค่าที่เก็บได้แต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน

การเก็บข้อมูลการชาร์จของแบตเตอรี่ชนิดชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

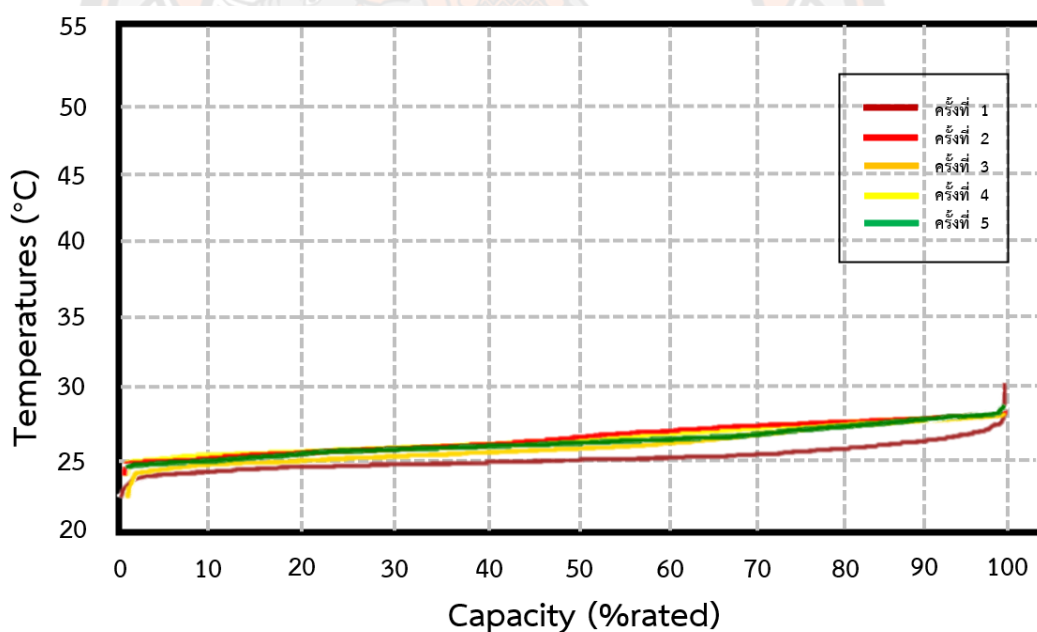


ภาพ 77 กราฟชาร์จของการวัดค่าของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

จากภาพที่ 77 กราฟแสดงการชาร์จทั้ง 5 ครั้ง ใช้เวลาในการชาร์จ จากแบตเตอรี่เหลือร้อยละ 0 จนแบตเตอรี่เต็ม และพิกัดกระแสสูงสุด ของแต่ละรอบแสดงดังตารางที่ 10

ตาราง 10 ระยะเวลาในการชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

จำนวนครั้งการชาร์จ	ระยะเวลาชาร์จ	พิกัดกระแส	พิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่
ครั้งที่ 1	5 ชั่วโมง 18 นาที	1.83 แอมป์ (A)	30.23 °C
ครั้งที่ 2	5 ชั่วโมง 13 นาที	1.81 แอมป์ (A)	28.13 °C
ครั้งที่ 3	5 ชั่วโมง 24 นาที	1.84 แอมป์ (A)	28.13 °C
ครั้งที่ 4	5 ชั่วโมง 42 นาที	1.80 แอมป์ (A)	28.13 °C
ครั้งที่ 5	5 ชั่วโมง 34 นาที	1.98 แอมป์ (A)	28.51 °C

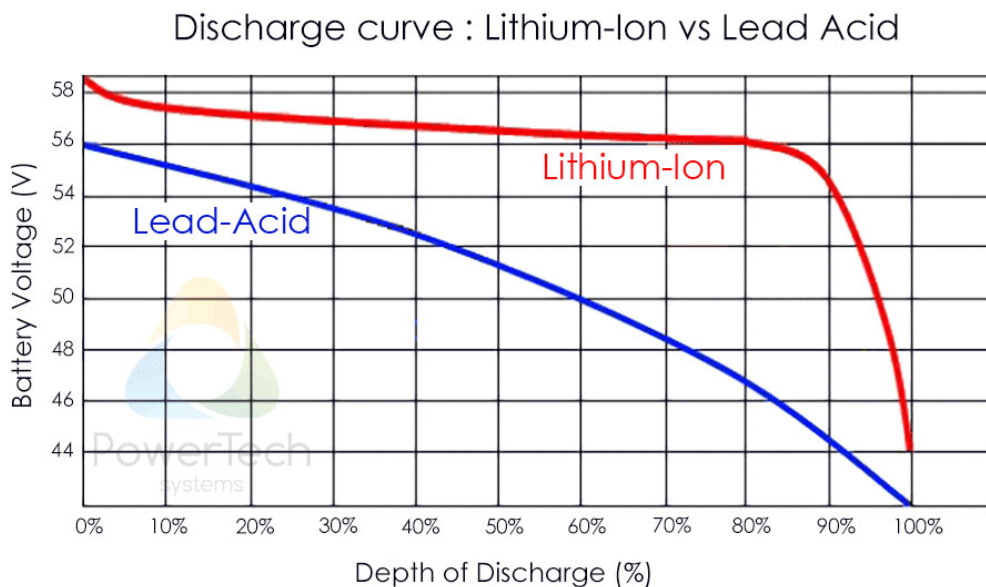


ภาพ 78 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตขณะชาร์จ

จากภาพที่ 78 และตารางที่ 10 แสดงอุณหภูมิขณะชาร์จของแบตเตอรี่ จะเห็นว่า อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 20 – 30 องศาเซลเซียส (°C) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต ต่ำกว่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดอย่างมีนัยยะ

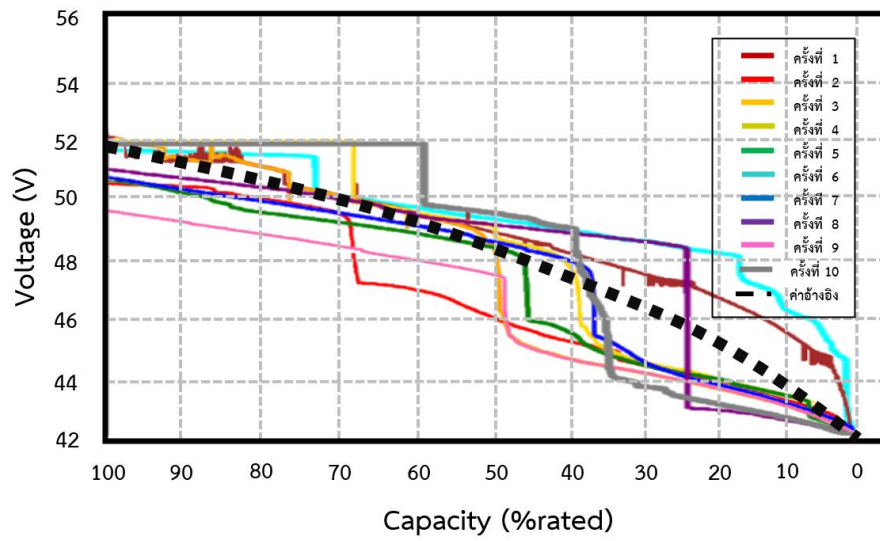
## การเปรียบเทียบค่าตีสชาร์จ และชาร์จในห้องปฏิบัติการกับค่าอ้างอิง

### การเปรียบเทียบค่าตีสชาร์จกับค่าอ้างอิง

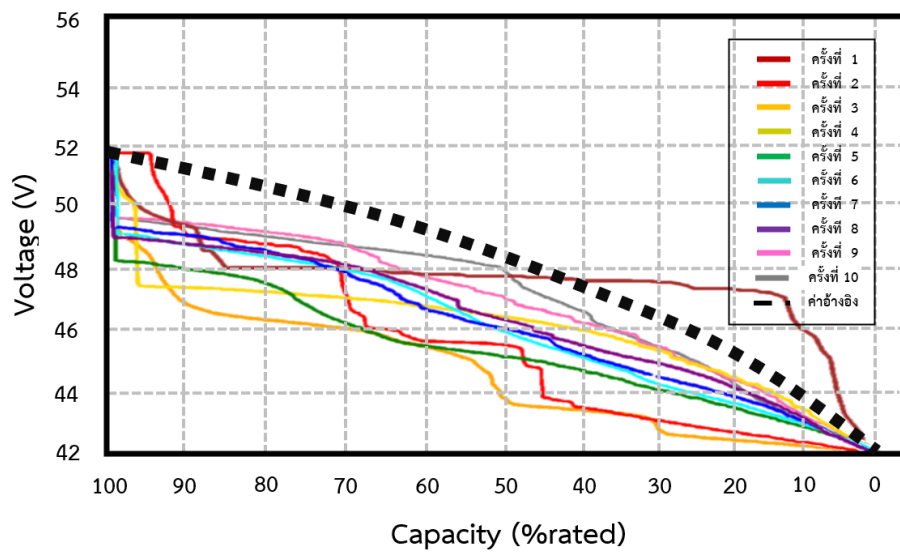


ภาพ 79 แสดงการตีสชาร์จของแบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ชนิดต่าง ๆ [41]

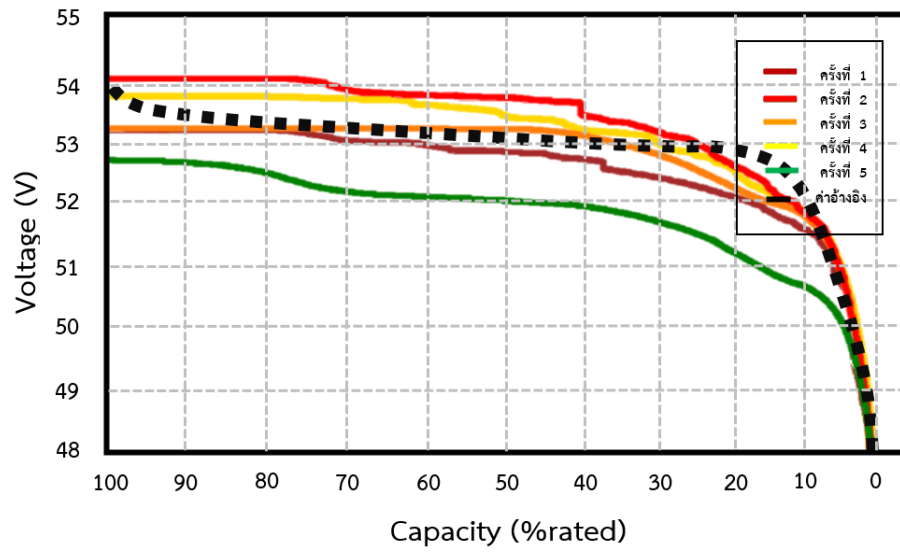
จากภาพที่ 79 เป็นกราฟแสดงการตีสชาร์จของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด และแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟตีสชาร์จในห้องปฏิบัติการจะเห็นว่าค่าที่ได้ไม่ใกล้เคียงกับค่าที่อ้างอิงเนื่องจาก ขณะใช้งานในห้องปฏิบัติการมอเตอร์จะดึงกระแสจากแบตเตอรี่น้อยกว่าขณะมีโหลด (การใช้งานจริง) ทำให้กราฟตีสชาร์จในห้องปฏิบัติการ กระแสจะตกลงต่ำกว่าค่าอ้างอิง กราฟตีสชาร์จเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดทั้ง 2 ชุด และแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต แสดงดังภาพที่ 80, 81 และ 82 ตามลำดับ



ภาพ 80 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ



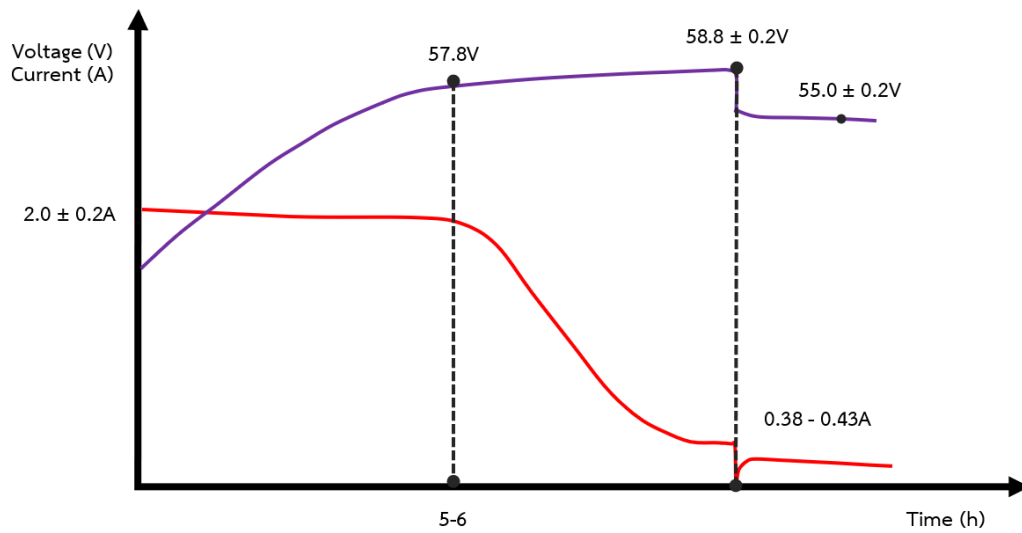
ภาพ 81 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว



ภาพ 82 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน

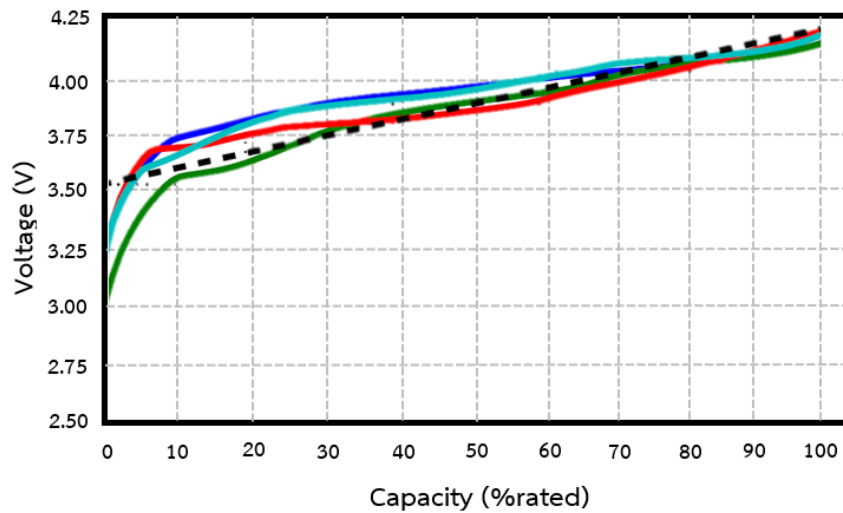
ฟอสเฟต

การเปรียบเทียบค่าชาร์จกับค่าอ้างอิง



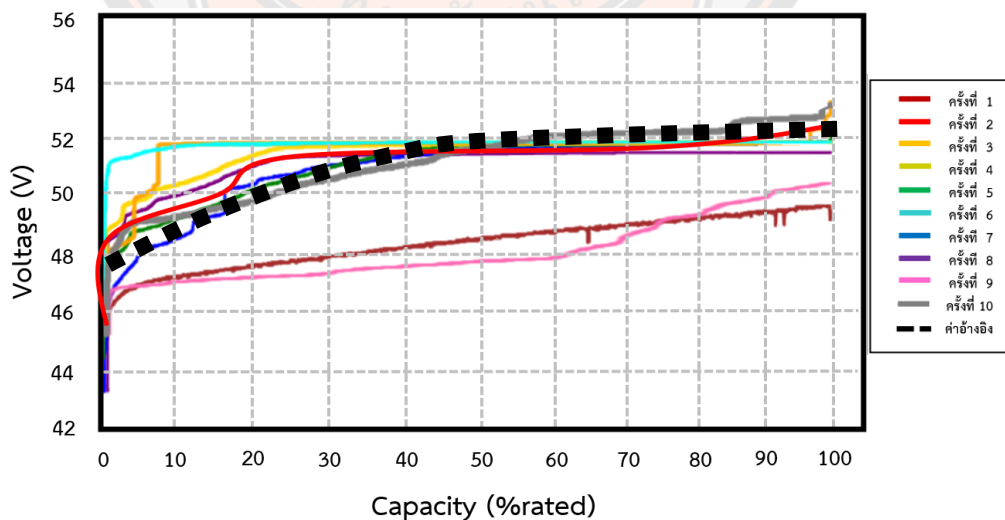
ภาพ 83 แสดงการชาร์จของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด แบ่งระยะการชาร์จเป็น 3 ระยะ [3, 20, 2]



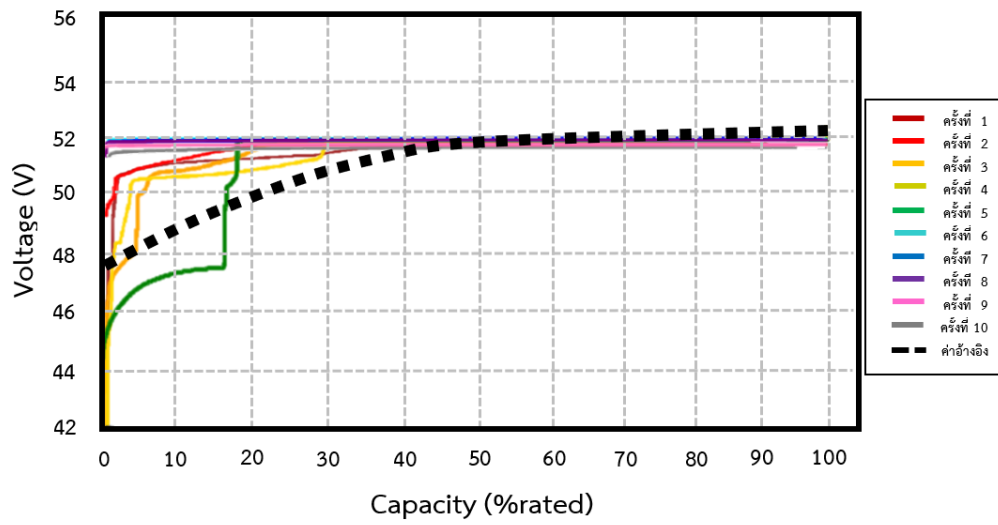


ภาพ 84 State of charge (%) ของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต [22]

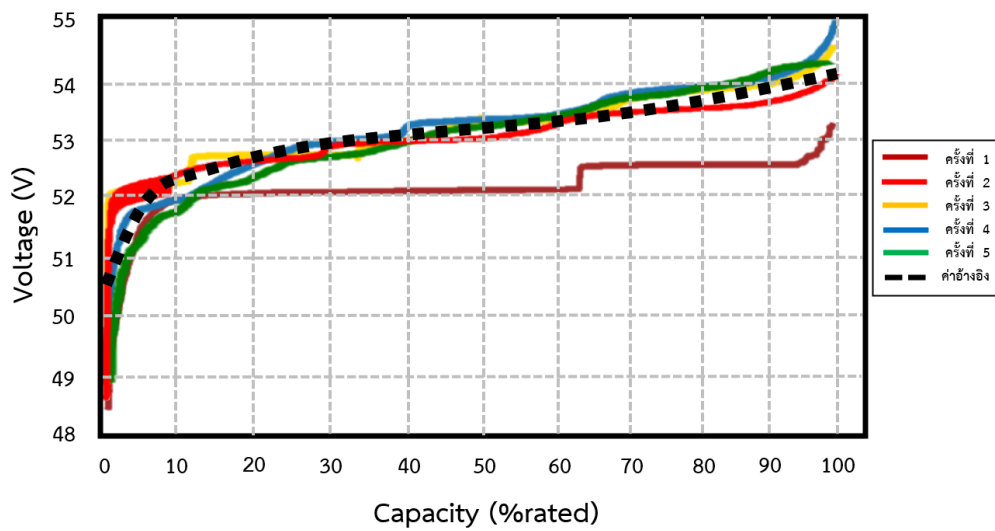
จากภาพที่ 83 และ 84 เป็นกราฟแสดงการชาร์จของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด และ แบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟชาร์จในห้องปฏิบัติการ จะเห็นว่าค่าที่ได้ในการชาร์จบางครั้งไม่ใกล้เคียงกับค่าที่อ้างอิงเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความผิดพลาดของอุปกรณ์ หรืออุณหภูมิห้องขณะการชาร์จ ทำให้กราฟที่ได้อาจมีค่าความผิดพลาดไปจากค่าอ้างอิง กราฟชาร์จเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดทั้ง 2 ชุด และแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต แสดงดังภาพที่ 85, 86 และ 87 ตามลำดับ



ภาพ 85 กราฟชาร์จเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ



ภาพ 86 กราฟชาร์จเปรียบเทียบค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด  
ที่เสื่อมสภาพแล้ว



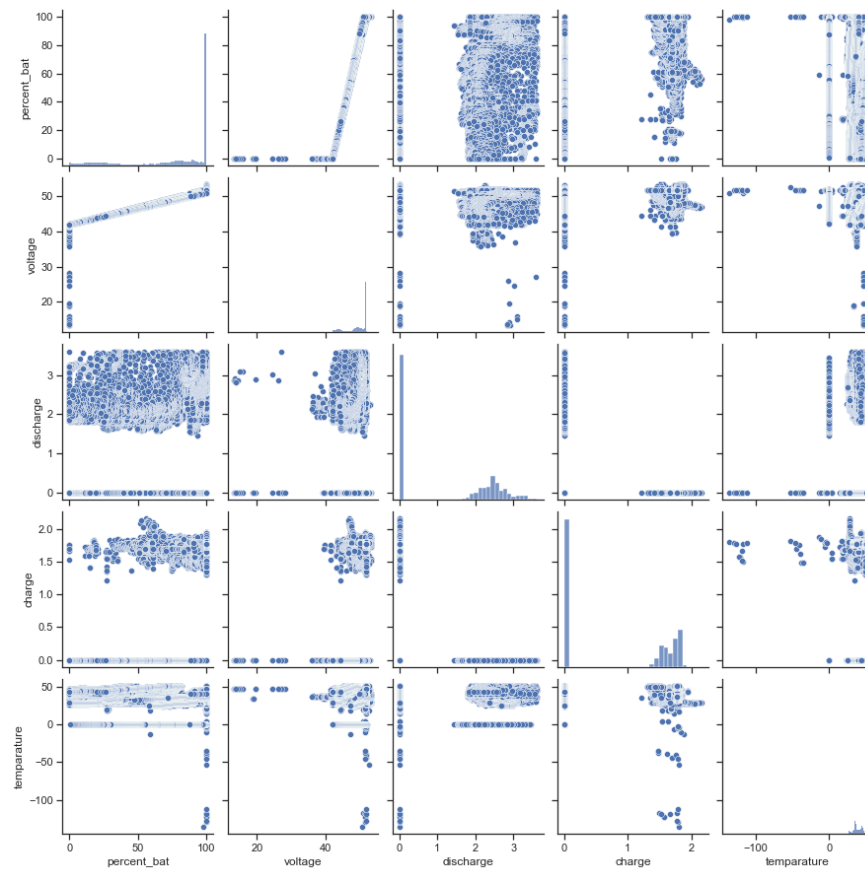
ภาพ 87 กราฟชาร์จเปรียบเทียบค่าอ้างอิงในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน  
ฟอสเฟต

### การกำจัดข้อมูลที่มีค่าผิดปกติด้วยวิธี IQR

ข้อมูลสำหรับการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ได้แก่ ระดับแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าในสถานะชาร์จ, กระแสไฟฟ้าในสถานะดิสชาร์จ และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะใช้งานของแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิด (แบตเตอรี่ตะกั่วกรด และลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต) ในส่วนต่อมาทางผู้วิจัยจะแนะนำข้อมูลที่ใช้สำหรับการทดสอบแบบจำลอง โดยใช้ Jupyter Lab [42] ค่าสถิติตัวแปรที่ได้แสดงดังตารางที่ 11, 12 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังภาพที่ 88, 89 ตามลำดับ

ตาราง 11 ผลลัพธ์สถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรต่อเนื่องของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (ก่อนกำจัดค่าผิดปกติ)

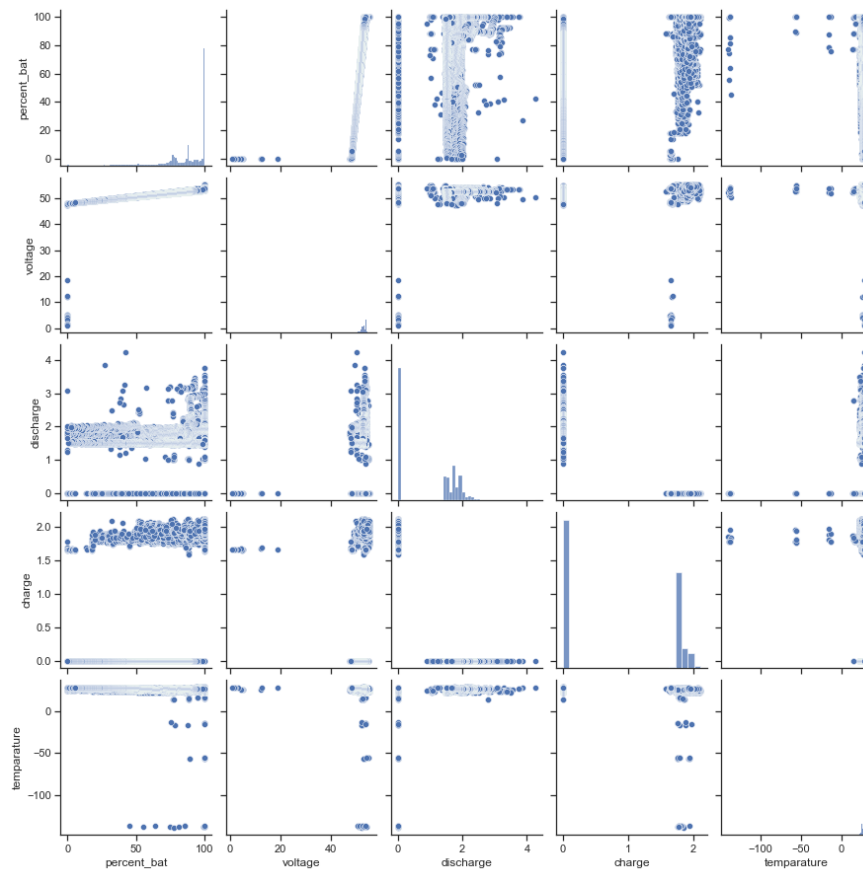
	Percent Battery	Voltage	Discharge	Charge	Temperature
count	90258	90258	90258	90258	90258
mean	76.88	49.25	1.21	0.79	36.96
std	31.34	3.14	1.28	0.84	9.60
min	0.00	13.36	0.00	0.00	-136.11
25%	65.08	47.94	0.00	0.00	34.45
50%	94.19	50.56	0.00	0.00	37.09
75%	100.00	51.73	2.47	1.69	43.69
max	100.00	53.42	3.61	2.16	50.87



ภาพ 88 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (ก่อนกำจัดค่าผิดปกติ)

ตาราง 12 ผลลัพธ์สถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรต่อเนื่องของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (ก่อนกำจัดค่าผิดปกติ)

	Percent Battery	Voltage	Discharge	Charge	Temperature
count	48551	48551	48551	48551	48551
mean	87.98	52.83	0.93	0.85	26.04
std	16.00	1.28	0.90	0.90	3.50
min	0.00	1.00	0.00	0.00	-139.67
25%	79.13	52.21	0.00	0.00	25.07
50%	93.79	52.97	1.50	0.00	26.05
75%	100.00	53.55	1.76	1.79	27.31
max	100.00	55.35	4.25	2.11	29.91

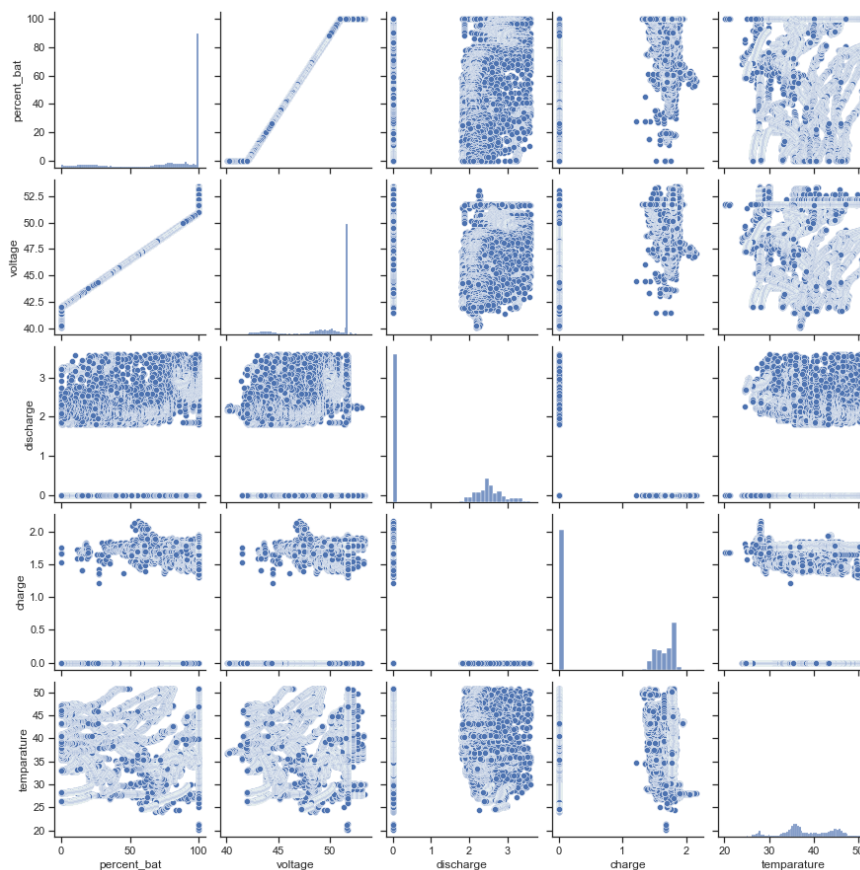


ภาพ 89 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ฟอสเฟต (ก่อนกำจัดการผิดปกติ)

จากตารางที่ 11 และ 12 แสดงสถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรต่อเนื่องก่อนทำการกำจัดค่าผิดปกติ เมื่อดูที่ค่าสูงสุด (Min) ของตัวแปร Voltage ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีค่า 13.36 โวลต์ (V) และของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตมีค่า 1 โวลต์ (V) ซึ่งมีความเกินกว่าความเป็นจริง เกิดจากความผิดพลาดในการเก็บค่าของอุปกรณ์ต้นแบบ หลังจากทำการกำจัดค่าผิดปกติด้วยวิธี IQR ได้ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของตัวแปร และกราฟแสดงดังตารางที่ 13, 14 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังภาพที่ 90, 91 ตามลำดับ

ตาราง 13 ผลลัพธ์สถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรต่อเนื่องของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (หลังกำจัดค่าผิดปกติ)

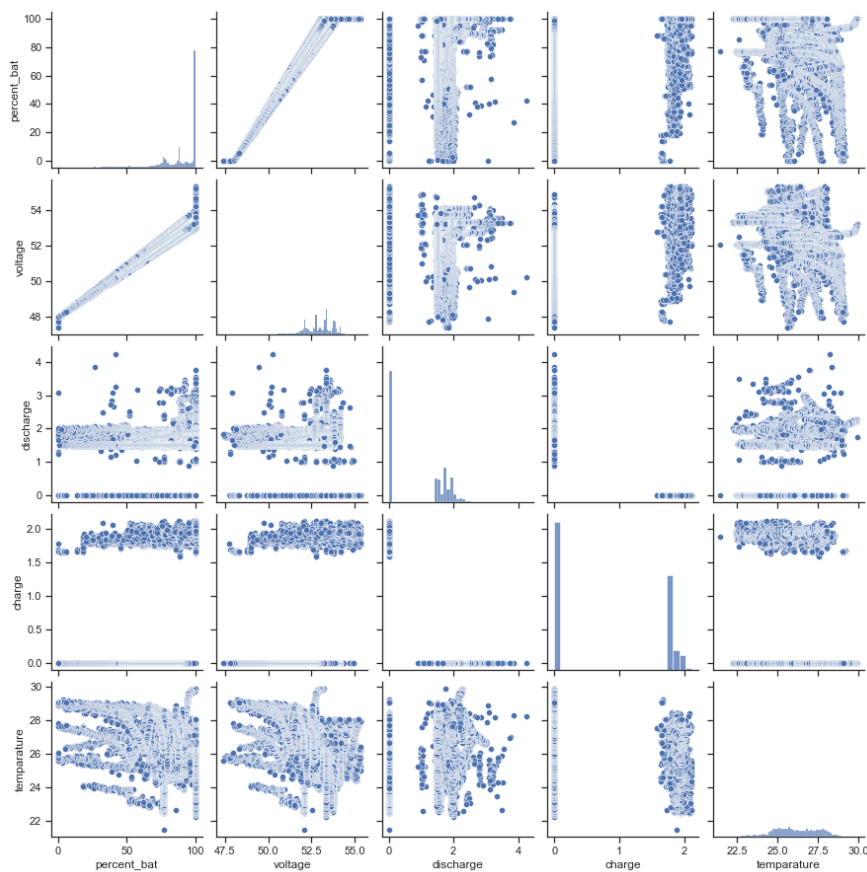
	Percent Battery	Voltage	Discharge	Charge	Temperature
count	86525	86525	86525	86525	86525
mean	77.47	49.31	1.18	0.82	38.46
std	31.40	3.08	1.29	0.84	5.95
min	0.00	40.04	0.00	0.00	20.05
25%	67.30	48.06	0.00	0.00	34.89
50%	96.29	50.67	0.00	0.00	37.43
75%	100.00	51.74	2.48	1.71	43.91
max	100.00	53.42	3.61	2.16	50.87



ภาพ 90 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (หลังกำจัดค่าผิดปกติ)

ตาราง 14 ผลลัพธ์สถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรต่อเนื่องของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต  
(หลังกำจัดค่าผิดปกติ)

	Percent Battery	Voltage	Discharge	Charge	Temperature
count	48454	48454	48454	48454	48454
mean	88.00	52.84	0.94	0.85	26.12
std	15.94	1.025	0.90	0.90	1.41
min	0.00	47.40	0.00	0.00	21.43
25%	79.13	52.21	0.00	0.00	25.07
50%	93.78	52.97	1.50	0.00	26.09
75%	100.00	53.55	1.76	1.79	27.31
max	100.00	55.35	4.25	2.11	29.91



ภาพ 91 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต (หลังกำจัดค่าผิดปกติ)

## ผลลัพธ์ที่ได้จากปัญญาประดิษฐ์

### ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่

ในการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ พารามิเตอร์จำนวนหนึ่งสามารถสะท้อนถึงปริมาณพลังงานในแบตเตอรี่ได้ Zi Cheng Fei, Fang Fang Yang, Kwok Leung Tsui, Li Shuai Li, and Zijun Zhang [3] ได้นำเสนอการประมาณค่าอายุการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Li-ion) จากการศึกษาแบตเตอรี่กลุ่มตัวอย่างขนาด 3.6 โวลต์จำนวน 124 ก้อน จากฐานข้อมูล MIT Dataset โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการประมาณค่าอายุการใช้งานแบตเตอรี่ ได้แก่ กระแสชาร์จ (Charge), กระแสดีสชาร์จ (Discharge), อุณหภูมิ (Temperature), ค่าความจุแบตเตอรี่ (Capacity) และความต้านทานภายใน (Internal resistance) โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สามารถแยกคุณสมบัติออกเป็นคุณสมบัติย่อยจำนวน 42 รายการ ในการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้น ทางผู้วิจัยได้อ้างอิงค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ ได้แก่ กระแสชาร์จ (Charge), กระแสดีสชาร์จ (Discharge), อุณหภูมิ (Temperature) และแรงดันแบตเตอรี่ (Voltage) ที่จะนำมาใช้ในระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ โดยการเลือกจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- ความง่ายในวัดค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ อีกทั้งยังเป็นค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่ใช้ในการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ในงานวิจัยอย่างแพร่หลาย

- ความต้านทานภายในที่ไม่เลือกใช้เนื่องจาก แบตเตอรี่ทั่วไปตามท้องตลาด มีหลายยี่ห้อ ถึงแม้จะเป็นแบตเตอรี่ชนิดเดียวกัน ความจุเท่ากัน ก็อาจจะไม่ได้มีคุณลักษณะ (Characteristics) หรือความต้านทานที่เท่ากันเสมอไป เหมือนกับในงานวิจัยข้างต้นที่

- ในการเก็บค่าพารามิเตอร์ให้ได้ตามงานวิจัยข้างต้นจำเป็นต้องเก็บค่าพารามิเตอร์ตั้งแต่ครั้งแรกที่ใช้งานแบตเตอรี่ จึงไม่เลือกใช้เนื่องจากต้องการให้โมเดลต้นแบบสามารถใช้งานได้กับแบตเตอรี่อายุเท่าไรก็ได้



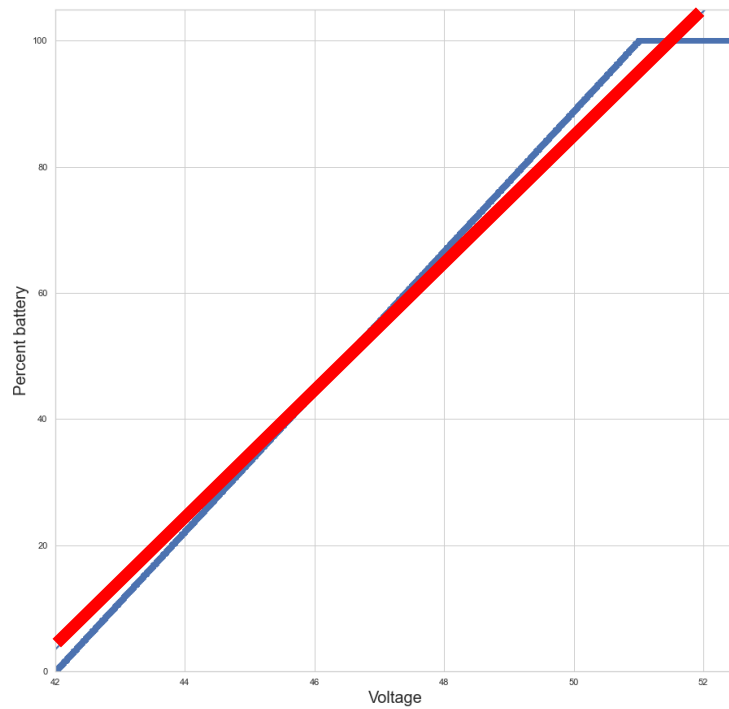
### การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression)

งานวิจัยนี้เป็นเรื่องเกี่ยวกับการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่รถไฟฟ้าในแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานที่แตกต่างกัน ทางผู้วิจัยได้ใช้วิธีการต้นแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) [31, 32] ในการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ มีสมการของระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้า ดังนี้

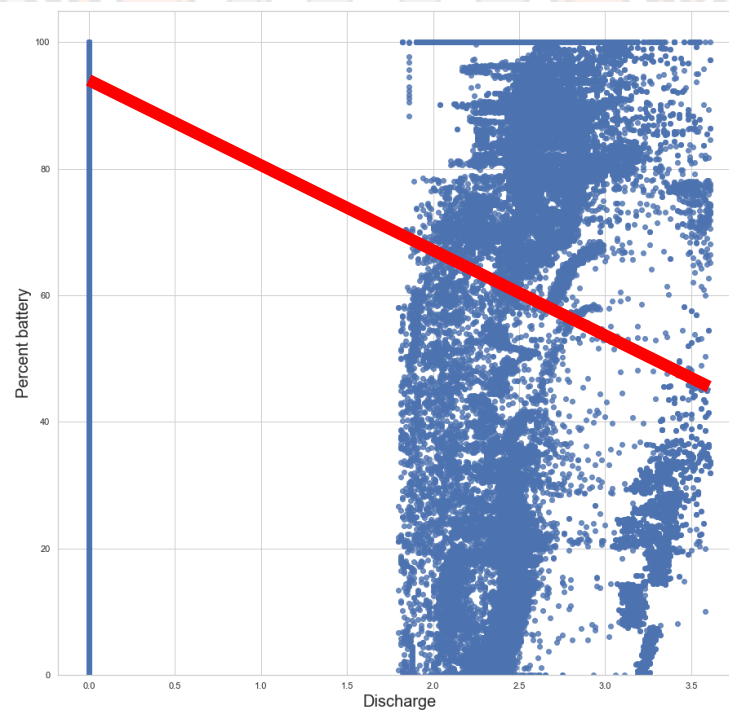
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon \quad (10)$$

โดยที่  $\beta_0$  ถึง  $\beta_4$  เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่รู้จักในแบบจำลอง เรียกว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย  $\varepsilon$  เป็นค่าความผิดพลาดแบบสุ่ม นับเป็นตัวแปรตามการคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า  $X_1$  ถึง  $X_4$  เป็นตัวแปรอิสระ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพลังงานในแบตเตอรี่ตามลำดับ ได้แก่ : ระดับแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าในสถานะชาร์จ, กระแสไฟฟ้าในสถานะดิสชาร์จ และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน แบบจำลองการถดถอยข้างต้นได้รับการกำหนดแล้ว

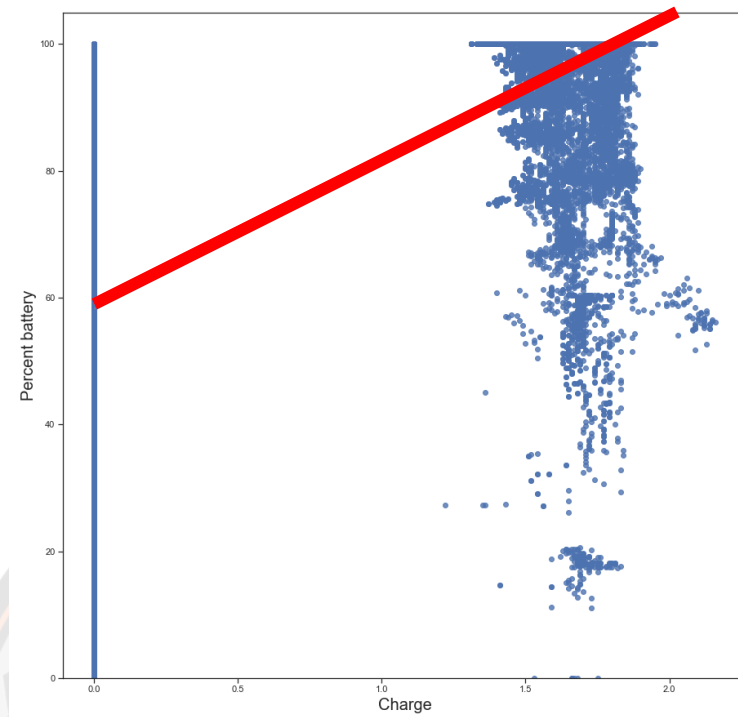
ผู้วิจัยใช้ Jupyter Lab [42] สำหรับตัวแปรต่อเนื่องกับความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างชุดข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98 และ 99 ตามลำดับ ตามการเปรียบเทียบพลังงานในแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิด (แบตเตอรี่ตะกั่วกรด และลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต) กับปัจจัย 4 ประการที่ส่งผลต่อการคาดการณ์ เราสามารถค้นหาว่าปัจจัยเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานในแบตเตอรี่ ภาพที่ 92, 96 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้ากับพลังงานในแบตเตอรี่, ภาพที่ 93, 97 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในสถานะดิสชาร์จกับพลังงานในแบตเตอรี่, ภาพที่ 94, 98 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในสถานะชาร์จกับพลังงานในแบตเตอรี่ และท้ายที่สุดในภาพที่ 95, 99 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแบตเตอรี่กับพลังงานในแบตเตอรี่



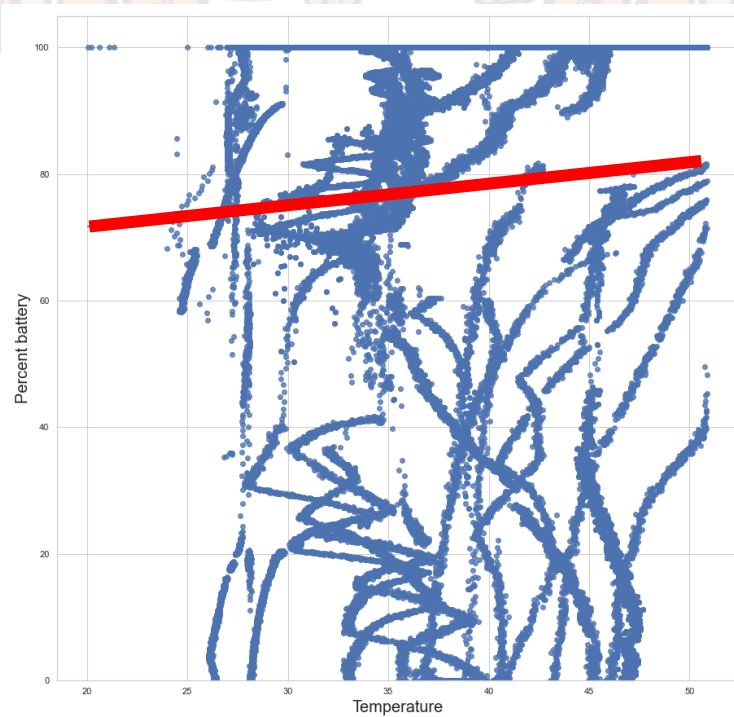
ภาพ 92 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้า กับพลังงานในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด



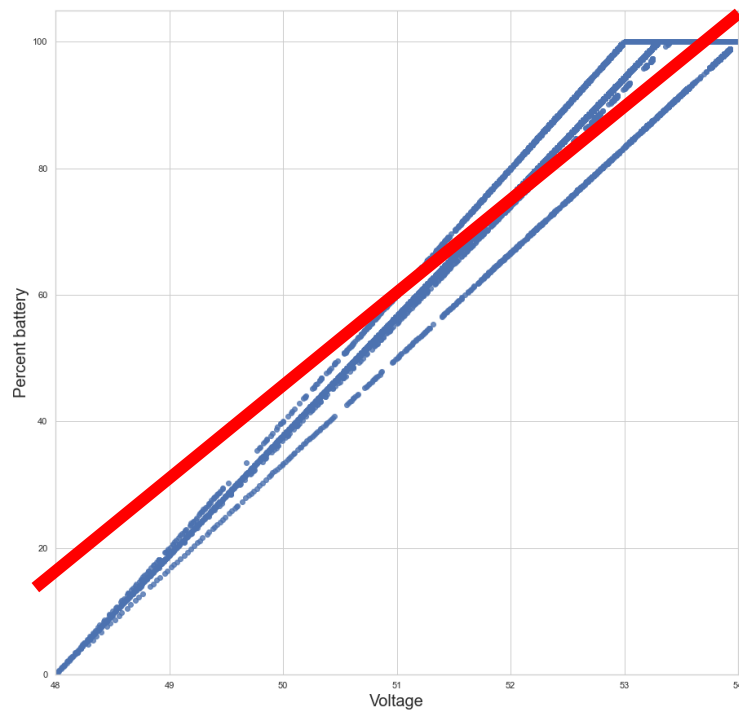
ภาพ 93 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในสถานะดิสชาร์จ กับพลังงานในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด



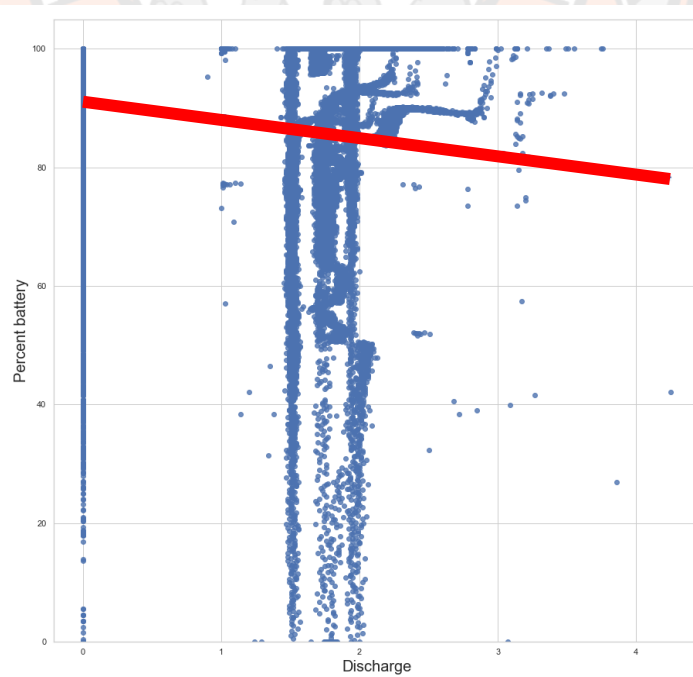
ภาพ 94 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในสถานะชาร์จ กับพลังงานในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด



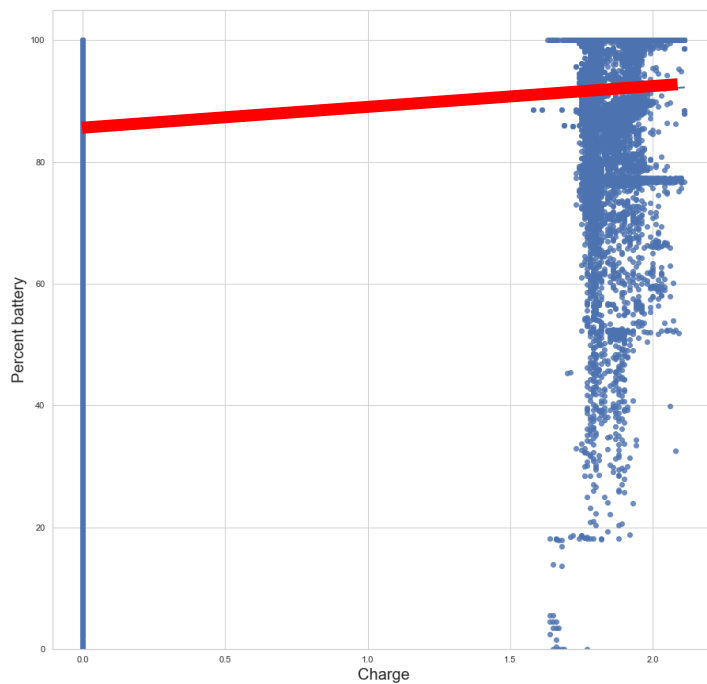
ภาพ 95 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับพลังงานในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด



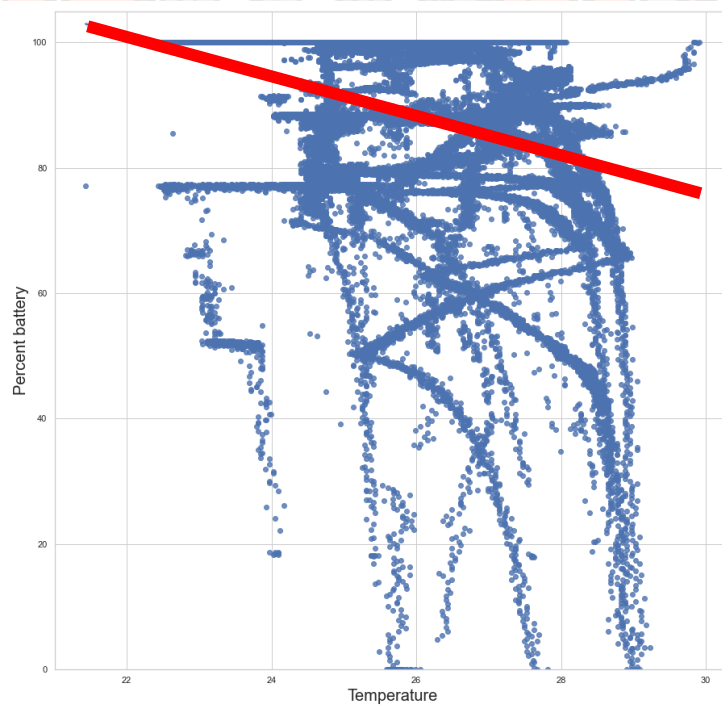
ภาพ 96 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้า กับพลังงานในแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต



ภาพ 97 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในสถานะดิสชาร์จ กับพลังงานในแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต



ภาพ 98 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในสถานะชาร์จ กับพลังงานในแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต



ภาพ 99 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับพลังงานในแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

จากการวิเคราะห์ข้างต้น การใช้ Jupyter Lab [42] สำหรับตัวแปรหลายตัว การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นสามารถแสดงเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นพหุตัวแปร ทั้งก่อน และหลัง กำจัดค่าผิดปกติสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

#### สมการถดถอยเชิงเส้นพหุตัวแปร สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

$$\text{Percent Battery (Before)} = -415.778 + 0.775X_1 + 0.358X_2 + 9.928X_3 + 0.064X_4 \quad (11)$$

$$\text{Percent Battery (After)} = -435.664 + 0.769X_1 - 0.620X_2 + 10.421X_3 - 0.031X_4 \quad (12)$$

และสามารถแสดงเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นพหุตัวแปร ทั้งก่อน และหลังกำจัดค่าผิดปกติสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน พอสเฟต

#### สมการถดถอยเชิงเส้นพหุตัวแปร สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน พอสเฟต

$$\text{Percent Battery (Before)} = -437.888 + 3.665X_1 + 4.453X_2 + 9.885X_3 - 0.141X_4 \quad (13)$$

$$\text{Percent Battery (After)} = -689.200 + 1.601X_1 - 1.107X_2 + 14.719X_3 - 0.121X_4 \quad (14)$$

จากสมการถดถอยเชิงเส้นของแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิด สามารถสรุปการประเมินแบบจำลองดังตารางที่ 15 และ 16 ตามลำดับ มีค่า  $R^2$  score ก่อนกำจัดค่าผิดปกติของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด และแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน พอสเฟตคือ 0.972 และ 0.656 ตามลำดับ มีค่า MAE เท่ากับ 2.575 และ 5.112 มีค่า MSE เท่ากับ 27.481 และ 88.006 เมื่อเปรียบเทียบหลังกำจัดค่าผิดปกติคือ 0.992 และ 0.894 ความหมายคือ Model มีความแม่นยำถูกต้องของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ประมาณ 99% ถือว่าตัวโมเดลมีความแม่นยำมากขึ้นหลังจากกำจัดค่าผิดปกติด้วยวิธี IQR แต่ในส่วน of แบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน พอสเฟต มีความแม่นยำถูกต้องของ ประมาณ 89% ซึ่งยังไม่เป็นที่น่าพอใจ อีกทั้งมีค่า MAE ที่ได้ประมาณ 3.921 ซึ่งยังมีค่าไม่เข้าใกล้ 0 ถือว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย แต่แยกกว่านั้นใน MSE ค่าที่ได้ประมาณ 26.742 ซึ่งถือว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูง

ตาราง 15 สรุปประเมินแบบจำลองของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

Model	R Square	Mean Absolute Error	Mean Squared Error
ก่อนกำจัดค่าผิดปกติ	0.972	2.575	27.481
หลังกำจัดค่าผิดปกติ	0.992	2.083	7.513

**ตาราง 16** สรุปประเมินแบบจำลองของแบบเตอร์ชนิดลิเทียม ไอออน พอสเฟต

Model	R Square	Mean Absolute Error	Mean Squared Error
ก่อนกำจัดค่าผิดปกติ	0.656	5.112	88.006
หลังกำจัดค่าผิดปกติ	0.894	3.921	26.742

จากตารางที่ 15 และ 16 ตามสมการถดถอยเชิงเส้นพหุตัวแปรที่ได้กล่าวมาข้างต้น เราคาดการณ์ข้อมูลชุดทดสอบ และความแม่นยำในการทำนายประมาณ 99% และ 89% ผลการทดสอบ แม้ว่าในส่วนของแบบจำลองแบบเตอร์ชนิดตะกั่วกรดจะให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ แต่ในส่วนของแบบจำลองแบบเตอร์ชนิดลิเทียม ไอออน พอสเฟต มีค่า MSE ประมาณ 26.742 ถือว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูง แสดงให้เห็นถึงชุดข้อมูลยังมีค่าเกินกว่า หรือต่ำกว่า Outlier ของชุดข้อมูลอยู่พอสมควร โดยค่าที่ผิดพลาดนั้นสาเหตุอาจจะเกิดมาจาก ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล และข้อมูลบางส่วนไม่ได้ถูกบันทึก เช่น ใน วินาทีที่ 1 วินาทีที่ 2 และวินาทีที่ 3 อีกทั้งการเก็บค่าข้อมูลทั้งสถานะชาร์จ และดิชาร์จเพียง 5 ครั้ง ซึ่งน้อยกว่าการเก็บค่าข้อมูลของแบบเตอร์ตะกั่วกรดที่ 10 ครั้ง อาจไม่เพียงพอต่อการฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ

### โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN)

วิธีโครงข่ายประสาทเทียมได้รับความนิยมในการใช้งานที่หลากหลาย รวมทั้งในการวิจัยพยากรณ์แบบเตอร์ โดยทางผู้วิจัยใช้วิธี feed-forward neural network (FFNN) [3] ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่มีโครงสร้างไม่เกินสามชั้นที่โดยจะแบ่ง Perceptron ออกเป็นกลุ่มๆ โดยแต่ละกลุ่มจะเรียกเป็น Layer โดยข้อมูลที่เข้ามาจะไหลไปในทิศทางเดียว ไม่ไหลย้อนกลับ จาก Layer หนึ่งสู่อีก Layer หนึ่ง

#### 1. รูปแบบฟังก์ชันถ่ายโอน

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนที่ชื่นชอบ ได้แก่ ฟังก์ชัน Linear Activation, ฟังก์ชัน Sigmoid (Logistic function) และฟังก์ชัน TanH (Hyperbolic Tangent Activation Function) โดยกำหนดให้โครงข่ายประสาทเทียมมีจำนวนชั้นซ่อน 10 ชั้น, 4 อินพุต และ 1 เอาต์พุตโดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน Linear Activation สำหรับการทดสอบแสดงค่าดังตารางที่ 17

ตาราง 17 การเปรียบเทียบรูปแบบฟังก์ชันถ่ายโอน

Model	Transfer Function		R Square	Mean Absolute Error	Mean Squared Error
	Hidden Layer	Output Layer			
1	Linear	Linear	0.993	1.981	6.956
2	Sigmoid	Linear	0.993	0.383	0.512
3	TanH	Linear	0.993	0.377	0.321

จากตารางที่ 17 เมื่อพิจารณาค่าความแม่นยำ (R Square) ของแต่ละรูปแบบจะเห็นได้ว่าแต่ละรูปแบบมีความแม่นยำที่เท่ากัน เมื่อพิจารณาค่า MAE และ MSE จะเห็นว่ารูปแบบที่ 3 จะมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือรูปแบบที่ 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาในภาพรวมทั้งหมด จึงใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ TanH ในชั้นซ่อน และใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน Linear Activation ในชั้นเอาต์พุต

## 2. จำนวนชั้นซ่อน (Hidden Layer)

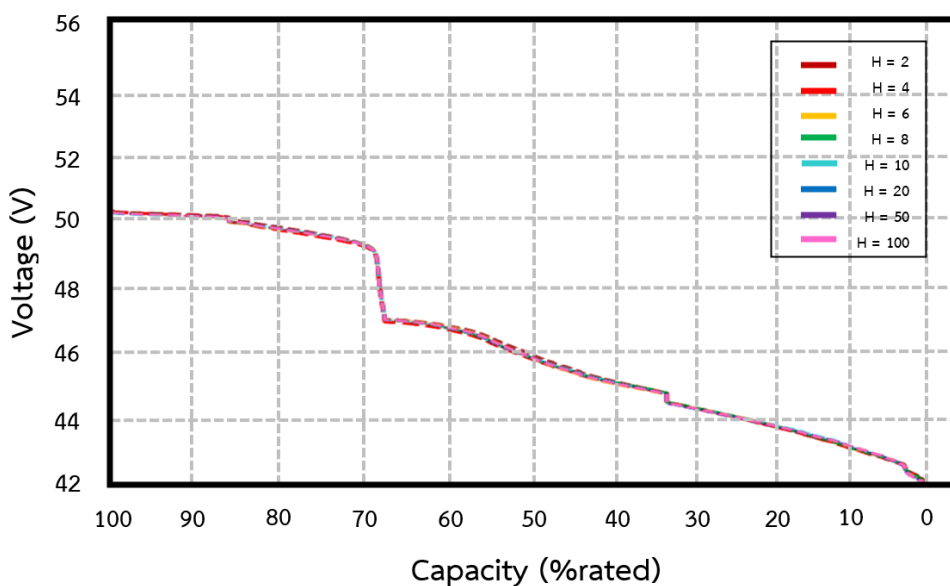
ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบจำนวนชั้นซ่อนจากจำนวน 4 อินพุต โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบ feed-forward (FFNN) ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ TanH และ 1 เอาต์พุตโดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน Linear Activation สำหรับการทดสอบแสดงค่าดังตารางที่ 18

ตาราง 18 การเปรียบเทียบจำนวนชั้นซ่อน

จำนวนชั้นซ่อน	R Square	Mean Absolute Error	Mean Squared Error
2	0.993	0.432	0.441
4	0.993	0.282	0.192
6	0.993	0.209	0.103
8	0.993	0.202	0.101
10	0.993	0.170	0.075
20	0.993	0.172	0.078
50	0.993	0.176	0.083
100	0.993	0.183	0.084



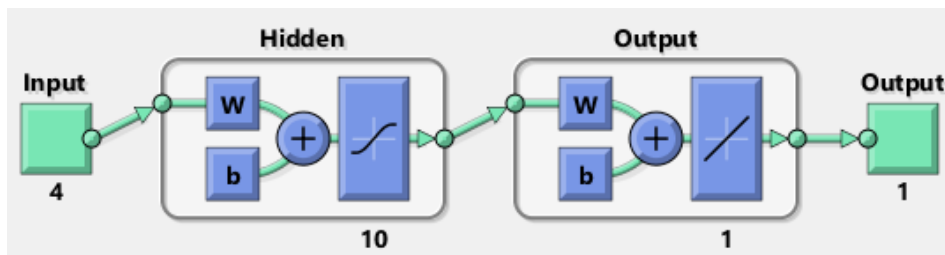
จากตารางที่ 18 เมื่อพิจารณาค่าความแม่นยำ (R Square) ของแต่ละจำนวนชั้นซ่อนจะเห็นได้ว่าแต่ละรูปแบบมีความแม่นยำที่เท่ากัน เมื่อพิจารณาค่า MAE และ MSE จะเห็นว่าจำนวน 10 ชั้นซ่อนจะมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือจำนวน 20, 50, 100, 8, 6, 4 และ 2 ชั้นซ่อนตามลำดับ และสามารถนำโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละชั้นมาคาดการณ์พลังงานในแบตเตอรี่ซึ่งค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน แสดงดังภาพที่ 100 ดังนั้นเมื่อพิจารณาในภาพรวมจำนวนชั้นซ่อนที่ดีที่สุดสำหรับการศึกษาในครั้งนี้คือจำนวน 10 ชั้น



ภาพ 100 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของแต่ละชั้นที่ได้จากการคาดการณ์การเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ

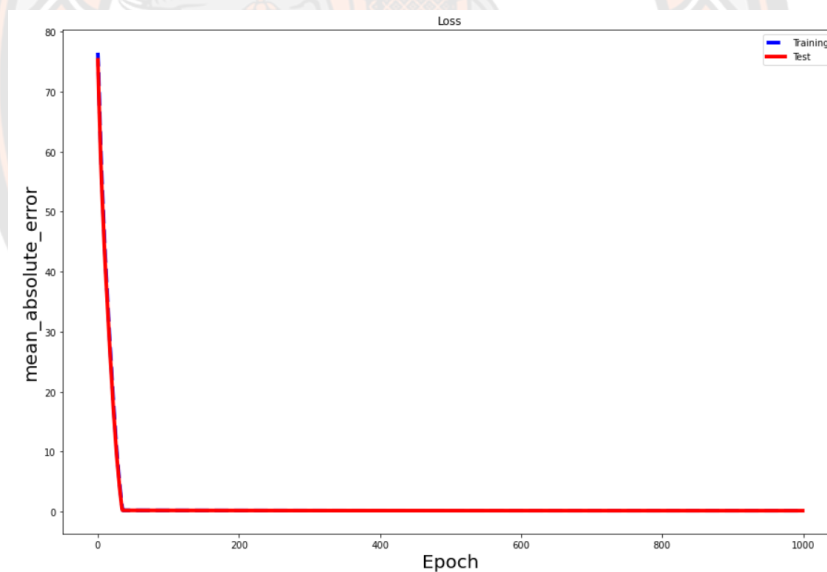
### 3. การสร้างแบบจำลองระบบต้นแบบ

หลังจากที่ได้ทำการศึกษา รูปแบบฟังก์ชันถ่ายโอน จำนวนชั้นซ่อน ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสร้างแบบจำลองแล้ว ในส่วนต่อมาจะเป็นการสร้างแบบจำลองของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบ feed-forward (FFNN) จากจำนวน 4 อินพุต ประกอบด้วย ระดับแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าในสถานะชาร์จ, กระแสไฟฟ้าในสถานะดิสชาร์จ และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ TanH ที่ชั้นซ่อนจำนวน 10 ชั้น และ 1 เอาต์พุตโดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน Linear Activation แสดงดังภาพที่ 101

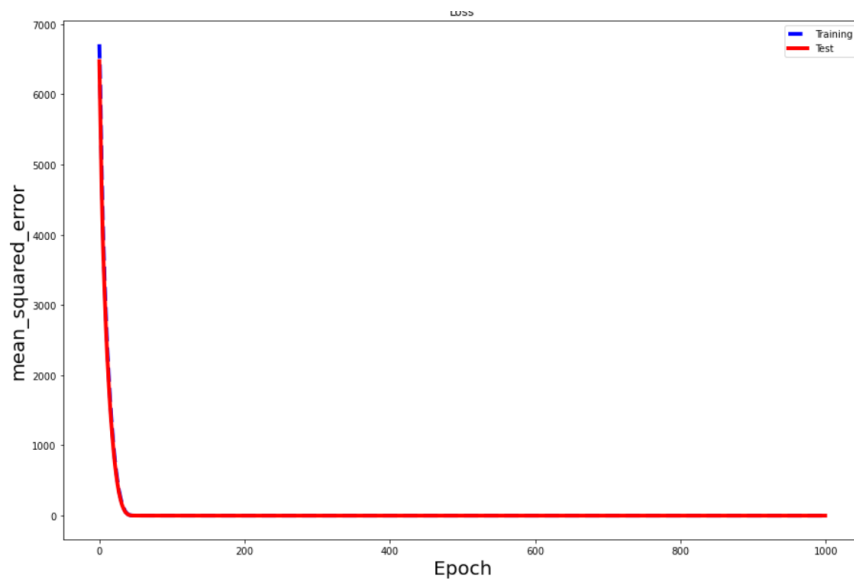


ภาพ 101 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

จากการวิเคราะห์ข้างต้น การใช้ Jupyter Lab [42] โดยแบ่งเป็นข้อมูลสำหรับฝึกฝน ( $X_{train}, y_{train}$ ) และทดสอบ ( $X_{test}, y_{test}$ ) สำหรับโมเดลต้นแบบเป็น 85% และ 15% ตามลำดับ สำหรับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถสรุปผลการทดสอบแบบจำลองเป็นรูปแบบของกราฟแสดงประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้เวลาฝึกฝนจำนวน 1000 รอบสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด แสดงดังภาพที่ 102 และ 103 ตามลำดับ

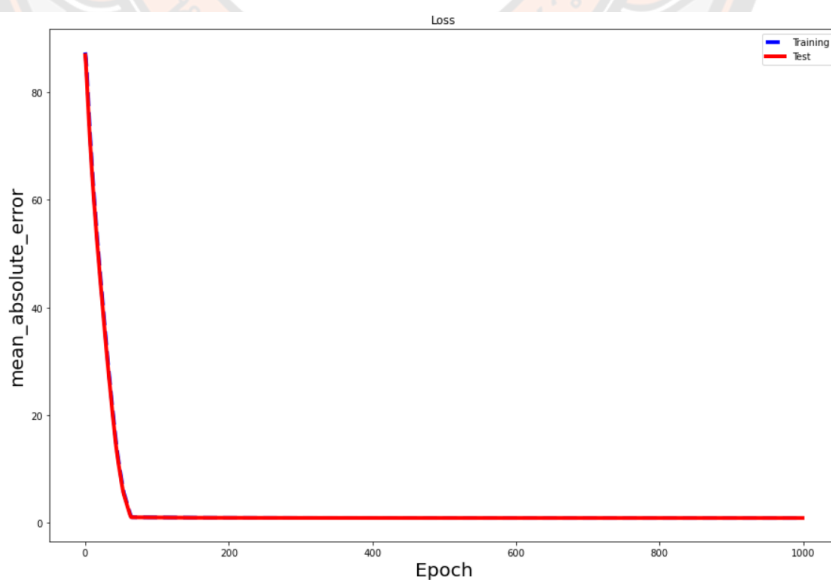


ภาพ 102 กราฟแสดงค่า MAE ของโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อผ่านการฝึกฝนจำนวน 1000 รอบ

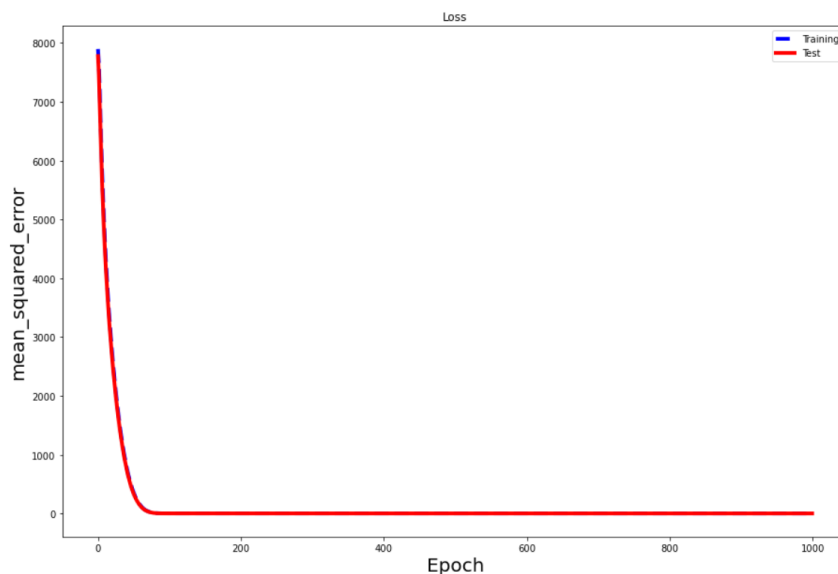


ภาพ 103 กราฟแสดงค่า MSE ของโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อผ่านการฝึกฝนจำนวน 1000 รอบ

และสามารถสรุปผลการทดสอบแบบจำลองเป็นรูปแบบของกราฟแสดงประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้เวลาฝึกฝนจำนวน 1000 รอบ สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต แสดงดังภาพที่ 104 และ 105 ตามลำดับ



ภาพ 104 กราฟแสดงค่า MAE ของโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อผ่านการฝึกฝนจำนวน 1000 รอบ



ภาพ 105 กราฟแสดงค่า MSE ของโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อผ่านการฝึกฝนจำนวน 1000 รอบ

จากการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิดสามารถสรุปการประเมินแบบจำลองสำหรับชุดข้อมูลฝึกฝนดังตารางที่ 19 และ 20 ตามลำดับ มีค่า  $R^2$  score ก่อนกำจัดค่าผิดปกติของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด และแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตคือ 0.971 และ 0.679 ตามลำดับ มีค่า MAE เท่ากับ 0.261 และ 0.889 มีค่า MSE เท่ากับ 0.148 และ 4.638 เมื่อเปรียบเทียบหลังกำจัดค่าผิดปกติคือ 0.993 และ 0.898 หมายความว่า Model มีความแม่นยำถูกต้องของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ประมาณ 99% ถือว่าตัวโมเดลมีความแม่นยำมากขึ้นหลังจากกำจัดค่าผิดปกติด้วยวิธี IQR แต่ในส่วนของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต มีความแม่นยำถูกต้องของ ประมาณ 89% มีค่า MAE และ MSE ที่ได้ประมาณ 1.133 และ 3.681 ตามลำดับ ซึ่งยังมีค่าไม่เข้าใกล้ 0 ถือว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

ตาราง 19 สรุปประเมินแบบจำลองของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

model	R Square	Mean Absolute Error	Mean Squared Error
ก่อนกำจัดค่าผิดปกติ	0.971	0.261	0.148
หลังกำจัดค่าผิดปกติ	0.993	0.170	0.075

ตาราง 20 สรุปประเมินแบบจำลองของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

model	R Square	Mean Absolute Error	Mean Squared Error
ก่อนกำจัดค่าผิดปกติ	0.679	1.175	4.638
หลังกำจัดค่าผิดปกติ	0.898	1.103	3.681

จากตารางที่ 19 และ 20 ตามแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิดที่ได้กล่าวมาข้างต้น เราคาดการณ์ข้อมูลชุดทดสอบ และความแม่นยำในการทำนายประมาณ 99% และ 89% ผลการทดสอบแม้ว่าค่าความแม่นยำของแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิดจะมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการต้นแบบการลดรอยเชิงเส้นพหุคูณ แต่ในส่วนของค่า MAE และ MSE ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงข้อมูลที่มีค่าเกินกว่า หรือต่ำกว่า Outlier ของชุดข้อมูล มีค่าต่ำกว่า (Loss น้อย) อย่างเห็นได้ชัด ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นที่น่าพอใจ



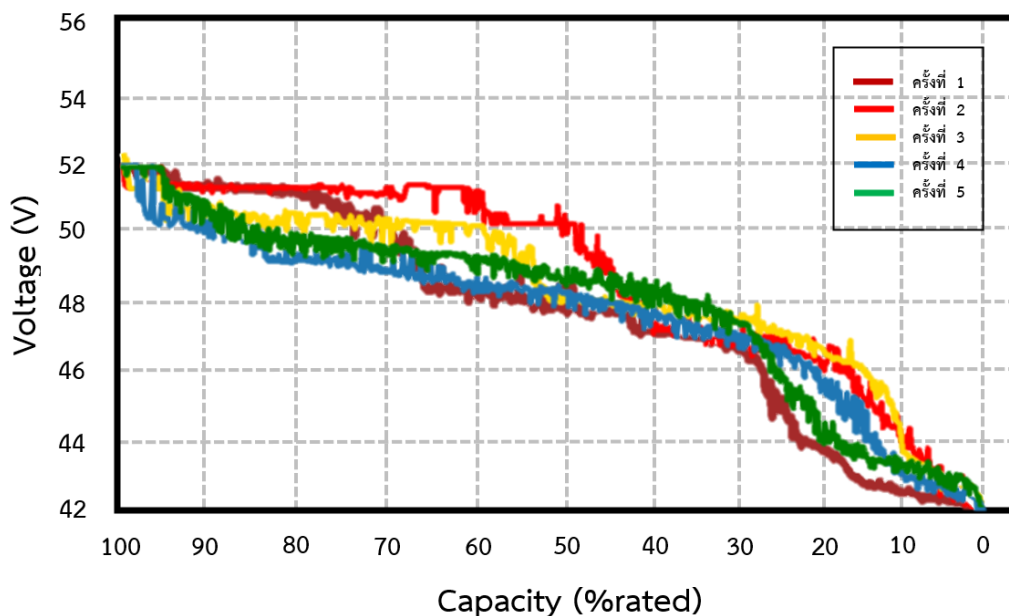
### การนำปัญญาประดิษฐ์ไปใช้งานจริง

ในการนำแบบจำลองทั้ง 2 ชนิดของแบตเตอรี่ทั้ง 2 แบบที่ได้จัดทำไว้ไปใช้งานจริงในระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ ทางผู้วิจัยได้ทำการนำแบบจำลองมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าขณะทำการทดสอบของรถไฟฟ้าขณะมีโหลด โดยในการใช้งานจริงจะใช้ความเร็วปานกลางเพียงอย่างเดียว เป็นจำนวน 5 รอบ พื้นที่ในการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ และการใช้งานรถไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 106



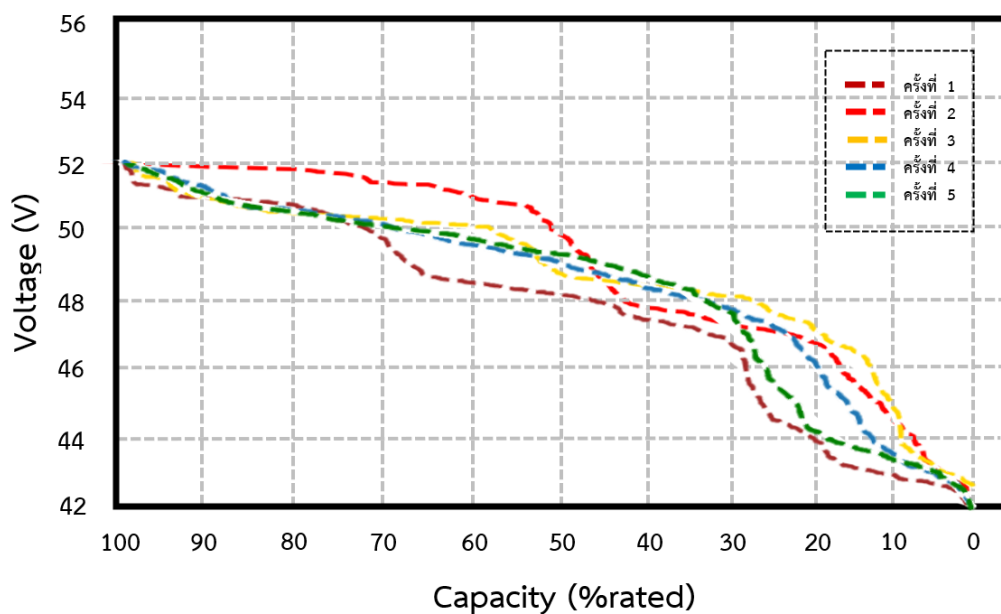
ภาพ 106 พื้นที่ในการเก็บข้อมูลการทดสอบของรถไฟฟ้าขณะมีโหลด และการใช้งานรถไฟฟ้า

### แบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ

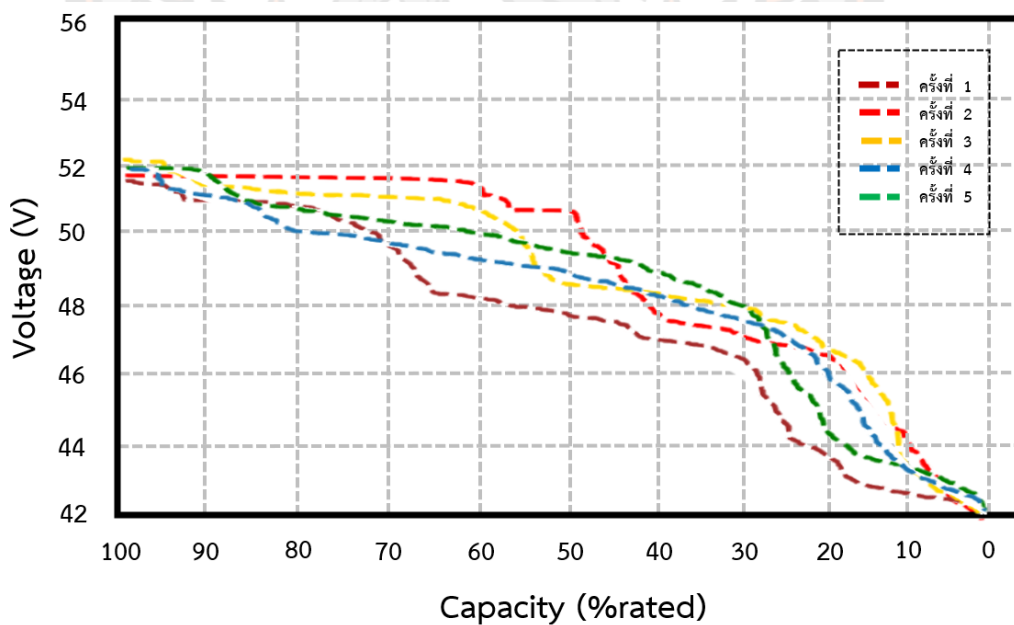


ภาพ 107 การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จขณะมีโหลดของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ

จากภาพที่ 107 กราฟแสดงการเก็บข้อมูลแบตเตอรี่ทั้ง 5 ครั้ง จะเห็นว่าแรงดันมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งแบตเตอรี่ลดลงจนเหลือประมาณร้อยละ 40 (ประมาณ 46 โวลต์) กระทั่งแบตเตอรี่เหลือร้อยละ 0 (42 โวลต์) เมื่อใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจะเห็นว่ากราฟการใช้งานแบตเตอรี่มีค่าใกล้เคียงกับกราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลแบตเตอรี่แต่มีความเชิงเส้นยิ่งขึ้น แสดงดังภาพที่ 108 และเมื่อใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมกราฟที่ได้มีความใกล้เคียงกับการที่ได้จากการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ แสดงดังภาพที่ 109 ใช้เวลาในการดิสชาร์จ จากแบตเตอรี่เต็มร้อยละ 100 จนเหลือร้อยละ 0 และพิกัดกระแสสูงสุดของแต่ละรอบแสดงดังตารางที่ 21



ภาพ 108 กราฟการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการลดถอยเชิงเส้นพหุคูณ  
ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ

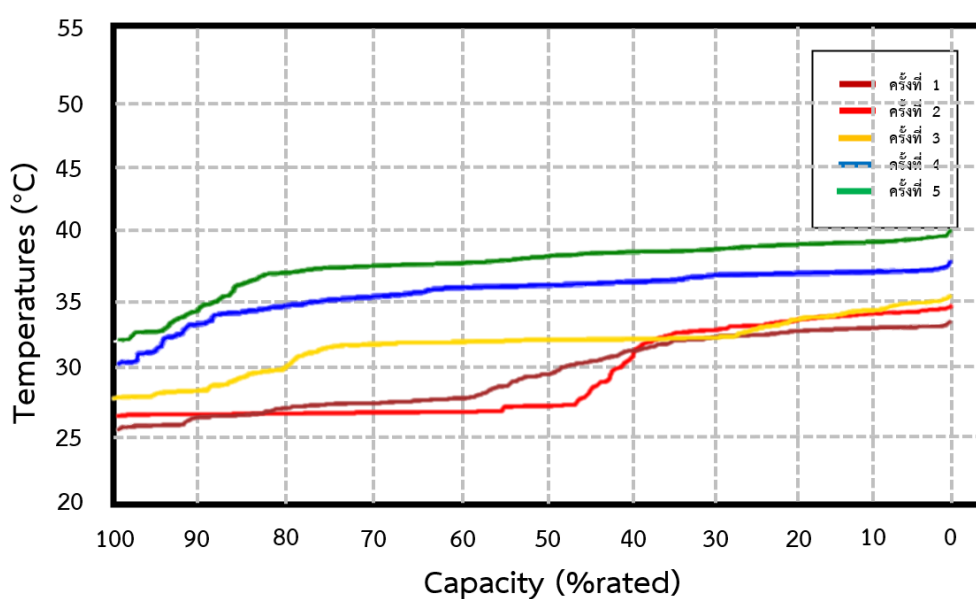


ภาพ 109 กราฟการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการกระจายประสาทยืด  
ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ



ตาราง 21 ระยะเวลาในการดิสชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพขณะใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

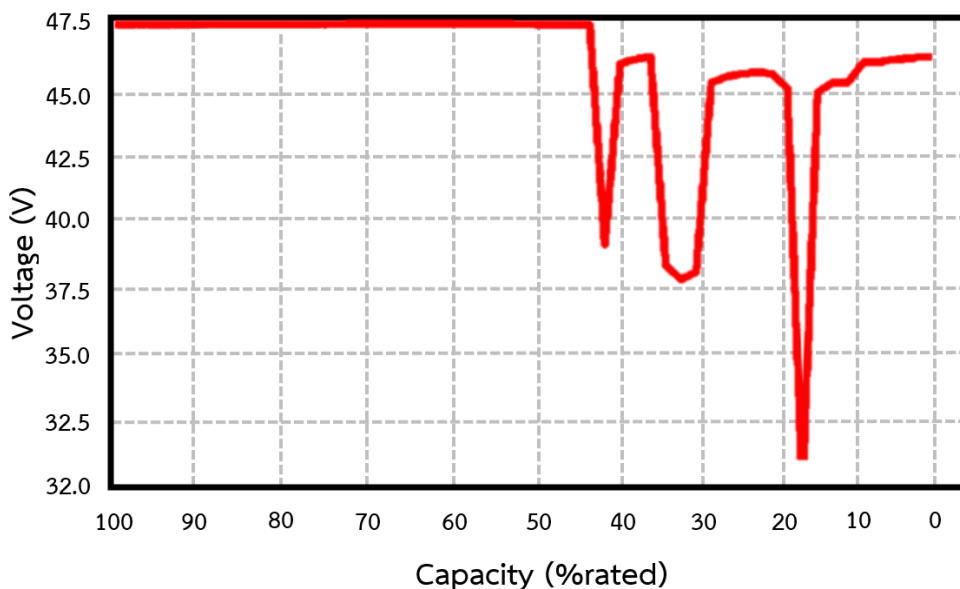
จำนวนครั้งการดิสชาร์จ	ระยะเวลาดิสชาร์จ	พิกัดกระแส	พิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่
ครั้งที่ 1	56 นาที	12.11 แอมป์ (A)	33.21 °C
ครั้งที่ 2	49 นาที	13.41 แอมป์ (A)	34.37 °C
ครั้งที่ 3	49 นาที	13.39 แอมป์ (A)	35.13 °C
ครั้งที่ 4	50 นาที	13.48 แอมป์ (A)	37.67 °C
ครั้งที่ 5	51 นาที	13.46 แอมป์ (A)	39.21 °C



ภาพ 110 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพขณะใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

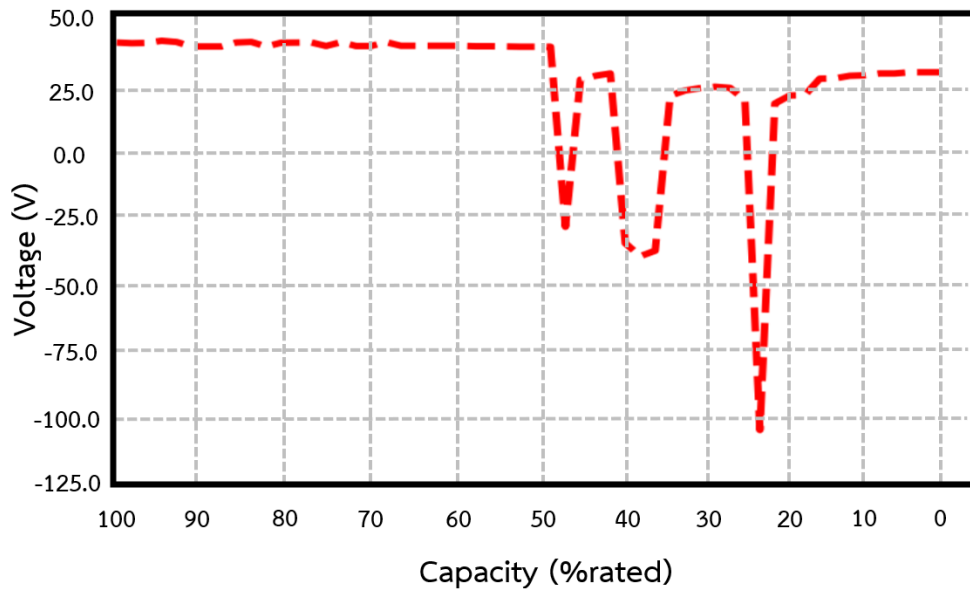
จากภาพที่ 110 และตารางที่ 21 แสดงอุณหภูมิการดิสชาร์จของแบตเตอรี่ขณะใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าจะเห็นว่าอุณหภูมิต่ำสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 25 – 40 องศาเซลเซียส (°C)

### แบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

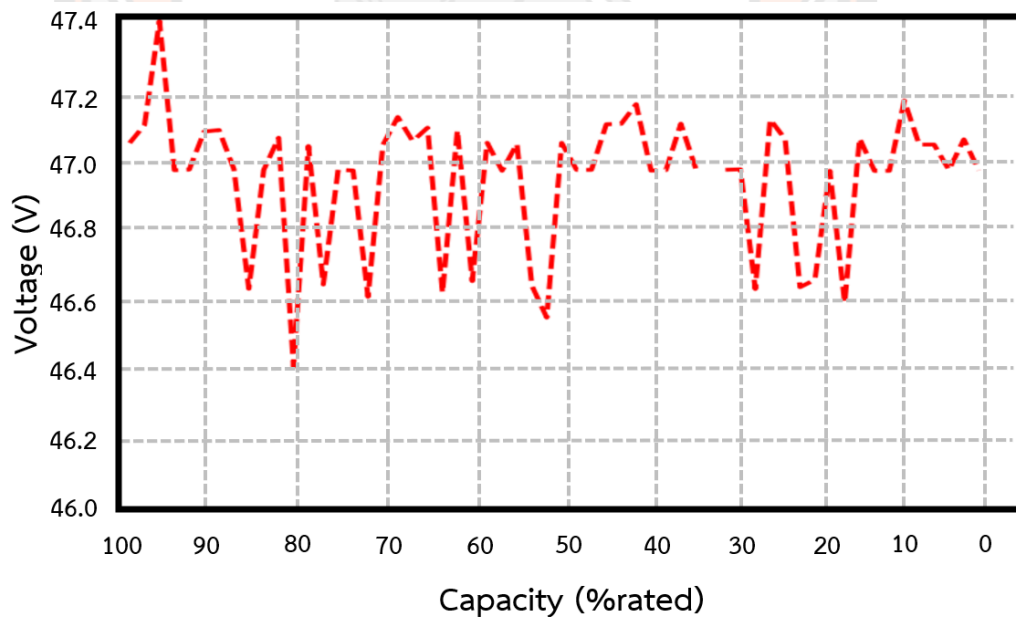


ภาพ 111 การเก็บข้อมูลการดีสชาร์จขณะมีโพลตของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

จากภาพที่ 111 จะเห็นว่าแรงดันมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 47.5 โวลต์ ซึ่งต่างจากค่าแรงดันที่สูงสุดของแบตเตอรี่ที่ยังไม่เสื่อมสภาพที่มีค่าอยู่ระหว่าง 50 – 52 โวลต์ เนื่องจากแบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพแล้ว [25] ทำให้ความจุภายในน้อยลง ทำให้ในการใช้งานจริงขณะมีโพลตไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากแรงดันจะตกลงต่ำกว่า 42 โวลต์อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นแรงดันต่ำสุดที่รถไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ ส่งผลไปถึงค่าพิกัดกระแสสูงสุดที่สามารถปล่อยได้น้อยลงไปด้วย เมื่อใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการถอดออยเชิงเส้นพหุคูณจะเห็นว่าลักษณะของกราฟการใช้งานแบตเตอรี่มีค่าใกล้เคียงกับกราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลแบตเตอรี่แต่แรงดันที่ตกลงมานั้นต่ำกว่าความเป็นจริงอย่างมาก แสดงดังภาพที่ 112 และเมื่อใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมกราฟที่ได้จะมีค่าแรงดันอยู่ที่ระหว่างประมาณ 46 – 47 โวลต์ ซึ่งมีค่าไม่ตรงกับที่เก็บข้อมูลได้ แสดงดังภาพที่ 113 พิกัดกระแสสูงสุดแบตเตอรี่ และพิกัดอุณหภูมิแบตเตอรี่แสดงดังตารางที่ 22



ภาพ 112 กราฟการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ  
ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

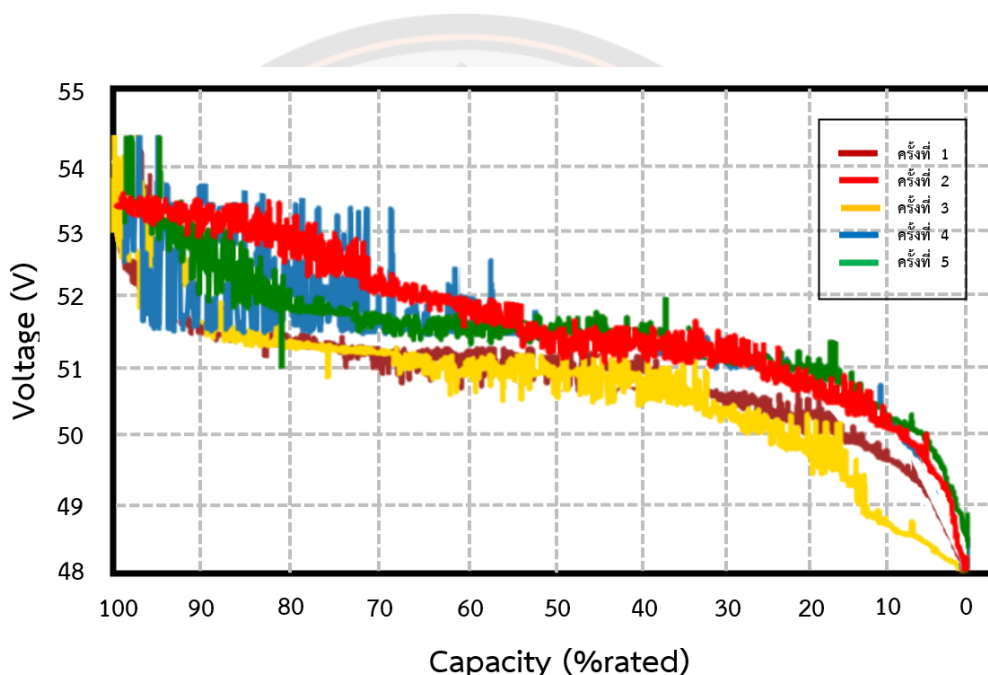


ภาพ 113 กราฟการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม  
ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

ตาราง 22 พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้วขณะใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

จำนวนครั้งการดิสชาร์จ	ระยะเวลาดิสชาร์จ	พิกัดกระแส	พิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่
ครั้งที่ 1	-	3.75 แอมป์ (A)	26.91 °C

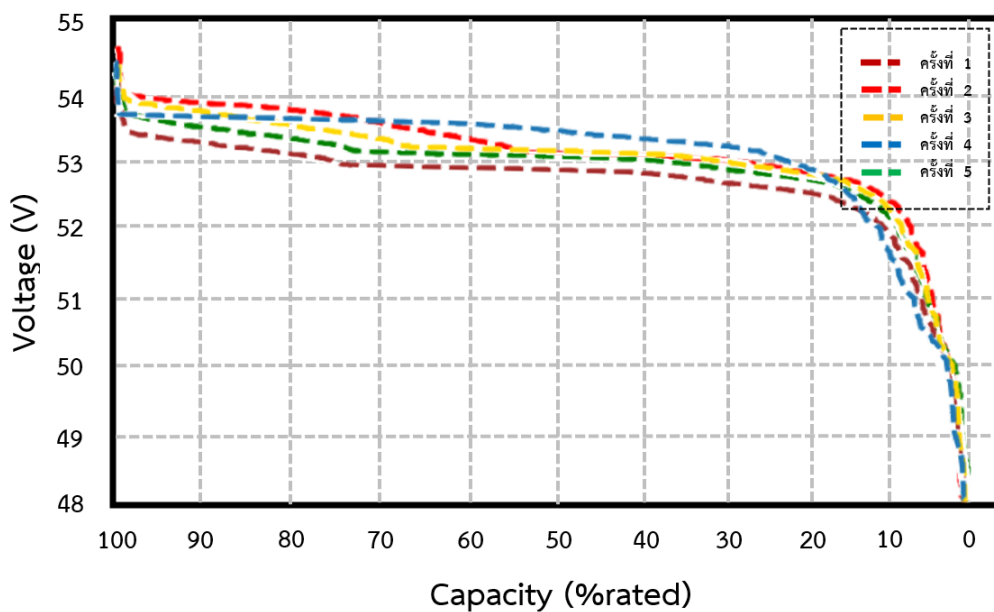
### แบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต



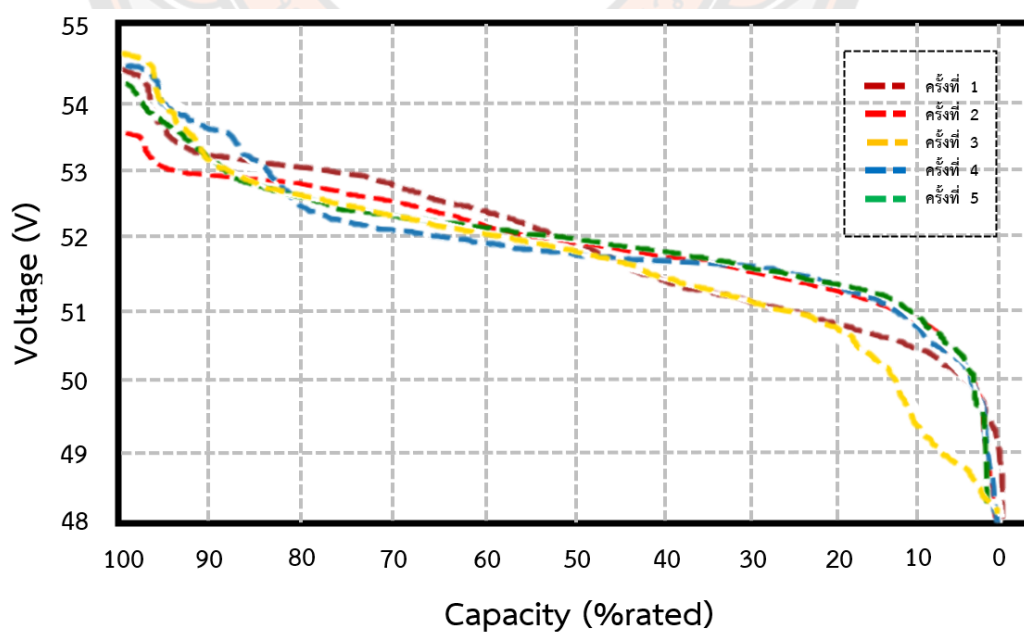
ภาพ 114 การเก็บข้อมูลการดิสชาร์จขณะมีโหลดของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

จากภาพที่ 114 แสดงการเก็บข้อมูลแบตเตอรี่ทั้ง 5 ครั้ง จะเห็นว่าแรงดันมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งแบตเตอรี่ลดลงจนเหลือประมาณร้อยละ 10 (ประมาณ 50 โวลต์) กระทั่งแบตเตอรี่เหลือร้อยละ 0 (48 โวลต์) เมื่อใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจะเห็นว่ากราฟการใช้งานแบตเตอรี่แรงดันมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งแบตเตอรี่ลดลงจนเหลือประมาณร้อยละ 10 (ประมาณ 52 โวลต์) กระทั่งแบตเตอรี่เหลือร้อยละ 0 (48 โวลต์) ซึ่งมีค่าต่างจากกราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลแบตเตอรี่เนื่องจากมีค่า  $R^2$  score เพียง 0.894 แสดงดังภาพที่ 115 และเมื่อใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมจะเห็นว่ากราฟที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับกราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลแบตเตอรี่แต่มีความ

เชิงเส้นยิ่งขึ้น แสดงดังภาพที่ 116 ใช้เวลาในการดิสชาร์จ จากแบตเตอรี่เต็มร้อยละ 100 จนเหลือร้อยละ 0 และพิกัดกระแสสูงสุด ของแต่ละรอบแสดงดังตารางที่ 23



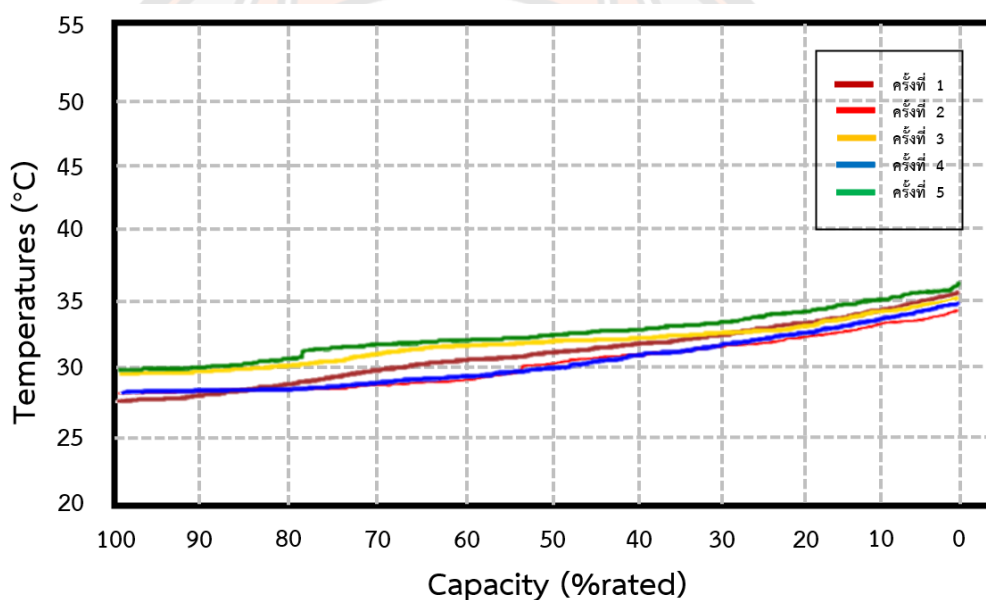
ภาพ 115 กราฟการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ชนิดแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน พอสเฟต



ภาพ 116 กราฟการใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม ชนิดแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน พอสเฟต

ตาราง 23 ระยะเวลาในการดิสชาร์จ, พิกัดกระแสสูงสุด และพิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต ขณะใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

จำนวนครั้งการดิสชาร์จ	ระยะเวลาดิสชาร์จ	พิกัดกระแส	พิกัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่
ครั้งที่ 1	1 ชั่วโมง 14 นาที	14.93 แอมป์ (A)	36.13 °C
ครั้งที่ 2	1 ชั่วโมง 1 นาที	14.92 แอมป์ (A)	34.77 °C
ครั้งที่ 3	1 ชั่วโมง 12 นาที	14.92 แอมป์ (A)	35.13 °C
ครั้งที่ 4	1 ชั่วโมง 5 นาที	14.98 แอมป์ (A)	34.81 °C
ครั้งที่ 5	1 ชั่วโมง 6 นาที	14.86 แอมป์ (A)	36.05 °C



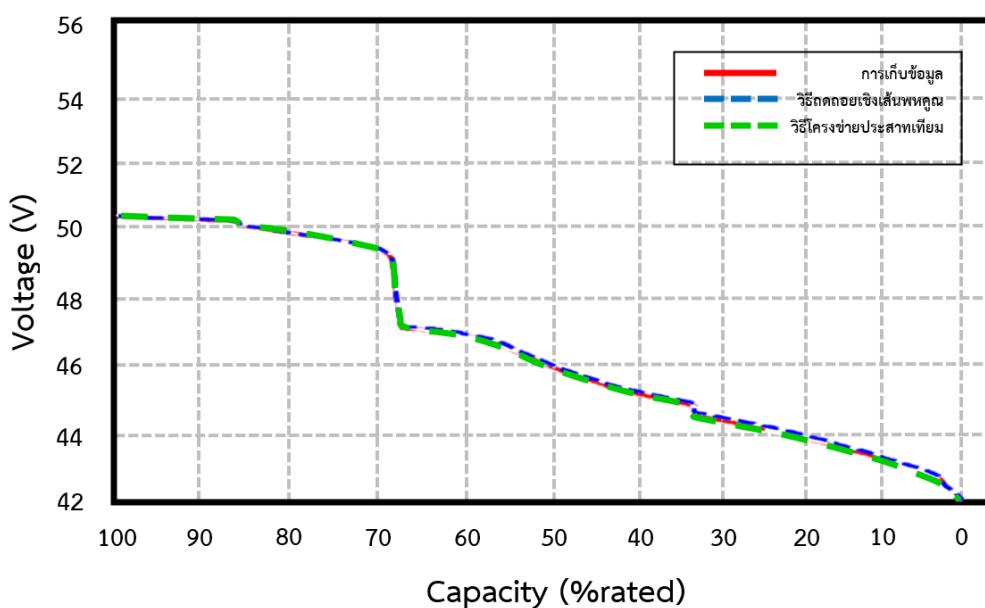
ภาพ 117 อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตขณะใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

จากภาพที่ 117 และตารางที่ 23 แสดงอุณหภูมิการดิสชาร์จของแบตเตอรี่ขณะใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าจะเห็นว่าอุณหภูมิมักค่าอยู่ระหว่าง 27 – 37 องศาเซลเซียส (°C)

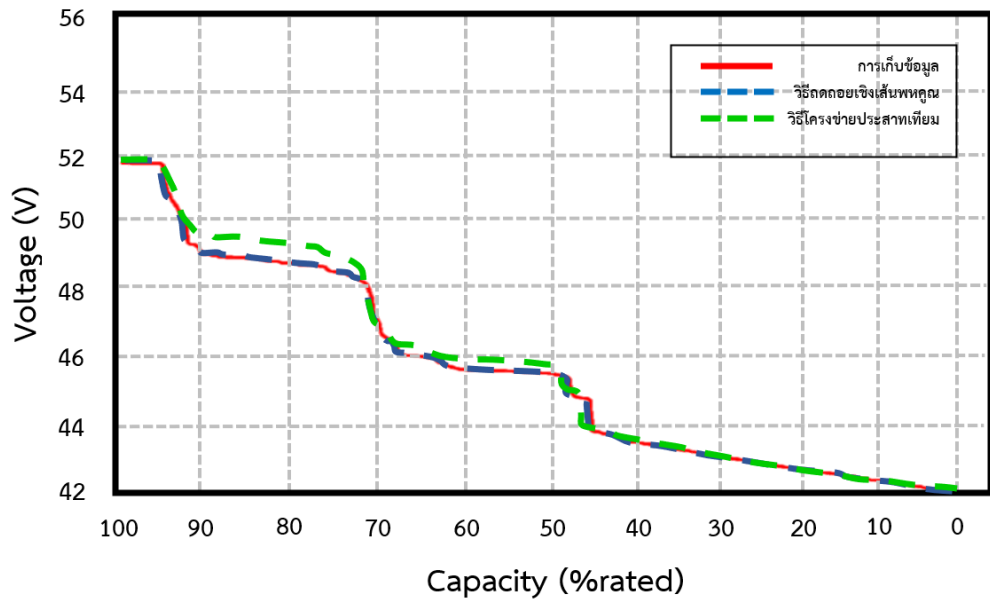
## การเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลกับปัญญาประดิษฐ์

### การเปรียบเทียบค่าดิสชาร์จในห้องปฏิบัติการกับปัญญาประดิษฐ์

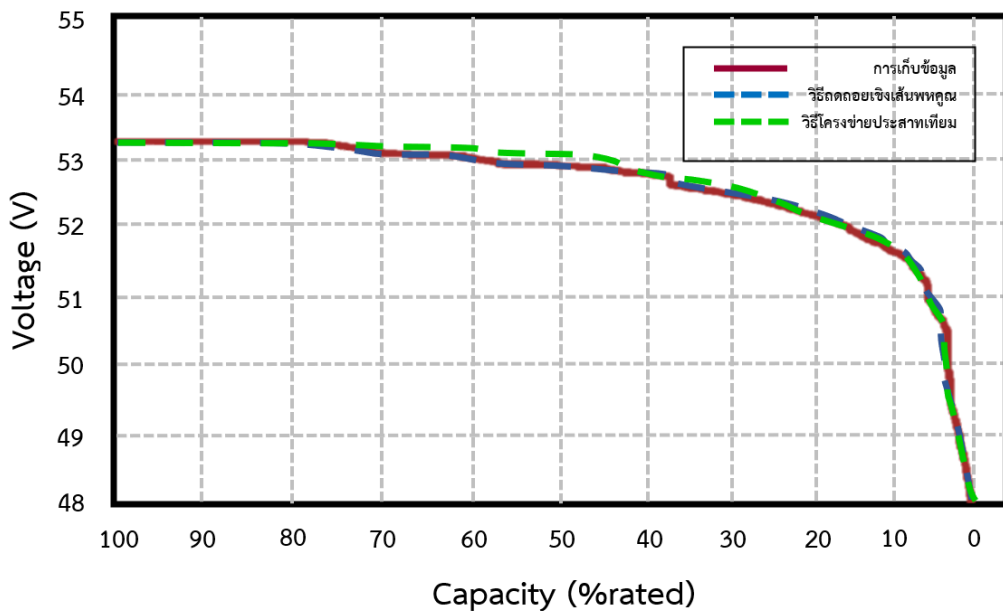
ในการนำค่าดิสชาร์จที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากปัญญาประดิษฐ์ทั้ง 2 วิธีของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดทั้ง 2 ชุด และแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต จะเห็นว่ากราฟของปัญญาประดิษฐ์ทั้งแบบวิธีถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะมีค่าใกล้เคียงกับกราฟการเก็บข้อมูลอย่างมาก เนื่องจากเป็นกราฟที่ใช้สำหรับการฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ทำให้กราฟที่ได้มีความใกล้เคียงอย่างมาก ตัวอย่างกราฟการเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลกับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดทั้ง 2 ชุด และแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต แสดงดังภาพที่ 118, 119 และ 120 ตามลำดับ



ภาพ 118 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 กับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ



ภาพ 119 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 กับปัญญาประดิษฐ์ของ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

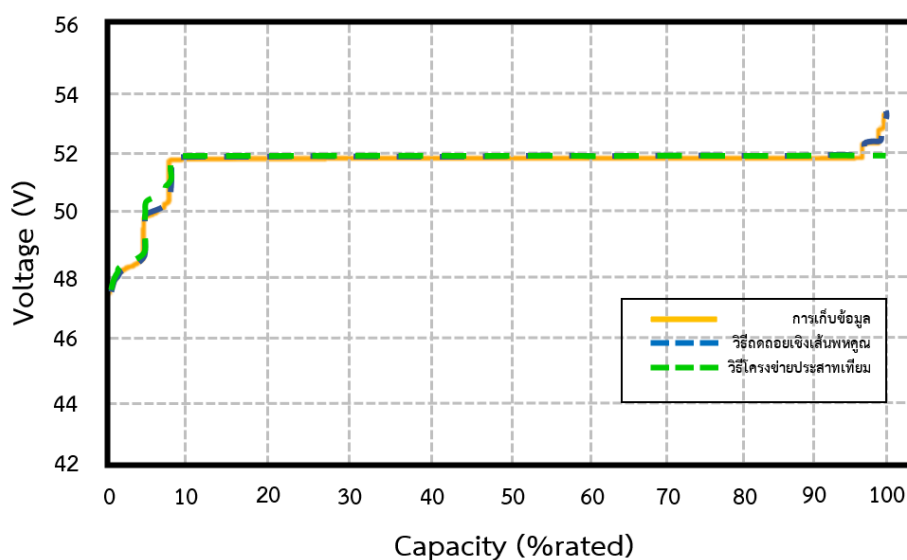


ภาพ 120 กราฟดิสชาร์จเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 กับปัญญาประดิษฐ์ของ แบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

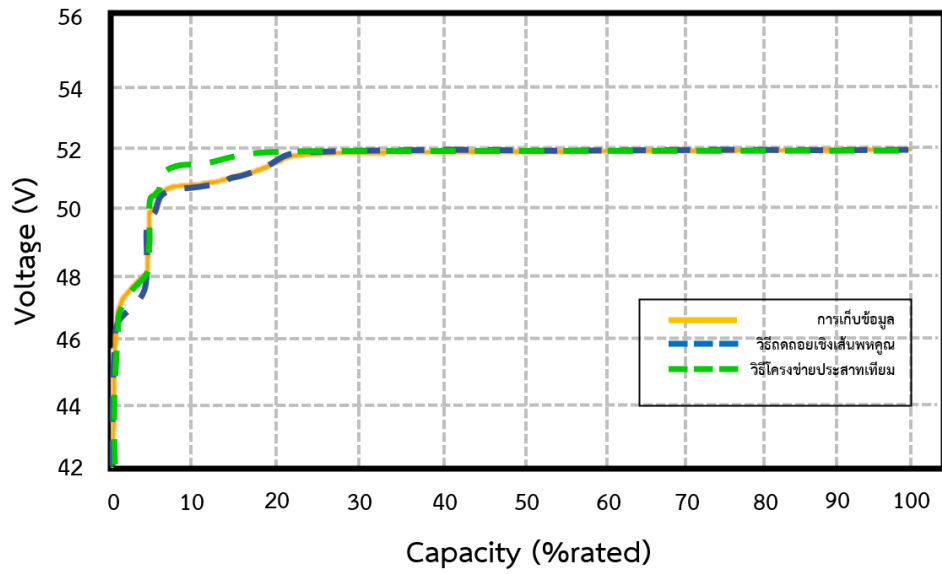


### การเปรียบเทียบค่าชาร์จในห้องปฏิบัติการกับปัญหาประดิษฐ์

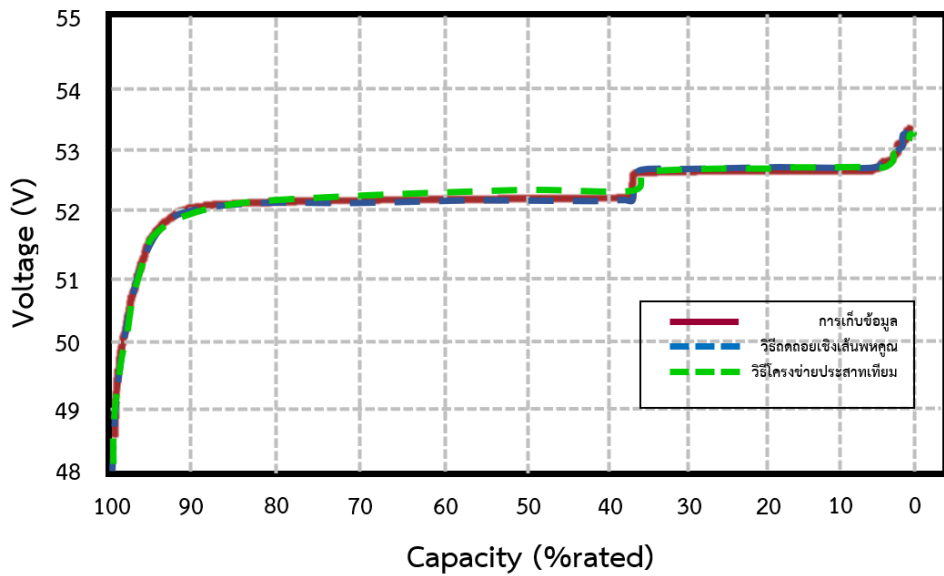
ในการนำค่าชาร์จที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากปัญหาประดิษฐ์ทั้ง 2 วิธีของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดทั้ง 2 ชุด และแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต จะเห็นว่ากราฟของปัญหาประดิษฐ์ทั้งแบบวิธีถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะมีค่าใกล้เคียงกับกราฟการเก็บข้อมูลอย่างมากเช่นเดียวกับกราฟการเปรียบเทียบดิซชาร์จ เนื่องจากเป็นกราฟที่ใช้สำหรับการฝึกฝนปัญหาประดิษฐ์ทำให้กราฟที่ได้มีความใกล้เคียงอย่างมาก ตัวอย่างกราฟการเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลกับปัญหาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดทั้ง 2 ชุด และแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต แสดงดังภาพที่ 121, 122 และ 123 ตามลำดับ



ภาพ 121 กราฟชาร์จเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 3 กับปัญหาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ



ภาพ 122 กราฟชาร์จเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 3 กับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

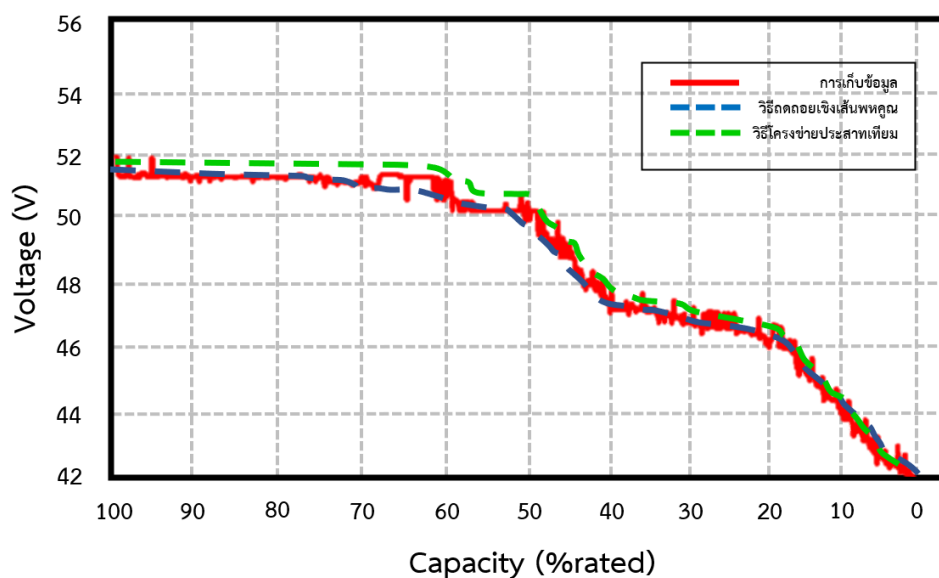


ภาพ 123 กราฟชาร์จเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 กับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

## การเปรียบเทียบกราฟการใช้งานจริงกับปัญญาประดิษฐ์

### แบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ

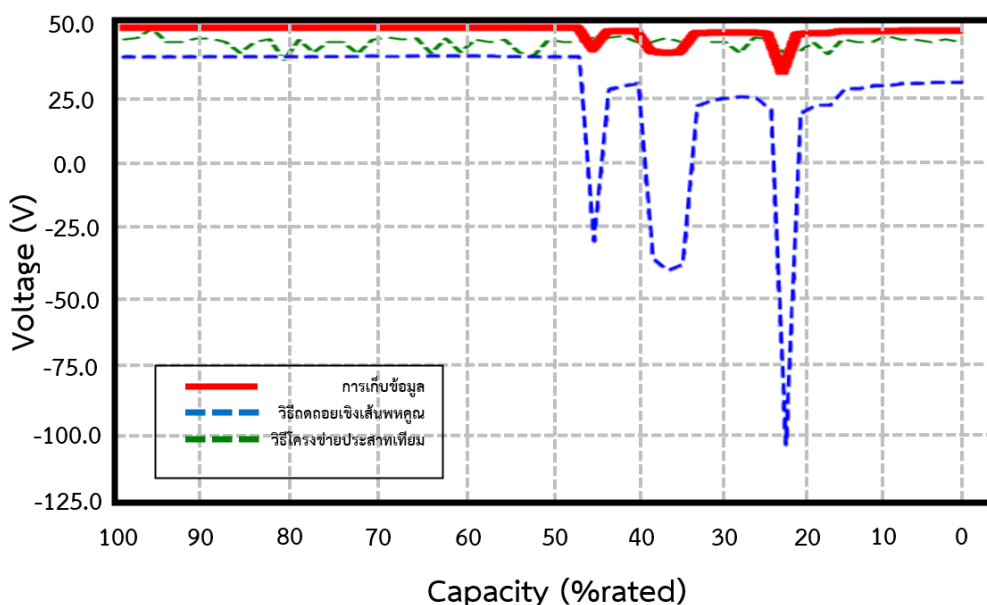
ในการนำค่าดิซชาร์จที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากปัญญาประดิษฐ์ทั้ง 2 วิธีของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ เมื่อใช้งานระบบ แสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจะเห็นว่ากราฟการใช้งานแบตเตอรี่มีค่าใกล้เคียงกับกราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลแต่มีความเชิงเส้นยิ่งขึ้น และเมื่อใช้งานระบบ แสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมกราฟที่ได้มีความใกล้เคียงกับการที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ แสดงดังภาพที่ 124



ภาพ 124 กราฟการเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 กับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ

### แบตเตอรี่ไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

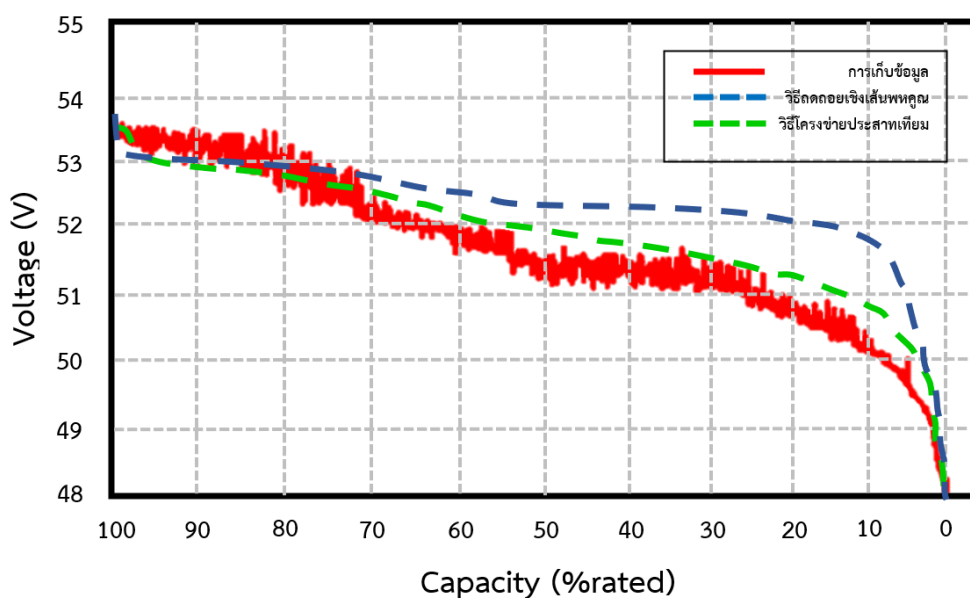
ในการนำค่าดิซชาร์จที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากปัญญาประดิษฐ์ทั้ง 2 วิธีของแบตเตอรี่ไฟฟ้าชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว จากภาพที่ 125 จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูล แรงดันมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 47.5 โวลต์ เนื่องจากแบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพแล้ว ทำให้ในการใช้งานจริงขณะมีโหลดไม่สามารถใช้งานได้ เมื่อใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่ไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจะเห็นว่าลักษณะของกราฟการใช้งานแบตเตอรี่มีค่าใกล้เคียงกับกราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลแบตเตอรี่แต่แรงดันที่ตกลงมานั้นต่ำกว่าความเป็นจริงอย่างมากเนื่องจากค่าแรงดันน้อยกว่าค่าแรงดันที่ใช้สำหรับการฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ ทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้น และเมื่อใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่ไฟฟ้าด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมกราฟที่ได้จะมีค่าแรงดันอยู่ที่ระหว่างประมาณ 46 – 47 โวลต์ ซึ่งมีค่าไม่ตรงกับที่เก็บข้อมูลได้ เนื่องจากวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมทนทานต่อชุดข้อมูลที่มีค่าผิดพลาดมากกว่าวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ



ภาพ 125 กราฟการเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 กับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว

### แบตเตอรี่รถไฟฟ้าชนิดชนิดลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

ในการนำค่าคิซซาร์จที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากปัญญาประดิษฐ์ทั้ง 2 วิธีของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต เมื่อใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจะเห็นว่ากราฟการใช้งานแบตเตอรี่มีค่าต่างจากกราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลแบตเตอรี่เนื่องจากมีค่า  $R^2$  score เพียง 0.894 และเมื่อใช้งานระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมจะเห็นว่ากราฟที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับกราฟที่ได้จากการเก็บข้อมูลแบตเตอรี่แต่มีความเชิงเส้นยิ่งขึ้นเนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า MAE และ MSE ที่น้อยกว่าวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ กราฟที่ได้จึงมีความใกล้เคียงกว่า แสดงดังภาพที่ 126



ภาพ 126 กราฟการเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 กับปัญญาประดิษฐ์ของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ผู้วิจัยประสงค์จะดำเนินการนำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบระบบแสดงสถานะการใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ ระบบที่นำเสนอนี้สามารถแสดงพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ ที่ซึ่งมีค่าระดับแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิของแบตเตอรี่ และความจุประจุที่เหลือของแบตเตอรี่ในสถานการณ์แบบเรียลไทม์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และระบบเก็บข้อมูลที่ถูกรวบรวมได้ถูกแนะนำ ระบบแสดงสถานะการใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ และต้นแบบประกอบด้วย Raspberry Pi, ไมโครคอนโทรลเลอร์, โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า, เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส, วงจรแบ่งแรงดัน และไอซี MCP3008

จากผลการเก็บข้อมูลของระบบเพื่อใช้ในการฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์จะแบ่งการทดสอบเป็น 2 กรณี สำหรับแบตเตอรี่ทั้ง 3 ชุด ในกรณีแรกขณะทำการดิสชาร์จรถไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการพิกัดกระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพจ่ายให้กับโพลดีมีค่าเฉลี่ย 3.05 แอมป์, แบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้วจ่ายให้กับโพลดีมีค่าเฉลี่ย 3.00 แอมป์, แบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตจ่ายให้กับโพลดีมีค่าเฉลี่ย 3.03 แอมป์, และใช้เวลาในการดิสชาร์จเฉลี่ย 5.38 ชั่วโมง, 1.63 ชั่วโมง และ 4.98 ชั่วโมง ตามลำดับ กรณีที่สองทำการชาร์จแบตเตอรี่รถไฟฟ้าพิกัดกระแสสูงสุดที่อะแดปเตอร์จ่ายให้กับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพมีค่าเฉลี่ย 1.76 แอมป์, อะแดปเตอร์จ่ายให้กับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้วมีค่าเฉลี่ย 1.74 แอมป์, อะแดปเตอร์จ่ายให้กับแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตมีค่าเฉลี่ย 1.85 แอมป์, และใช้เวลาในการชาร์จเฉลี่ย 7.07 ชั่วโมง, 2.23 ชั่วโมง และ 5.44 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 24

**ตาราง 24** ระยะเวลาเฉลี่ยในการชาร์จ/ดิสชาร์จ และพิกัดกระแสเฉลี่ย ของแบตเตอรี่ทั้ง 3 ชุด

สถานะแบตเตอรี่	ชนิดแบตเตอรี่	พิกัดกระแสเฉลี่ย	ระยะเวลาเฉลี่ยชาร์จ/ดิสชาร์จ
ดิสชาร์จ	ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ	3.05 แอมป์ (A)	5 ชั่วโมง 14 นาที
	ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว	3.00 แอมป์ (A)	1 ชั่วโมง 38 นาที
	ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตจ่าย	3.03 แอมป์ (A)	5 ชั่วโมง 4 นาที
ชาร์จ	ตะกั่วกรดที่ยังไม่เสื่อมสภาพ	1.76 แอมป์ (A)	6 ชั่วโมง 58 นาที
	ตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพแล้ว	1.74 แอมป์ (A)	2 ชั่วโมง 9 นาที
	ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตจ่าย	1.85 แอมป์ (A)	5 ชั่วโมง 26 นาที

หลังจากนำข้อมูลที่เก็บค่า และผ่านการกำจัดค่าผิดปกติแล้วมาฝึกฝนให้กับปัญญาประดิษฐ์ ทั้ง 2 รูปแบบนั่นคือ การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ และโครงข่ายประสาทเทียมแบบ feed-forward (FFNN) จากจำนวน 4 อินพุต โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ TanH ที่ชั้นซ่อนจำนวน 10 ชั้น และ 1 เอาต์พุตโดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน Linear Activation ได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจได้แก่ การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ มีค่า  $R^2$  score ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด และแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต ประมาณ 0.992 และ 0.894 ตามลำดับ ในส่วนของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า  $R^2$  score ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด และแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต ประมาณ 0.993 และ 0.898 ตามลำดับแสดงดังตารางที่ 25

ตาราง 25 สรุปประเมินแบบจำลองของแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิด

Model	Battery	$R^2$ score	Mean Absolute Error	Mean Squared Error
การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ	ตะกั่วกรด	0.992	2.083	7.513
	ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต	0.894	3.921	26.742
โครงข่ายประสาทเทียม	ตะกั่วกรด	0.993	0.170	0.075
	ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟต	0.898	1.133	3.681

เมื่อนำปัญญาประดิษฐ์ที่ได้รับการฝึกฝนแล้วมาใช้งานจริง วิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณสำหรับการใช้งานในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดได้ให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ แต่การใช้งานในแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน ฟอสเฟตผลลัพธ์ที่ได้ ( $R^2$  score) ยังไม่เป็นที่น่าพอใจเท่าที่ควรอีกทั้งยังมีค่าความผิดพลาด (MAE และ MSE) ที่สูงเนื่องจาก วิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณมีจุดอ่อนที่ความ sensitive ต่อ ค่า outliers หมายความว่าถ้ามีค่า outliers อยู่ในชุดข้อมูล มันจะพยายามทำงานให้ตรงกับค่า outliers ซึ่งจะทำให้ค่าที่ได้ออกมาเพี้ยน ในส่วนของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมได้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ แต่มีค่าความผิดพลาด (MAE และ MSE) น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำยิ่งขึ้นเมื่อต้องเจอกับค่า outliers ในชุดข้อมูล แต่ก็ยังมีข้อสังเกตตรงที่วิธีโครงข่ายประสาทเทียมเป็นปัญญาประดิษฐ์ที่มีความซับซ้อนกว่าวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณทำให้ใช้เวลาในการฝึกฝนที่นานกว่า อีกทั้งผลลัพธ์ หรือค่าน้ำหนักของตัวแปรฟังก์ชันที่ได้จากการเรียนรู้ค่อนข้างเข้าใจยาก ทำให้ผู้ใช้งานต้องมีความรู้ในการใช้งานจึงจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ

## อภิปรายผล

จากการทดสอบระบบแสดงสถานะการใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ แม้ว่าผลที่ได้จะประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ในงานวิจัย อย่างไรก็ตามได้พบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการเก็บข้อมูลเบื้องต้น กล่าวคือ จากการส่งค่าต่าง ๆ ขึ้นฐานข้อมูลคลาวด์ เซิร์ฟเวอร์ ระยะเวลาในการส่งมีผลต่อจำนวนข้อมูลที่ได้รับ และถ้าค่าที่ถูกส่งไปนั้นมีความถี่ในการส่งข้อมูลที่ต่ำเกินไป ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้มีความละเอียดที่น้อยเกินไป อีกประเด็นคือจำนวนชุดข้อมูลสำหรับการฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ ยิ่งจำนวนข้อมูลสำหรับการฝึกฝนมีเยอะเท่าไรยิ่งทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น สังเกตได้จากค่า  $R^2$  score ของแบตเตอรี่เทียม ไอออน ฟอสเฟต สำหรับวิธีถดถอยเชิงเส้นพหุคูณมีค่าต่ำเนื่องจากมีจำนวนข้อมูลฝึกฝนน้อยเกินไป แต่ก็ขึ้นอยู่กับค่าปรับตั้งค่าปัญญาประดิษฐ์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน และประเด็นสุดท้ายในการใช้งานจริงยังไม่สามารถนำข้อมูลการใช้งานในขณะนั้นมาใช้สำหรับฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ได้แบบเรียลไทม์ ทำให้ไม่มีชุดข้อมูลใหม่มาฝึกให้ปัญญาประดิษฐ์มีความชาญฉลาดได้ตลอดเวลา ทั้งนี้อาจใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขของการปรับปรุงต่อไป

## ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มชุดข้อมูลสำหรับใช้ในการฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำ และลดความผิดพลาดของปัญญาประดิษฐ์ขณะใช้งานจริง
2. ควรออกแบบโดยการเปลี่ยนจากการใช้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมต่อกับ WiFi มาเป็นตัวบอร์ด หรือเซ็นเซอร์ที่สามารถใส่ซิมการ์ดเพื่อปล่อยสัญญาณอินเทอร์เน็ตให้กับระบบเองได้ เพราะในบางพื้นที่ ที่ใช้งานนั้นไม่ได้มีสัญญาณ WiFi ที่สามารถเชื่อมต่อในการใช้งานได้ตลอดเวลา ถ้าหากใช้โทรศัพท์มือถือเคลื่อนที่เป็นตัวปล่อยสัญญาณ WiFi เคลื่อนที่ก็จะทำให้เปลืองพลังงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยไม่จำเป็น
3. ศึกษาารูปแบบปัญญาประดิษฐ์เพิ่มเติม ที่อาจมีความเหมาะสมกับชุดข้อมูล และให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจกว่ารูปแบบปัญญาประดิษฐ์ที่ผู้วิจัยใช้งาน
4. ศึกษาวิธีการกำจัดค่าผิดปกติเพิ่มเติม ที่จะสามารถลดค่า Outliers ในชุดข้อมูลให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ช่วยให้อปัญญาประดิษฐ์สามารถทำนาย หรือให้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น
5. ออกแบบระบบแสดงสถานะการใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าด้วยปัญญาประดิษฐ์ให้สามารถนำข้อมูลการใช้งานในขณะนั้นมาฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ได้แบบเรียลไทม์



## บรรณานุกรม

- [1] Dr. Yossapong Laoonual. (2022). Growing Opportunity for Electric Vehicle in Thailandสืบค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2564. จาก <http://www.evat.or.th/17075081/ev-articles>.
- [2] Pang Shuo, J. Farrell, Du Jie, M. Barth. (2001). Battery State-of-Charge Estimation. Piscataway, NJ, USA, USA: IEEE; 2001. p. 1644.
- [3] Zicheng Fei, Fangfang Yang, Kwok-Leung Tsui, Lishuai Li, Zijun Zhang. (2021). Early Prediction of Battery Lifetime Via a Machine Learning Based Framework. Energy.225.
- [4] ฤกษ์ จันทสิทธิ์ ทรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล, ธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต. (2563). การพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพแบตเตอรี่รถไฟฟ้า 3 ล้อขนาดเล็ก สำหรับใช้ในครัวเรือน. วารสารวิจัยรำไพพรรณี ปีที่ 14 ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน - ธันวาคม 2563
- [5] S. Arya, M. T. Talluri, V. Karthikeyan (2020). editor^editors. An IoT Enabled Electric Tricycle Monitoring System. 2020 IEEE Students Conference on Engineering & Systems (SCES); 2020 10-12 July 2020Published.
- [6] ธีรพงศ์ บรรจง, ฉัตรชัย โกสุม พงศ์กิตต์ จินต์กสิกรรม, อัครพันธ์ วงศ์กิ่งแห, สมพร เรืองสินชัยวานิช. (2564). ระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่ไฟฟ้าด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. การประชุมวิชาการนเรศวรวิจัยและนวัตกรรม ครั้งที่ 17
- [7] Allnewstep. (2558). Wemos D1 Wifi Nodemcu Wifi Uno Board Esp8266 for Arduino (Arduino-Compatible) สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2565, จาก <https://www.allnewstep.com/product/1057/wemos-d1-wifi-nodemcu-wifi-uno-board-esp8266-for-arduino-arduino-compatible>.
- [8] Allnewstep. (2558). เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบไร้สัมผัส Ct Sensor 20a สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2565, จาก <https://shorturl.asia/P7IBd>.
- [9] Primusthai. (2020). Ct และ Pt ในระบบไฟฟ้าคืออะไร? สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2565, จาก <https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=207>.
- [10] เม็ตทราย สมบุญ, ชันัญญา บัวใหญ่, ธรศนภนต์ ทุ่งคาโน. (2560). ชุดทดลองการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (ปริญญาโท).
- [11] Allnewstep. (2558). Gy-906 Baa Infrared Temperature Sensor Module (Gy-906

- Mlx90614esf) เซนเซอร์อุณหภูมิแบบไร้สัมผัส ระยะวัด 5cm สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2565, จาก <https://shorturl.asia/OysxP>.
- [12] (2021). Read Pwm from Mlx90614 and Calculate Temperature with Pic18 Mcu สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2566.
- [13] (2019). Mlx90614 Datasheet Melexis 3 สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2566.
- [14] Lastminuteengineers. (2022). Interface Mlx90614 Non-Contact Infrared Temperature Sensor with Arduino สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2566, จาก <https://lastminuteengineers.com/mlx90614-ir-temperature-sensor-arduino-tutorial/>.
- [15] Pubhtml5. (2019). วงจรแบ่งแรงดัน สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2565, จาก <https://pubhtml5.com/ihtn/cepa/basic>.
- [16] Allnewstep. (2558). Mcp3008 8-Channel 10-Bit Adc with Spi Interface สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2565, จาก <https://www.allnewstep.com/product/984/mcp3008-8-channel-10-bit-adc-with-spi-interface>.
- [17] Blogsdit. (2021). Raspberry Pi 4 Model B สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2565, จาก <https://www.blogsdit.com/2019/06/raspberry-pi-4-model-b.html>.
- [18] Amazon.Com. (May 7, 2017). Utipower Multifunctional 12v Lcd Battery Capacity Monitor Gauge Meter for Lead-Acid Battery Vehicle Battery, Green สืบค้นเมื่อ 14 กันยายน 2565, จาก <https://www.amazon.com.au/utipower-Multifunctional-Capacity-Lead-Acid-Motorcycle/dp/B072LCD7TD>.
- [19] Thaiengine.Org. (May 22, 2017). แบตเตอรี่รถยนต์ทำงานอย่างไร สืบค้นเมื่อ 14 กันยายน 2565, จาก <https://shorturl.asia/QZS9w>.
- [20] Xiong Rui, Cao Jiayi, Yu Quansing, He Hongwen, Sun Fengchun. (2018). Critical Review on the Battery State of Charge Estimation Methods for Electric Vehicles. IEEE Access, Vol 6, Pp 1832-1843 (2018).
- [21] วรวิศ กอปรสิริพัฒน์. (2559). รู้จักแบตเตอรี่รถยนต์ที่ 4 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน. เทคโนโลยีวัสดุ ฉบับที่ 80 (มกราคม - มีนาคม): 64-70.
- [22] Plett Gregory L. (2016). Battery Management Systems. Volume li Equivalent-Circuit Methods. Methods. Norwood: Artech House. Available from: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpBMSVECM3/battery-management-systems?kpromoter=marc>.

- [23] Valer Pop, H. Bergveld, Dmitry Danilov, P. Regtien, Peter Notten. (2008). Battery Management Systems: Accurate State-of-Charge Indication for Battery-Powered Applications.
- [24] T. I. Kun, M. Inamori, M. Morimoto (2014). editor^editors. SoH Estimation of Lead Acid Battery by Artificial Deterioration. 2014 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS); 2014 22-25 Oct. 2014Published.
- [25] Aec Hybrid Plus. (July 8, 2021). ผลของความเสื่อมอายุของแบตเตอรี่ (Battery Aging) สืบค้นเมื่อ 14 กันยายน 2565, จาก <https://www.aec-engineer.com/post/battery-aging>.
- [26] เพ็ญพิชชา สายแก้ว, ศิริพร จันทศิริ. (2561). การปรับสภาพและการฟื้นฟูแบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 28 ประจำปี 2561 (หน้า 908-915).
- [27] อาร์ เค บี แบตเตอรี่. (2560 ). วงจร Bms (Battery Management System) ในแบตเตอรี่แพคคืออะไร. (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2562, จาก <https://www.rkbbattery.com/2018/12/25/battery-management-system/>.
- [28] Ke Gu Motor. (2020). Difference between Dc Brushless and Dc Brushed Motor สืบค้นวันที่ 10 มกราคม 2564, จาก <https://www.kegumotor.com/en/news/Difference-between-DC-brushless-and-DC-Brushed-motor.html>.
- [29] กอบเกียรติ สระอุบล. (2563). เรียนรู้ Data Science และ Ai : Machine Learning ด้วย Python: มีเดีย.
- [30] บริษัท ฟิวชั่น โซลูชั่น จำกัด. (2558). Linear Regression สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2565, จาก <https://www.fusionsol.com/blog/linear-regression/>.
- [31] Y. Feng, S. Wang (2017). editor^editors. A Forecast for Bicycle Rental Demand Based on Random Forests and Multiple Linear Regression. 2017 IEEE/ACIS 16th International Conference on Computer and Information Science (ICIS); 2017 24-26 May 2017Published.
- [32] Z. Zhang, Y. Li, L. Li, Z. Li, S. Liu (2019). editor^editors. Multiple Linear Regression for High Efficiency Video Intra Coding. ICASSP 2019 - 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP); 2019 12-17 May 2019Published.
- [33] กิตติศักดิ์ คงสีไพร, สมพร เรืองสินชัยวานิช เกรียงศักดิ์ ไกรกิจราษฎร์. (2560). การพยากรณ์การ

- ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติพิบูลสงครามวิจัย ครั้งที่ 3 กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (หน้า 237-246)
- [34] ภัทรพร ทองน้อม, ภควัต ลำจวน การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันที่ส่งผลต่อน้ำท่วมฉับพลันในลุ่มแม่น้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก. โครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ 2558.
- [35] H. Yang, L. Liu, Zhou Hongpeng, Gao Tianyi (2016). editor^editors. Multivariate Statistic Methods for Predicting Electricity Consumption of Beijing. IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society; 2016 23-26 Oct. 2016Published.
- [36] B. Wangngon, S. Ruangsinchaiwanich. (2013). Multiple Fault Detection Technique for Identifying Broken Rotor Bars. 2013. p. 752-756.
- [37] พยุง มีสัจ. ((2555)). ระบบฟuzzyและโครงข่ายประสาทเทียม. กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [38] กิตติศักดิ์ คงสีไพร. (2563). พยากรณ์รังสีอาทิตย์สำหรับโซลาร์รูฟท็อป = Forecasting Solar Radiation for Solar Rooftop.
- [39] จักรพันธ์ นันทพันธุ์กุล, บุญยัง ปลั่งกลาง. (4-6 พฤศจิกายน 2558). วิเคราะห์การเพิ่มความแม่นยำในการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์รังสีแสงอาทิตย์ด้วย Levenberg-Marquardt Algorithm. ใน การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8 (น 128-131) ปทุมธานี
- [40] ธาตรี มามี, ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม, อุสาศ์ บุญบำรุง. (31 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2555). การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ความเข้มแสงอาทิตย์. ใน การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ (น 44-51)
- [41] Powertechsystems. (2022). Lithium-Ion State of Charge (Soc) Measurement สืบค้นเมื่อ 17 กันยายน 2565, จาก <https://www.powertechsystems.eu/home/tech-corner/lithium-ion-state-of-charge-soc-measurement/>.
- [42] V. F. Ochkov, A. Stevens, A. I. Tikhonov (2022). editor^editors. Jupyter Notebook, Jupyterlab – Integrated Environment for Stem Education. 2022 VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino); 2022 12-15 April 2022Published.





ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก รหัสต้นฉบับของโปรแกรม

```

from sklearn.linear_model import LinearRegression #สำหรับสมการเชิงเส้น
from sklearn.metrics import mean_squared_error, mean_absolute_error, r2_score
import matplotlib.pyplot as plt #สำหรับพล็อตกราฟ

import pandas as pd
import seaborn as sns
import numpy as np

url = 'E:/ป.โท/เก็บค่าแบตเตอรี่/แบตเตอรี่เทียม/รวมไฟล์แบตเตอรี่.xlsx' #ไฟล์ หรือระบุพาท
df = pd.read_excel(url)
df.head()

df.describe() #ตรวจสอบค่าสถิติเบื้องต้น
#สร้างโมเดล
feature_cols = ['discharge','charge','voltage','temperature']
X = df[feature_cols]
y = df.percent_bat
X = X.values # conversion of X into array

model = LinearRegression()
model.fit(X, y)
print(model.coef_)
print(model.intercept_)

list(zip(feature_cols, model.coef_)) #รวมข้อมูลเป็น list เดียวกัน

model.score(X,y) #ความแม่นยำของ model
#หาค่า MSE และ MAE

```

```
from sklearn.metrics import mean_squared_error, mean_absolute_error
y_predict = model.predict(X)

mean_squared_error(y, y_predict) #MSE

mean_absolute_error(y, y_predict) #MAE

import serial
import time
import serial.tools.list_ports

# make sure the 'COM#' is set according the Windows Device Manager
ser = serial.Serial('COM3', 115400, timeout=1)
time.sleep(2)

while True:
    line = ser.readline() # read a byte
    if line:
        string = line.decode() # convert the byte string to a unicode string
        #num = int(string) # convert the unicode string to an int
        #print(string)

def stringToList(string):
    listRes = list(string.split(" "))
    return listRes

strA = string
stringToList = stringToList(strA)
#print(stringToList)
B = len(stringToList)
if B == 5:
```



```
x_input = [[stringToList[0],stringToList[1],stringToList[2],stringToList[3]]  
A = model.predict(x_input)  
print('Percent Battery =',A[0])  
else:  
print('Error')
```



## ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์

นเรศวรวิจัยและนวัตกรรม ครั้งที่ 17 Resilience for Never Normal Era



## ระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ธีรพงษ์ บรรจง<sup>1</sup> พงศ์กิตต์ จินต์กสิกรรม<sup>1</sup> ฉัตรชัย โกสุม<sup>1,2</sup> อัครพันธ์ วงศ์กัณฑ์<sup>1</sup>และสมพร เรืองสินชัยวานิช<sup>1\*</sup>

## An Electric Motor Battery Monitoring System on Internet of Things

Thiraphogt Banchong<sup>1</sup>, Pongkit Jinkasikam<sup>1</sup>, Chatchai Kosum<sup>1,2</sup>, Akaraphunt Vongkunghae<sup>1</sup>and Somporn Ruangsinchaiwanich<sup>1\*</sup><sup>1</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000<sup>2</sup>วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี จังหวัดอุทัยธานี 61000<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok 65000<sup>2</sup>Uthai Thani Technical College, Uthai Thani 61000

\*Corresponding author. E-mail: Somporn@nu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ คือ ระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่รถไฟฟ้าด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ระบบที่นำเสนอสามารถแสดงพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ ที่มีค่าระดับแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความจุประจุที่เหลือของแบตเตอรี่ในสถานการณ์แบบเรียลไทม์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบเก็บข้อมูลที่ถูกรวบรวมได้นำเสนอ ระบบแสดงสถานะการใช้งานแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า ซึ่งภายในกล่องประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์, โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า 2 ตัว ไดโอดขนาดพิคกิ้งกระแส 25 แอมป์ 2 ตัว วงจรแบ่งแรงดัน ประกอบด้วยตัวต้านทานขนาด 6.8 กิโลโอห์ม และตัวต้านทานขนาด 100 กิโลโอห์ม อีกทั้งข้อมูลพลังงานของแบตเตอรี่สามารถถูกนำเสนอบนมือถือแบบสมาร์ตและเก็บรักษาในฐานข้อมูลคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ยิ่งไปกว่านี้ระบบที่นำเสนอสามารถถูกใช้สำหรับเป้าหมายในการเตือนฉุกเฉินเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าต่ำใกล้ 10 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ระบบแสดงสถานะแบตเตอรี่ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง รถไฟฟ้า

**Abstract**

This paper is an electric motor battery monitoring system based on the internet of things. This proposed system can display battery parameters that afford its values of the voltage, current, and the remaining charge capacity in a real-time scenario. Also, designed electronic hardwares and data storage systems are illustrated. The system shows the battery usage status of the electric car. Inside the box contains a microcontroller board, two current measuring modules, two 25 Amp diodes, a voltage divider consisting of a 6.8 kilo-ohm resistor, a 100 kilo-ohm resistor. Therefore, battery energy data can be also presented on a smartphone device and stored in the cloud server database. Additionally, this proposed system can be used for targeting with emergency alert due to low electrical energy with 10 percent.

**Keywords:** Battery Monitoring System, Internet of Things, Electric Motor