

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์เรื่องระบบการจัดการสถานะการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในระบบพลังงานทดแทน ได้รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัยอันประกอบด้วยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งจะประกอบไปด้วย

1. ระบบพลังงานทดแทน
2. แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
3. การประมาณค่าสถานะคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด
4. การออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทน
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System) [1]

พลังงานทดแทนโดยทั่วไปหมายถึงพลังงานที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติและสามารถมีทดแทนได้อย่างไม่จำกัด (เมื่อเทียบกับพลังงานหลักในปัจจุบัน เช่น น้ำมันหรือถ่านหิน) ตัวอย่างพลังงานทดแทนที่สำคัญเช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ไบโอฟิล พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง พลังงานคลื่น และพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากกระบวนการชีวภาพเช่น บ่อก๊าซชีวภาพ เป็นต้น พลังงานลมมีอัตราเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 30 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี โดยพลังงานที่ได้ทั่วโลกอยู่ที่ประมาณ 157,900 เมกะวัตต์ (MW) ในปี 2552 พลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งในที่นี่จะขอกล่าวถึงเฉพาะศักยภาพ และสถานภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานทดแทน การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นการศึกษา ค้นคว้า ทดสอบ พัฒนา และสาธิต ตลอดจนส่งเสริมและเผยแพร่พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล และอื่นๆ เพื่อให้มีการผลิต และการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐกิจ และสังคม

2.2 ประเภทของพลังงานทดแทน

2.2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ ดวงอาทิตย์ให้พลังงานจำนวนมหาศาลแก่โลกของเรา พลังงานจากดวงอาทิตย์จัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญที่สุด เป็นพลังงานสะอาดไม่ทำปฏิกิริยาใดๆอันจะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ เซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ที่ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า เนื่องจากสามารถเปลี่ยนเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ส่วนใหญ่เซลล์แสงอาทิตย์ทำมาจากสารกึ่งตัวนำพวกซิลิคอน มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 22 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร จึงได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ในเกณฑ์สูง พลังงานโดยเฉลี่ยซึ่งรับได้ทั่วประเทศประมาณ 4 ถึง 4.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ประกอบด้วยพลังงานจากรังสีตรง (Direct Radiation) ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นพลังงานรังสีกระจาย (Diffused Radiation) ซึ่งเกิดจากละอองน้ำในบรรยากาศ(เมฆ) ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าบริเวณที่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรออกไปทั้งแนวเหนือ - ใต้

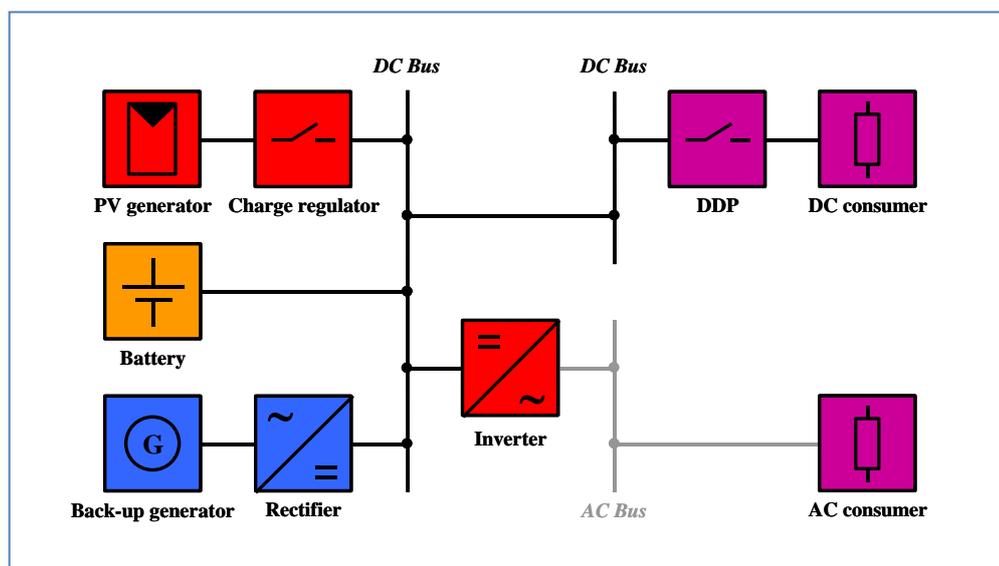
2.2.2 พลังงานลม เป็นพลังงานธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 ที่ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ใช้แล้วไม่มีวันหมดสิ้นไปจากโลก ได้รับความสนใจนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์อย่างกว้างขวาง ในขณะเดียวกัน กังหันลมก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ โดยเฉพาะในการผลิตกระแสไฟฟ้า และในการสูบน้ำ ซึ่งได้ใช้งานกันมาแล้วอย่างแพร่หลาย พลังงานลมเกิดจากพลังงานจากดวงอาทิตย์ตกกระทบโลกทำให้อากาศร้อน และลอยตัวสูงขึ้น อากาศจากบริเวณอื่นซึ่งเย็นและหนาแน่นมากกว่าจึงเข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของอากาศเหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดลม และมีอิทธิพลต่อสภาพลมฟ้าอากาศในบางพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวฝั่งทะเลอันดามันและด้านทะเลจีน(อ่าวไทย) มีพลังงานลมที่อาจนำมาใช้ประโยชน์ในลักษณะพลังงานกล (กังหันสูบน้ำกังหันผลิตไฟฟ้า) ศักยภาพของพลังงานลมที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สำหรับประเทศไทย มีความเร็ว อยู่ระหว่าง 3 - 5 เมตรต่อวินาที และความเข้มพลังงานลมที่ประเมินไว้ได้อยู่ระหว่าง 20 - 50 วัตต์ต่อตารางเมตร

2.2.3 พลังงานน้ำ พื้นผิวโลกถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ปกคลุมด้วยน้ำ ซึ่งมีความสำคัญยิ่งต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย น้ำเหล่านี้มีการเปลี่ยนสถานะและหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา ระหว่างผิวโลกและบรรยากาศอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเรียกว่า วัฏจักรของน้ำ น้ำที่กำลังเคลื่อนที่มีพลังงานสะสมอยู่มาก และมนุษย์รู้จักนำพลังงานนี้มาใช้หลายร้อยปีแล้ว เช่น ใช้หมุนกังหันน้ำ ปัจจุบันมีการนำพลังงานน้ำไปหมุนกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า

2.3 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรอกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะเช่น การทำงานร่วมกันระหว่าง พลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงเรียกว่าโฟโตโวลตาอิกเซลล์ (Photovoltaic cell: PV cell) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าซึ่งในส่วนนี้จะพยายามออกแบบให้มีช่วงการทำงานที่น้อยที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ในระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบผสมผสานนั้นจำเป็นจะต้องมีส่วนที่เก็บพลังงานไว้ใช้ในสภาวะที่เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เช่น ตอนกลางคืน หรือ ขณะมีเมฆปกคลุม เพื่อลดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

ส่วนที่เก็บพลังงานสำรอง หรือ แบตเตอรี่ เป็นส่วนที่จำเป็นสำหรับระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพสามารถทำงานได้ต่อเนื่องและประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนแบบผสมผสานจะมีลักษณะการออกแบบและใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่นั้น ๆ ดังแสดงตัวอย่างระบบในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

2.4 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ปี ค.ศ. 1859 กาสตอง ปองเต (Gaston Plante: ค.ศ. 1834-1889) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสได้พัฒนาแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ (Secondary Cell) ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่สามารถนำมาประจุไฟฟ้าใหม่ได้และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งในปี ค.ศ. 1920 ได้มีการผลิตแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้านและต่อมาก็มีการพัฒนาให้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบันส่วนประกอบของแบตเตอรี่จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภท ชนิด และงานที่ใช้โดยขึ้นอยู่กับการออกแบบของบริษัทผู้ผลิต แต่จะมีส่วนประกอบหลักที่เหมือนกันดังนี้

2.4.1 วัสดุที่ทำปฏิกิริยา (Active Materials)

เซลล์ไฟฟ้าเคมีจะประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบซึ่งเป็นวัสดุต่างชนิดกันเป็นผลให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วไดออกไซด์และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่วเป็นต้น

2.4.2 โครงแผ่นธาตุ (Support Grids)

โครงแผ่นธาตุทำจากตะกั่วผสมโลหะเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล โลหะที่นำมาผสมเช่นพลวง (Antimony) ดีบุก (Tin) แคลเซียม (Calcium) เป็นต้น โดยตะกั่วพลวงเป็นโลหะผสมที่ใช้กับแบตเตอรี่ชนิดแรกซึ่งมีผลดีคือ อายุการใช้งานของแผ่นธาตุยาวนานขึ้นเพิ่มความแข็งแรงเหมาะสมกับงานรถยนต์ไฟฟ้า แต่ผลเสียคือความต้านทานในเซลล์มีค่าสูงทำให้เกิดการคายประจุในตัวเอง (Self-discharge) เร็วขึ้นและอายุการใช้งานสั้น ภายหลังจึงเปลี่ยนเป็นตะกั่วแคลเซียมซึ่งมีข้อได้เปรียบคือการเพิ่มอายุการใช้งานของแผ่นธาตุซึ่งนิยมใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้ง

2.4.3 แผ่นกั้น (Separator)

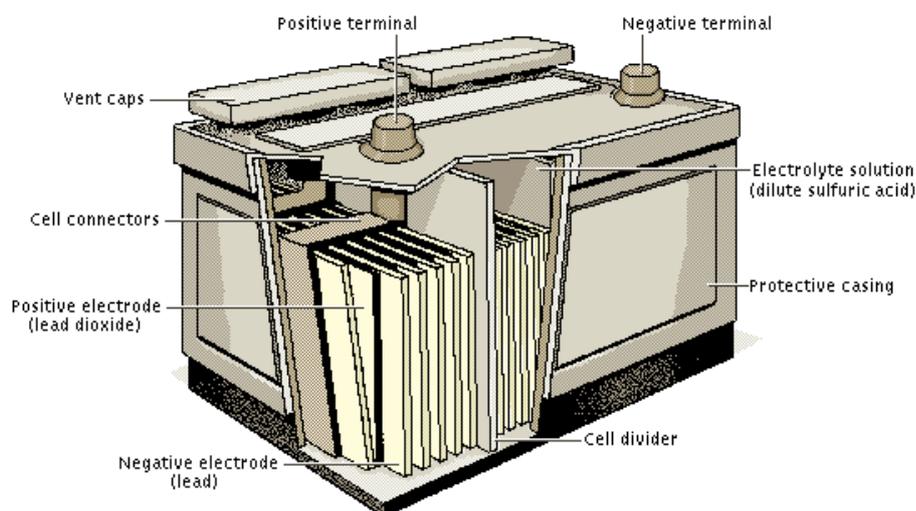
แผ่นกั้นทำหน้าที่ป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงของขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง คุณสมบัติที่ดีของแผ่นกั้นจะต้องมีความต้านทานการไหลของไอออนในสารละลายต่ำ หมายความว่าแผ่นกั้นต้องมีความพรุนให้อิออนผ่านได้สะดวกและไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือแผ่นธาตุในระบบ ช่วงแรกแผ่นกั้นทำมาจากวัสดุจำพวกไม้โดยนำยางไม้ออกก่อน ภายหลังใช้ยางธรรมชาติซึ่งให้ความพรุนมากกว่า แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ยางสังเคราะห์เนื่องด้วยความสะดวกในการผลิตและต้นทุนต่ำกว่า

2.4.4 สารละลาย (Electrolyte)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นกรดซัลฟูริกซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะที่ใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่และสภาพภูมิอากาศถ้าใช้สารละลายที่มีความถ่วงจำเพาะมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียเช่น การคายประจุในตัวเองสูงและการผุกร่อนของแผ่นธาตุเร็ว ในทางกลับกันจะมีประโยชน์สำหรับภูมิประเทศเขตนาว เนื่องจากจะทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายต่ำลง

2.4.5 หม้อแบตเตอรี่ (Container)

หม้อแบตเตอรี่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากไม้ แก้ว เซรามิก ปัจจุบันวัสดุที่นิยมใช้ทำมาจากพลาสติกพีวีซีหรือโพลีเอทิลีน โดยแบ่งออกเป็นช่อง ๆ ขึ้นอยู่กับการออกแบบโดยกำหนดให้หนึ่งช่องมีความต่างศักย์ประมาณ 2 โวลต์ต่ออนุกรมกัน ส่วนการเลือกวัสดุจะต้องเป็นวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและไม่มีผลต่อปฏิกิริยาในระบบ



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

ในการเลือกวัสดุนั้นจะต้องเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและไม่มีผลต่อปฏิกิริยาในระบบ ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้โลหะแต่สำหรับในแบตเตอรี่รถยนต์และรถยนต์จะใช้โลหะด้านนอกเพื่อความแข็งแรงแต่ด้านในจะเป็นพลาสติก แบตเตอรี่ต่างชนิดกันแม้จะมีความจุเท่ากันก็อาจมีขนาดตัวถังต่างกันเนื่องด้วยปริมาณสารละลายที่ต่างกัน

2.5 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด มีคุณสมบัติเฉพาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะจัดแบ่งเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1) แบตเตอรี่รถยนต์ (Starting Lighting and Ignition : SLI) เป็นแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาใช้กับงานลักษณะการคายประจุน้อย (Shallow Cycle) ใช้กับระบบรถยนต์เป็นส่วนใหญ่ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีแผ่นเพลทบางทั้งเพลทบวกและลบ ลักษณะการออกแบบแบบนี้เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำปฏิกิริยา การที่เพลทมีพื้นที่ทำปฏิกิริยามากต่อเซลล์ ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้จ่ายกระแสสูงๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ ถึงแม้ว่าไม่ได้รับการออกแบบให้มียุการใช้งานนานกับลักษณะการคายประจุแบบลึก (Deep Cycle) แบตเตอรี่แบบนี้ ก็ยังมีการนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศกำลังพัฒนา ที่มีอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่เพียงชนิดเดียว ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อนำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจใช้งานได้ถึงสองปี กับระบบอิสระขนาดเล็กที่มีการใช้งานไม่เกิน 10-20 เปอร์เซ็นต์ DOD ต่อวัน และจำกัดไว้มากที่สุด ไม่เกิน 40-60 เปอร์เซ็นต์ DOD

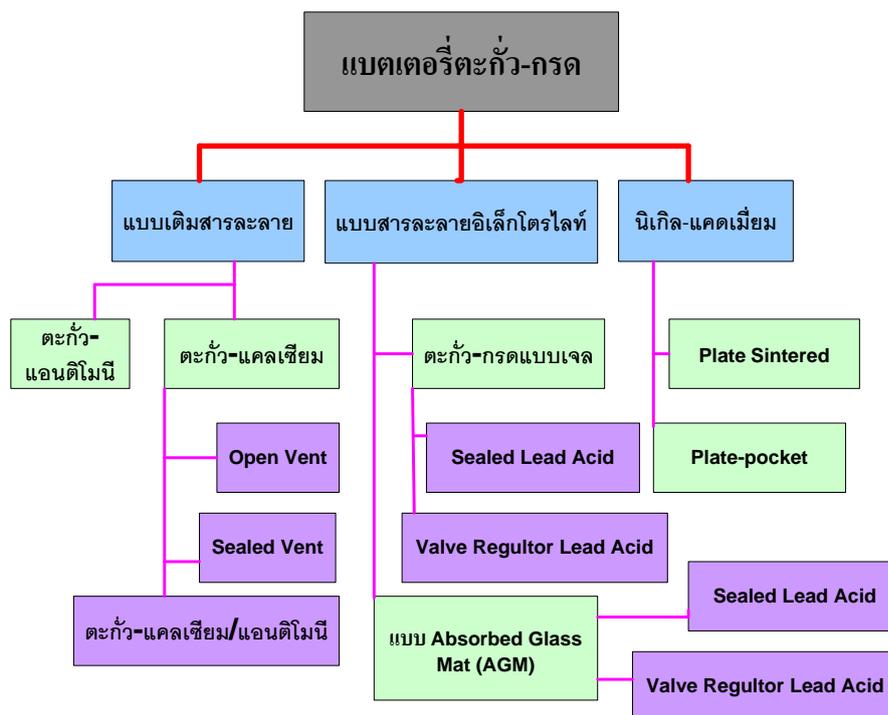
2) แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Motive Power or Traction Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้รับการออกแบบสำหรับการใช้งานที่มีการคายประจุมาก ส่วนใหญ่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า รถยกไฟฟ้า ในสนามกอล์ฟ แบตเตอรี่ชนิดนี้ จะมีจำนวนเพลทต่อเซลล์น้อยกว่าแบบที่ใช้กับรถยนต์ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะเพลทจะหนาและทนทานกว่าวัสดุที่นำมาทำกริดแบบนี้ในยุคแรกๆ จะใช้ ตะกั่ว-แอนติโมนี เพื่อให้สามารถคายประจุได้มาก แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันดีและมีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก (Deep Cycle) อายุการใช้งานนาน และออกแบบมาให้มีความทนทาน

3) แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้า (Stationary Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS) เพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับระบบคอมพิวเตอร์ ระบบโทรศัพท์ และระบบไฟฟ้าอื่นๆ แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้ามีคุณลักษณะคล้ายกับทั้งแบตเตอรี่รถยนต์และแบตเตอรี่รถไฟฟ้า และจะออกแบบให้มีการคายประจุมาก

2.5.1 ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ปัจจุบันมีแบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลายหรือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ผลิตออกมาจำหน่ายหลายชนิด ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นชนิดที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะมี 3 ชนิด คือ

- แบบเติมสารละลาย (Flooded Lead Acid Battery)
- แบบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (VRLA Battery)
- นิกเกิล-แคดเมียม



รูปที่ 2.3 ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

1) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแอนติโมนี (Sb) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท การใช้สารแอนติโมนีผสมกับตะกั่วในเพลทมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดี คือการเพิ่มความแข็งแรงทนทานของแผ่นกริดเพลท ให้มากกว่าใช้ตะกั่วธรรมดา และทำให้สามารถใช้งานคายประจุมาก หรือที่เรียกว่า ประจुरอบลึก และงานที่มีอัตราการคายประจุสูงได้เป็นอย่างดี กริดแบบตะกั่ว-แอนติโมนี ยังจำกัดการปลดปล่อยตัวของสารทำปฏิกิริยาทำให้มีอายุการใช้งานมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แคลเซียมเมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูง ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี คือการมีอัตราการคายประจุในตัวเองสูง และจากที่ความต้องการการประจุเกินบ่อยทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยๆ ขึ้นกับอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการประจุเกิน

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี ส่วนใหญ่แล้วเป็นแบบเติมสารละลายมีช่องระบายก๊าซ เป็นเกลียวเปิดสำหรับเปิดเติมน้ำแบตเตอรี่แบบนี้เหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก และความสามารถในการใช้ด้านอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดนี้ ต้องการการเติมน้ำเป็นระยะเวลาที่แน่นอน การลดความถี่ของการเติมน้ำอาจจะโดยการใช้ฝาปิดที่ดักจับน้ำที่ระเหยไปกลับ หรือการออกแบบแบตเตอรี่ที่มีการแลกเปลี่ยนสารละลายจากด้านนอก การเช็ควัดความผิดปกติของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำได้โดยการวัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายโดยใช้

ไฮโครมิเตอร์ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี แบบเพลาทหนาและการออกแบบที่แข็งแรง ส่วนใหญ่แล้วจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้ เพราะเป็นลักษณะการใช้งานที่ต้องการลักษณะการคายประจุสูงและอายุการใช้งานนาน

2) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแคลเซียม (Ca) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท เหมือนแบบตะกั่ว-แอนติโมนี เช่นเดียวกันการใช้ส่วนผสมแคลเซียมในเพลทตะกั่วมีทั้งประโยชน์และข้อเสีย ส่วนที่เป็นข้อดี คือการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นกริดเพลท มีอัตราการคายประจุในตัวเองต่ำ และลดผลการเกิดก๊าซซึ่ง ทำให้มีการสูญเสียเล็กน้อยลง การบำรุงรักษาก็ลดลงด้วย ข้อเสียของการผสมแคลเซียม คือมีคุณสมบัติการประจุที่ไม่ดีในสภาวะที่คายประจุมากๆ และเมื่อนำไปใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูง หรือใช้งานคายประจุมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ DOD บ่อยๆ อายุการใช้งานจะสั้นลง แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม มีอยู่ 3 ชนิดคือ

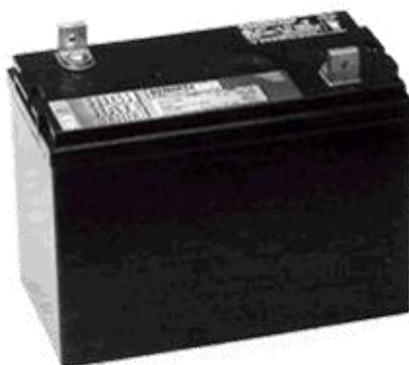
2.1) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent แบตเตอรี่ชนิดนี้ จัดอยู่ในชนิดใช้สำหรับระบบไฟฟ้า ส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาดลูกตะ 2 โวลต์ มีความจุหลายขนาดและมากถึง 1000 แอมแปร์-ชั่วโมง แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีข้อดีที่มีอัตราการคายประจุด้วยตัวเองต่ำและมีการสูญเสียเล็กน้อย และอาจมีอายุการใช้งานนานถึง 20 ปี ถ้าใช้ในโหมดไฟฟ้าสำรอง สำหรับการประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ยังมีประสิทธิภาพไม่มากนักเนื่องจากปัญหาเรื่องปรากฏการณ์แชลเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย (Stratification)

2.2) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Vent การพัฒนาแบตเตอรี่ ชนิดนี้เริ่มต้นใช้ชื่อ Maintenance Free ใช้กับรถยนต์มีความจุในช่วง 50 แอมแปร์-ชั่วโมง ถึง 200 แอมแปร์-ชั่วโมง ขนาด 12 โวลต์ และมีคุณสมบัติเหมือนกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียมธรรมดา คือทนต่อการประจุเกิน สภาวะแวดล้อมอุณหภูมิสูงและการทำงานในลักษณะการคายประจุมาก ความหมายของการไม่มีการบำรุงรักษา คือ การไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นการออกแบบแบตเตอรี่จะมีการสำรองสารอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้ตลอดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้กับระบบโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก เช่นระบบที่ใช้ในบ้าน ระบบแสงสว่าง แต่ต้องระมัดระวังในการประจุ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สูงสุดและอายุงานที่สุด ถึงแม้จะมีราคาถูก แต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ ได้รับการออกแบบสำหรับการคายประจุน้อย (Shallow Cycle) และจะมีอายุการใช้งานสั้นเมื่อนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

3) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี แคลเซียม ไฮบริด แบตเตอรี่ชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเติมน้ำกลั่น มีความจุถึง 200 แอมแปร์-ชั่วโมง ลักษณะการออกแบบที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือการใช้ตะกั่ว-แคลเซียม เป็นกริดแบบแท่งในขั้วบวกและใช้ตะกั่ว-แอนติโมนีในขั้วลบ การออกแบบนี้ได้รวมข้อดีของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิด คือมีประสิทธิภาพดีที่การคายประจุมาก มีการ

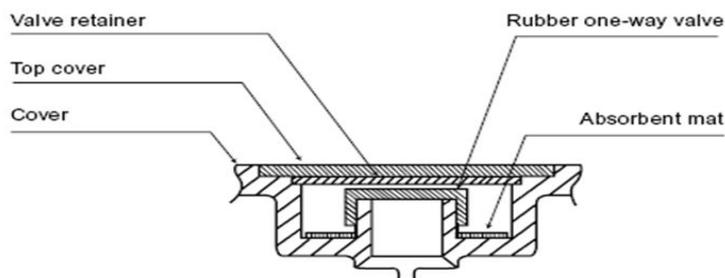
สูญเสียเล็กน้อยและอายุการใช้งานนานปัญหาปรากฏการณ์ซัลเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย ยังคงมีอยู่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบขนาดใหญ่

4) แบตเตอรี่ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA) ดังรูปที่ 2.4 เป็นแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด อีกชนิดหนึ่งโดยสารอิเล็กโทรไลต์จะถูกอิมโมบิลไลซ์ (Immobilized) และปิดผนึกในภาชนะบรรจุ ถ้าเกิดสภาวะประจุเกินช่องระบายอากาศจะเปิดโดยแรงดันอากาศภายใน ดังรูปที่ 2.5 แบตเตอรี่ส่วนใหญ่แล้วจะเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่า Valve Regulated Lead-Acid (VRLA) สารอิเล็กโทรไลต์จะไม่สามารถเติมได้ในแบตเตอรี่ชนิดนี้ ดังนั้นในการใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องไม่ทำการประจุเกิน แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บลมผลิตไฟฟ้า เพราะได้รับการพิสูจน์ใช้งานแล้วและสะดวกต่อการขนส่ง และที่สำคัญคือไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งเป็นแบตเตอรี่ในอุดมคติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บลมผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล แต่อย่างไรก็ตามสาเหตุที่จะทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้เกิดการเสียหายได้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือการประจุเกิน ทำให้สูญเสียสารอิเล็กโทรไลต์ซึ่งมักเกิดในสภาวะอุณหภูมิสูง ดังนั้นสำหรับกรณีนี้ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ จะต้องตั้งจุดควบคุมไม่ให้มีสภาวะประจุเกิน (Over Charging)

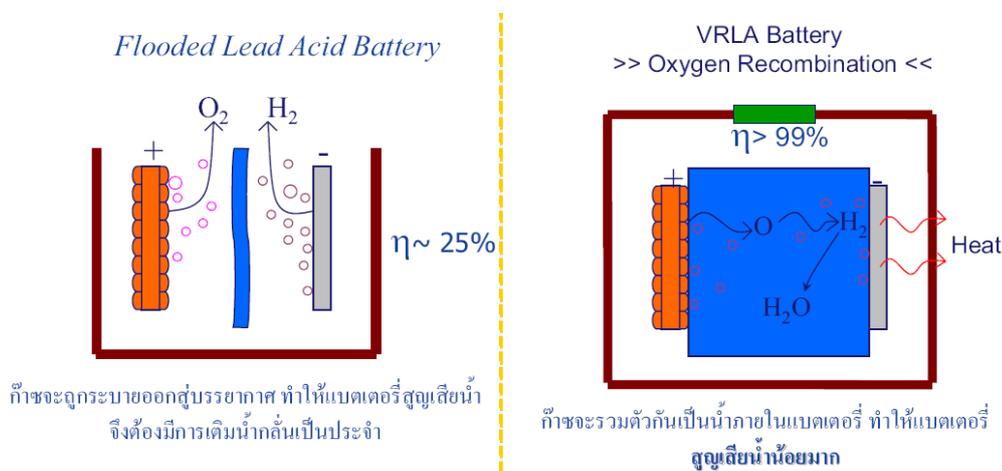


รูปที่ 2.4 แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด แบบปิด (Valve Regulated Lead-Acid ,VRLA) [2]

VRLA เป็นแบตเตอรี่ที่ปิดผนึกโดยรอบยกเว้นวาล์ว (วาล์วทางเดียว) ที่จะเปิดออกเองในบางครั้ง เพื่อลดความดันในแบตเตอรี่ในกรณีที่เกิดการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันที่เกินกว่าค่าที่แนะนำของบริษัทผู้ผลิต หรืออุณหภูมิที่ใช้งานสูงผิดปกติ โดยแก๊สที่ระบายออกมานั้นจะมีส่วนของไฮโดรเจน และออกซิเจน



รูปที่ 2.5 โครงสร้างวาล์วระบายแก๊ส



รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่แบบ Flooded กับ VRLA

จากรูปที่ 2.6 ได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะการทำงานภายในของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดเติมสารละลาย (Flooded) กับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดแห้ง (VRLA) ขณะเกิดการสูญเสียน้ำภายในขณะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทางกายภาพ

เทคโนโลยีของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีผลกระทบเร็วมากต่อสภาวะการประจุ โดยเฉพาะข้อจำกัดระดับแรงดันและอุณหภูมิ การประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิต ถ้าไม่มีข้อมูล ไม่ควรประจุเกิน 14.2 โวลต์ ที่ 25 องศาเซลเซียส สำหรับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ข้อเสนอแนะสำหรับการประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือให้ทำการประจุที่ระดับแรงดันและอุณหภูมิกงที่เพื่อป้องกันการประจุเกิน ยังสามารถแบ่งรูปแบบของ VRLA แบตเตอรี่ได้อีก 2 ชนิด คือ

4.1) แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled battery) ดังรูปที่ 2.7 แบตเตอรี่ชนิดนี้ ออกแบบสำหรับใช้งานเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ส่วนใหญ่ใช้กรดแบบตะกั่ว-แคลเซียมแบตเตอรี่ชนิดนี้มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์เข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์ก่อนที่จะทำให้เป็นเจลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารวมกันภายใน เพื่อลดการเกิดก๊าซและลดการสูญเสียน้ำ แบตเตอรี่แบบเจล บางชนิดมีการ

ผสมกรดฟอสฟอริกในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพื่อปรับปรุงความสามารถในการคายประจุมากของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.7 แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled Battery)

4.2) แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM) ดังรูปที่ 2.8 แบตเตอรี่ชนิดนี้แตกต่างจากแบบเจล คือสารอิเล็กโทรไลต์จะซับด้วย glass mats และวางเป็นชั้นๆ ระหว่างเพลทแต่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกับเจล การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำให้สามารถใช้งานในสภาวะประจุเกินและสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นข้อแนะนำในการประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดนี้จะกำหนดแรงดันคงที่สูงกว่าแบตเตอรี่แบบเจลได้



รูปที่ 2.8 แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM)

ลักษณะเด่นของแบตเตอรี่แบบ AGM คือปรากฏการณ์การรวมตัวของก๊าซภายใน เมื่อเราทำการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดใกล้ถึงสภาวะประจุเต็ม จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนจากปฏิกิริยาในขั้วบวกและลบ ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่นก๊าซที่เกิดขึ้นจะระบายออกมาภายนอก ทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นเข้าไปทดแทน แต่ใน AGM แบตเตอรี่โมเลกุลออกซิเจนที่เกิดขึ้นใน

เพลทบวกสามารถเคลื่อนที่ไปรวมกับ โมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนที่เพลทลบและรวมตัวกลับเป็นน้ำอีกครั้ง ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะปิดสนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำและก๊าซที่เกิดขึ้นภายใน

5) แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม เป็นแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ สามารถนำมาประจุใหม่ได้ และมีการนำไปใช้ประโยชน์ในวงกว้างมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ทำให้เป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บลมผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีอายุการใช้งานนาน บำรุงรักษาน้อย สามารถทนการประจุที่ผิดปกติได้ ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ไม่มีข้อจำกัดที่ต้องควบคุมแรงดันให้คงที่ขณะประจุ ข้อเสียคือราคาแพงและมีขนาดให้เลือกใช้งานน้อย

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery)	ราคา	คุณสมบัติการคายประจุแบบลึก (Deep cycle)	การบำรุงรักษา
แบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลาย (Flooded Lead-Acid)			
1. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี	ต่ำ	ดี	สูง
2. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent	ต่ำ	ไม่ดี	ปานกลาง
3. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Vent	ต่ำ	ไม่ดี	ต่ำ
4. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/แคลเซียม	ปานกลาง	ดี	ปานกลาง
แบตเตอรี่ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA)			
1. เจลแบตเตอรี่(Gelled)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
2. Absorbed Glass Mat(AGM)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
นิเกิล-แคดเมียม			
1. ชนิดเพลทแบบ Sintered	สูง	ดี	ไม่มี
2. ชนิดเพลทแบบ Pocket	สูง	ดี	ปานกลาง

ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิด สามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ด้วยเหตุผลนานาประการไม่ว่าจะเป็นราคาที่ถูกลงและหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด เป็นต้น

2.6 นิยามและความหมายคุณสมบัติเชิงสมรรถนะของแบตเตอรี่

1) แอมแปร์ชั่วโมง (Ah) เป็นหน่วยพื้นฐานในการวัดความจุของแบตเตอรี่ โดยใช้วิธีการคายประจุด้วยกระแสคงที่แล้วจับเวลาเป็นชั่วโมงจนแบตเตอรี่คายประจุหมด โดยความจุแอมแปร์ชั่วโมงจะได้จากการนำค่ากระแสคูณกับเวลาเป็นชั่วโมง ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ความจุ 80 แอมแปร์ชั่วโมง หมายความว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นสามารถจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 8 แอมแปร์ได้นาน 10 ชั่วโมง หรือ 4 แอมแปร์ได้นาน 20 ชั่วโมง

2) ความจุ (capacity) ในทางปฏิบัติ การวัดความจุของแบตเตอรี่ยังขึ้นกับขนาดของกระแสที่คายประจุหรือระยะเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ ถ้ากระแสที่คายประจุเพิ่มขึ้นความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้จริงจะลดลง ในการกำหนดคุณลักษณะการลดลงของความจุแบตเตอรี่แบบนี้ จะมีการเขียนกำกับความจุของแบตเตอรี่ด้วยอัตราส่วนของความจุต่อเวลาเช่น แบตเตอรี่ขนาดความจุ 30 แอมแปร์-ชั่วโมง ที่ C/10 หรือ C10 หมายถึงแบตเตอรี่สามารถคายประจุ 3 แอมแปร์ในเวลา 10 ชั่วโมงโดยที่ C/10 หรือ C10 หมายถึงขนาดของกระแสที่คายประจุในที่นี้คือ 30 หารด้วย 10 เท่ากับ 3 แอมแปร์ ในแบตเตอรี่ลูกเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนเป็น C/5 ความจุจะลดลงสาเหตุคือ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุด้วยกระแสดำมีจะมีความจุมากกว่ากระแสสูงเนื่องจากมีเวลาที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเพลตลึกลงทำให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากตามไปด้วย แต่การซึมของสารละลายเข้าไปในเพลตยิ่งลึกอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ก็จะลดลง ดังนั้นอัตราการคายประจุจึงมีความสำคัญต่อทั้งความจุของแบตเตอรี่และอายุการใช้งานแบตเตอรี่ บางชนิดวัดความจุเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างความจุแอมแปร์-ชั่วโมงและแรงดันปกติของแบตเตอรี่หารด้วย 1000 เช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 100 แอมแปร์-ชั่วโมง มีความจุเท่ากับ 12 โวลต์ x (100 แอมแปร์ ชั่วโมง/1000) = 1.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง

3) Cut Off Voltage เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ระบบแบตเตอรี่ยอมให้มีได้ขณะคายประจุ ถ้าต่ำกว่านี้จะมีการเสียหายถาวรไม่สามารถเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ต่อไปได้โดยค่านี้จะกำหนดเฉพาะเจาะจงที่อัตราการคายประจุต่างๆกันบริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดแรงดันต่ำสุดหรือแรงดันสุดท้ายของการคายประจุคู่กับอัตราการคายประจุ ถ้าใช้แรงดันต่ำสุดดังกล่าวกับอัตราการคายประจุที่แตกต่างไปความจุแบตเตอรี่จะสูงกว่าสำหรับอัตราการคายประจุที่ต่ำกว่า

4) รอบการใช้งาน (Cycle) เมื่อประจุแบตเตอรี่จนเต็ม เมื่อนำไปใช้งานแล้วนำกลับมาประจุใหม่จนเต็มอีกครั้งหนึ่งจะเรียกว่า รอบการใช้งาน ในการใช้งานมีรอบการใช้งานสองลักษณะคืองานที่มีการคายประจุน้อย (shallow cycle) และงานที่มีการคายประจุมาก (deep cycle) การจะใช้งานแบตเตอรี่แบบนี้ไหนนั้นขึ้นกับลักษณะของเซลล์และส่วนใหญ่จะไม่ให้แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ในการใช้งานที่มีการคายประจุมาก มักมีการคายประจุมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ต่อหนึ่งรอบการใช้งาน

5) การคายประจุ (Discharge) คือกระบวนการที่แบตเตอรี่คายประจุไฟฟ้าออกมา จะกำหนดในรูปของกระแสการคายประจุ หรืออัตราการคายประจุ

6) การอัดประจุ (Charge) คือกระบวนการที่แบตเตอรี่อัดประจุไฟฟ้ากลับไปใหม่ จะกำหนดในรูปของกระแสอัดประจุ หรืออัตราการประจุ

7) Negative (-) เป็นจุดที่มีความต่างศักย์ต่ำในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง หรือขั้วลบของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนไหลออกมาเมื่อมีการคายประจุ

8) Positive (+) เป็นจุดที่มีความต่างศักย์สูงในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วบวกของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนหรือกระแสไหลเมื่อมีการประจุ

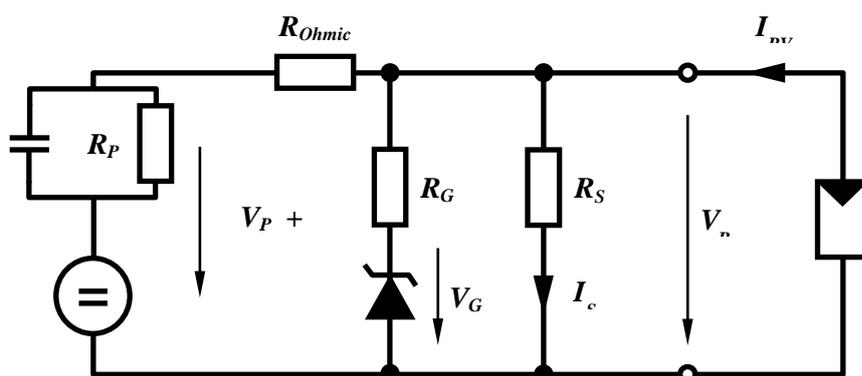
9) Open Circuit Voltage คือแรงดันที่แบตเตอรี่อยู่ในสถานะสมดุล ไม่มีการประจุ หรือไม่มีการคายประจุ แรงดันนี้จะขึ้นกับลักษณะการออกแบบแบตเตอรี่ ความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิ

10) อายุการใช้งานแบตเตอรี่ (Battery Lifetime) อายุการใช้งานแบตเตอรี่คือช่วงเวลาที่ความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็มลดลงจากความจุเต็มของแบตเตอรี่ใหม่ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยการลดลงนั้นเกิดขึ้นทั้งจากจำนวนรอบการใช้งาน และอายุของเซลล์ในบางรอบการใช้งาน วัสดุทำปฏิกิริยาจะหลุดออกจากอิเล็กโทรด และจมลงด้านล่างของภาชนะบรรจุ เมื่อวัสดุแยกออกมาจากอิเล็กโทรดวัสดุ นั้นจะไม่สามารถคืนรูปเหมือนเดิมได้ส่งผลให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลงได้เช่นเดียวกัน จำนวนรอบของการใช้งานก่อนที่ความจุเต็มจะลดลงเหลือ 80 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่าอายุของเซลล์ (cell life) อายุของเซลล์นี้จะขึ้นกับลักษณะการคายประจุ ขนาดของกระแสที่คายประจุและอุณหภูมิในการใช้งานบางงานเซลล์ไม่ได้มีการใช้งานเป็นรอบบ่อยๆ เช่นในระบบไฟฟ้าฉุกเฉินแบตเตอรี่จะได้รับการประจุเต็มตลอดเวลา จนกระทั่งถึงเวลาฉุกเฉินจึงมีการคายประจุ ความจุเต็มของแบตเตอรี่ชนิดนี้จะลดลงตามอายุการใช้งาน ดังนั้นจึงเรียกอายุของการใช้งานแบตเตอรี่แบบนี้เป็นอายุตามปฏิทิน (calendar life) หรืออายุสแตนด์บาย (standby life) โดยมีหน่วยเป็นปีอายุตามปฏิทินนี้ จะขึ้นกับอุณหภูมิและวิธีการเก็บรักษาแบตเตอรี่ในเซลล์บางชนิด แบตเตอรี่จะสามารถใช้งานได้นานเท่าอายุปฏิทินของแบตเตอรี่ก็ต่อเมื่อมีการใช้งานแบบที่มีการคายประจุน้อยเท่านั้น ดังนั้นจะไม่สามารถใช้ไฟฟ้าเท่ากับความจุของแบตเตอรี่ทั้งหมดได้ เวลาที่กล่าวถึงความจุแบตเตอรี่จึงมักกล่าวถึงความจุสองลักษณะคือ ความจุทั่วไป (nominal capacity) และความจุที่ใช้งานจริง (usable capacity)

11) Effects of Discharge Rates ความจุเต็มของแบตเตอรี่จะลดลง เมื่อมีการใช้งานแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุสูงขึ้น อัตราการคายประจุสูงนี้ มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลด จะมีค่าต่ำกว่าการใช้อัตราการคายประจุต่ำกว่า บางครั้งอาจส่งผลถึงการเลือกจุดแรงดันต่ำสุดที่จะตัดภาระทางไฟฟ้าออก ในแรงดันแบตเตอรี่ค่าเดียวกัน

12) การเกิดแก๊สซึ่งและปฏิกิริยาเมื่อมีการประจุเกิน เซลล์ของแบตเตอรี่เมื่อได้รับการประจุเต็ม วัสดุทำปฏิกิริยาในอิเล็กโทรด เปลี่ยนรูปจากสถานะการคายประจุเป็นสถานะการประจุเต็มทั้งหมด ถ้ายังทำการประจุต่อไป จะเกิดปฏิกิริยาเคมีอื่นขึ้นแทนที่อิเล็กโทรด

ปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือปฏิกิริยาแยกน้ำทำให้เกิดก๊าซ เรียกการเกิดก๊าซซึ่งเนื่องจากมีฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรด โดยฟองออกซิเจนจะเกิดที่ผิวเพลทขั้วบวกและไฮโดรเจนเกิดที่ผิวเพลทขั้วลบ



รูปที่ 2.9 วงจรเทียบเคียงการเกิดก๊าซซึ่ง [2]

การเกิดแก๊สซึ่งแบบช้าๆ ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ แต่การเคลื่อนที่ของฟองก๊าซแบบช้าๆ กลับทำให้เกิดประโยชน์เนื่องจากฟองก๊าซจะทำให้เกิดการผสมกันของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่ให้เกิดการแยกชั้นความเข้มข้น (Stratification) ถ้ายังมีการเกิดแก๊สอย่างต่อเนื่องสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นและระดับของสารละลายจะลดลง ดังนั้นต้องเติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายลดลงต่ำกว่าตำแหน่งต่ำสุดยังมีปฏิกิริยาเคมีอื่นๆที่เกิดช่วงสถานะการประจุเกินคือการแยกตัวของโครงสร้างอิเล็กโทรดปฏิกิริยานี้จะรุนแรงมากกว่าการเกิดก๊าซ เพราะวัสดุที่แยกตัวไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้

ดังนั้นในการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด จึงมีความต้องการระบบควบคุมการประจุเพื่อป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้น บางครั้งการป้องกันการประจุเกินจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้วิธีออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีแรงดันพอดีกับการประจุแบตเตอรี่ในบางกรณีก็ใช้ระบบควบคุมการประจุเฉพาะ ระบบการควบคุมการประจุนั้นจะควบคุมทั้งการประจุเกิน และการดึงพลังงานออกไปใช้ไม่ให้มากเกินไปจนแบตเตอรี่ไม่สามารถประจุพลังงานกลับเข้าไปได้

2.6.1 คุณสมบัติในสภาวะการประจุแบบเตอรี

วิธีการและขั้นตอนการประจุแบบเตอรี มีหลายลักษณะ สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระวิธีการประจุแบบเตอรีแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการที่กำหนดมาโดยบริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่ การประจุแบบต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) Bulk หรือ Normal Charge เป็นการอัดประจุแบบปกติในช่วงเริ่มต้นของรอบการอัดประจุ โดยสามารถทำการประจุได้ที่อัตราต่างๆ กันที่ทำให้แรงดันของแบตเตอรี่ยังไม่ถึงแรงดันก๊าศ ซึ่งการอัดประจุแบบนี้ จะทำให้ความจุแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 80 ถึง 90เปอร์เซ็นต์ของความจุทั้งหมด

2) Float หรือ Finishing Charge เมื่อทำการอัดประจุแบบเตอรีจนใกล้จะเต็มวัสดุทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบเริ่มต้นเกือบหมดแล้วหลังจากนั้น ต้องมีการควบคุมอาจจะเป็นกระแสหรือแรงดันที่จะทำการประจุต่อไปเพื่อป้องกัน ไม่ให้มีการประจุเกินเข้าแบตเตอรี่

3) Equalizing Charge บางครั้งเรียก refreshing charge เป็นการประจุด้วยกระแสคงที่ ที่แรงดันสูง เพื่อให้เซลล์แต่ละเซลล์ได้รับการประจุเท่าเทียมกัน ในขณะที่ทำการประจุแบบนี้ เซลล์ที่มีสภาวะการประจุเต็มแล้วจะเกิดก๊าศ ในขณะที่เซลล์ที่ยังไม่เต็มจะได้รับการประจุให้เต็มการประจุแบบนี้ทำเพื่อบำรุงรักษาระบบเป็นช่วงเวลาที่แน่นอน สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานรายวันที่มีการคายประจุมาก ควรทำการประจุแบบ Equalizing Charge 1 ถึง 2 สัปดาห์ต่อครั้ง

2.6.2 คุณสมบัติในสภาวะการคายประจุและอัดประจุ

1) Depth of Discharge (DOD) คือเปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานออกไปหรือคายประจุออกไปเปรียบเทียบกับความจุทั้งหมดมีปริมาณ DOD สองปริมาณที่ใช้อธิบายในระบบแบตเตอรี่ คือ

1.1) Allowable DOD หรือ Maximum DOD เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของการคายความจุที่มากที่สุดที่ยอมให้มีการใช้งานได้ ถ้ามีการใช้งานเกินค่านี้แล้ว แบตเตอรี่ลูกนั้นจะไม่สามารถนำกลับมาประจุใช้งานได้อีกโดยทั่วไปจะกำหนดโดยแรงดันสุดท้ายในระบบแบตเตอรี่ พารามิเตอร์ที่สะท้อนค่า Maximum DOD คือค่าพิกัดแรงดันต่ำสุดแต่อย่างไรก็ตามค่า Maximum DOD นี้สามารถกำหนดตาม อุณหภูมิแวดล้อม และลักษณะของการใช้ภาระทางไฟฟ้า

1.2) Average Daily DOD เป็นปริมาณพลังงานที่ยอมให้มีการจ่ายออกจากแบตเตอรี่ได้ภายในวัน โดยกำหนดจากค่าเฉลี่ยรายวันของภาระทางไฟฟ้า ปริมาณนี้จะสัมพันธ์กับการออกแบบจำนวนวันที่ต้องการเก็บพลังงานไว้ใช้งาน

2) Stage of Charge (SOC) สถานะประจุ เป็นค่าที่บอกความจุของแบตเตอรี่ในแต่ละเวลาที่ใช้งาน มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุของแบตเตอรี่ในขณะนั้นต่อความจุที่กำหนดของแบตเตอรี่

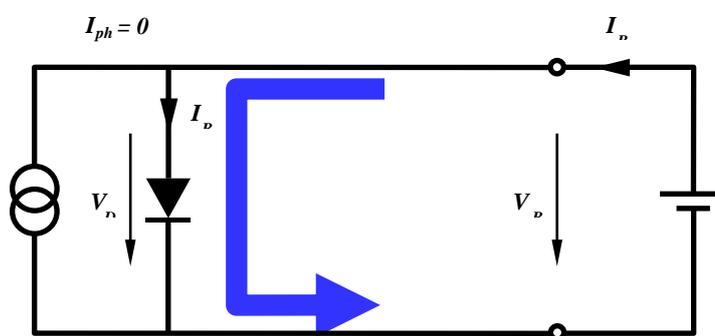
เมื่อประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่มี SOC 100 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่าแบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็ม และถ้าแบตเตอรี่มีค่า SOC เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่ามีความจุเหลืออยู่ครึ่งหนึ่งของค่าความจุที่กำหนด ในตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์อย่างง่ายของค่า DOD และค่า SOC

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DOD กับค่า SOC

เอสไอซี (% SOC)	ดีโอดี (% DOD)
100	0
75	25
50	50
25	75
0	100

อย่างไรก็ตามค่า DOD หรือ SOC จะใช้เพื่ออ้างอิงความจุปกติ (Nominal Capacity) ตัวอย่างเช่น ความจุที่อัตรา 10 ชั่วโมง (10 hour rate) การจ่ายกระแสต่ำจะให้ค่า DOD มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความหมายอย่างง่ายคือ แบตเตอรี่มีความจุในการใช้งานได้มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออัตราการคายประจุต่ำกว่าอัตราการคายประจุปกติ

3) การคายประจุด้วยตัวเอง (Self Discharge Rate) เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม และปล่อยให้โดยไม่มีภาระต่อไปใช้งานแบตเตอรี่จะมีการคายประจุในตัวเอง อัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุทั้งหมดในช่วงเวลา 1 เดือนการคายประจุด้วยตัวเองจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น



รูปที่ 2.10 แบตเตอรี่เกิดการคายประจุด้วยตัวเอง เมื่อไม่มีแสงตกกระทบ [2]

2.6.3 ค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่สามารถวัดได้ในหน่วย วัตต์-ชั่วโมง หรือกิโลวัตต์-ชั่วโมง กำหนดหาประสิทธิภาพของพลังงาน หรือ energy efficiency โดยใช้สมการที่ 2.1 ซึ่งแบตเตอรี่ทั่วไปมีค่าในช่วง 70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์

$$\text{ประสิทธิภาพของพลังงาน} = \frac{\text{พลังงานที่คายประจุ (วัตต์-ชั่วโมง)}}{\text{พลังงานที่ต้องใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}} \quad (2.1)$$

ค่าความจุของแบตเตอรี่สามารถวัดได้ในหน่วยของแอมแปร์-ชั่วโมงและประสิทธิภาพของการอัดประจุหรืออาจเรียกว่าประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมงหรือ Ah efficiency กำหนดได้จากสมการที่ 2.2 ซึ่งในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะมีค่าประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์

แบตเตอรี่โดยทั่วไปจะมีค่าประสิทธิภาพของพลังงานน้อยกว่าประสิทธิภาพของการอัดประจุหรือประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง เนื่องจากการคายประจุของแบตเตอรี่ใช้แรงดันต่ำกว่าการอัดประจุ

$$\text{ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง} = \frac{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงของการคายประจุ}}{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงที่ต้องใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}} \quad (2.2)$$

ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมงจะมีค่าเข้าใกล้หนึ่งตั้งนั้นจึงทำให้สะดวกในการเลือกใช้ค่าแอมแปร์-ชั่วโมง เพื่อให้ทราบว่าการทำการอัดประจุเพื่อแทนที่จำนวนประจุที่คายออกมาในการใช้งานค่าประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง เมื่อทำการอัดประจุเต็มพิกัด พบว่าจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการอัดประจุหรือการอัดประจุเกินจะถูกนำไปใช้งานในความต้องการอื่นๆ เช่น ปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดขึ้นในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด และแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมนั้นจะเกิดก๊าซออกซิเจนจากการแตกตัวของน้ำที่ขั้วบวก รวมถึงในแบตเตอรี่แบบเปิดที่จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากการแตกตัวของน้ำที่ขั้วลบ

2.6.4 อัตราการคายประจุและการอัดประจุ

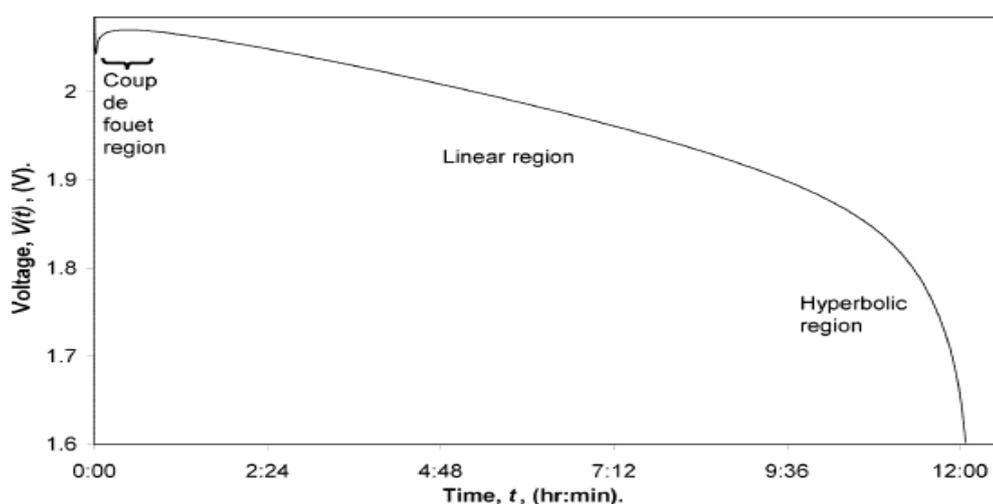
อัตราการคายประจุและการอัดประจุใช้การเปรียบเทียบค่ากระแสที่นำไปใช้ในการประจุแบตเตอรี่และไม่ขึ้นกับค่าความจุของแบตเตอรี่ รวมถึงจะแสดงเป็นจำนวนชั่วโมงเช่นอัตรา 10 ชั่วโมง (10 hour rate) และอัตรา 240 ชั่วโมง (240 hour rate) เป็นต้น กระแสที่ใช้งานนี้คำนวณโดยใช้สมการที่ 2.3 จากค่าความจุที่แบตเตอรี่สามารถคายประจุได้หารด้วยจำนวนชั่วโมง

$$\text{อัตรา} = \frac{\text{ค่าความจุ (แอมแปร์-ชั่วโมง)}}{\text{เวลา (ชั่วโมง)}} \quad (2.3)$$

ตัวอย่างเช่น C/10 หรืออัตรา 10 ชั่วโมง (10 hour rate) หมายถึง ค่ากระแสเทียบเท่าความจุของแบตเตอรี่ในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมงหารด้วย 10

2.7 คุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

จากการศึกษาคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะสามารถแบ่งออกได้ 3 ช่วงด้วยกันคือ ช่วงที่ 1 คือช่วง coup de fouet region เป็นช่วงที่แบตเตอรี่เริ่มคายประจุ แรงดันที่ขั้วจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่ที่ใช้ ในการคายประจุช่วงที่ 2 คือช่วง linear region เป็นช่วงการคายประจุที่แบบเชิงเส้นหรือเรียกว่าช่วงการทำงานของแบตเตอรี่ก่อนถึงค่าแรงดันสุดท้ายที่กำหนด เพื่อไม่ให้แบตเตอรี่คายประจุมากเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายต่อแบตเตอรี่ได้จึงเป็นช่วงที่สำคัญในการศึกษาคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าประมาณของระยะเวลาการคายประจุได้ และช่วงที่ 3 คือช่วง hyperbolic region เป็นช่วงสุดท้ายของการคายประจุซึ่งแรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงอย่างรวดเร็ว [4] ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 2.11 กราฟคุณลักษณะแรงดันและเวลาในการคายประจุ

2.8 ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ [5]

การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ที่ใช้งานเป็นปัญหาของผู้ใช้งานและมักจะสงสัยกันว่าทำไมแบตเตอรี่จึงเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันสมควรแม้ว่าจะเลือกซื้อแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานที่นานก็ตาม เช่น แบตเตอรี่ที่ออกแบบให้มียอายุ 5 ปีแต่กลับใช้งานได้เพียง 3 ปีกว่าเท่านั้น หรือในบางครั้งเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีอายุ 10 ปี แต่ก็ยังพบว่าสามารถใช้งานได้เพียง 5-8 ปีเท่านั้น ในส่วนของผู้ใช้งานแล้ว จำเป็นต้องเข้าใจในการกำหนดอายุของแบตเตอรี่ว่าเป็น 5 ปี หรือ 10 ปี นั้นเป็นการกำหนดโดยการนำแบตเตอรี่ไปทดสอบในห้องทดลองที่มีการควบคุมให้มีอุณหภูมิสูงจนทำให้มีการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีภายในแบตเตอรี่ ส่งผลให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพโดยทำให้แผ่นธาตุมีสภาพผุกร่อนเร็วขึ้น (IEEE 535) แล้วนำสภาพการผุกร่อนของแผ่นธาตุที่ได้จากการทดสอบไปกำหนดอายุจึงเป็นที่มาอายุของแบตเตอรี่หรือพอจะกล่าวได้ว่าอายุแบตเตอรี่เป็นเพียงการแบ่งระดับแบตเตอรี่โดยใช้ข้อมูลจากห้องทดลองมาเป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้แบตเตอรี่ ในทางปฏิบัติแล้วพบว่าแบตเตอรี่ที่ใช้งานในระบบมีปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ด้วยหลายสาเหตุ ในที่นี้จะได้กล่าวถึงสาเหตุของการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ในเบื้องต้นและวิธีการป้องกันการเสื่อมสภาพ

สาเหตุของการเสื่อมสภาพปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควรพอจะรวบรวมได้ดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิ (Ambient Temperature)
- แรงดัน (Float Charge Voltage)
- จำนวนครั้งในการคายประจุ (Discharge Cycle)

2.8.1 อุณหภูมิ (Ambient Temperature)

เนื่องจากแบตเตอรี่ที่เราใช้งานในระบบเป็นชนิด Valve Regulated Lead Acid :VRLA ที่มีแผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วไดออกไซด์ และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว โดยแช่ลงในน้ำกรดซัลฟิวริกการที่แผ่นธาตุได้ถูกแช่อยู่ในน้ำกรดซัลฟิวริกนั้น การผุกร่อนเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้โดยมีอุณหภูมิเป็นตัวเร่งการผุกร่อนของแผ่นธาตุ โดยอัตราการเสื่อมสภาพจะแปรผันตามอุณหภูมิโดยมีข้อกำหนดตาม IEEE 1184 ระบุว่า สำหรับแบตเตอรี่ใช้งานในลักษณะ Stand By แบตเตอรี่ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ (ในยุโรปจะกำหนดที่ 20 องศาเซลเซียส และ ในอเมริกาจะกำหนดไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส) จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงครึ่งหนึ่งด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องพยายามรักษาอุณหภูมิห้องให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ตามที่ผู้ผลิตแนะนำจะอยู่ในช่วงระหว่าง 20 หรือ 25 องศาเซลเซียส ติดตั้งให้แบตเตอรี่มีระยะห่างพอสมควรประมาณ 1.5 ถึง 2 เซนติเมตร เพื่อให้มีการระบายอากาศที่ดี หลีกเลี่ยงไม่ให้แบตเตอรี่รับแสงแดดโดยตรงหรือแหล่งความร้อนโดยตรง เป็นต้น

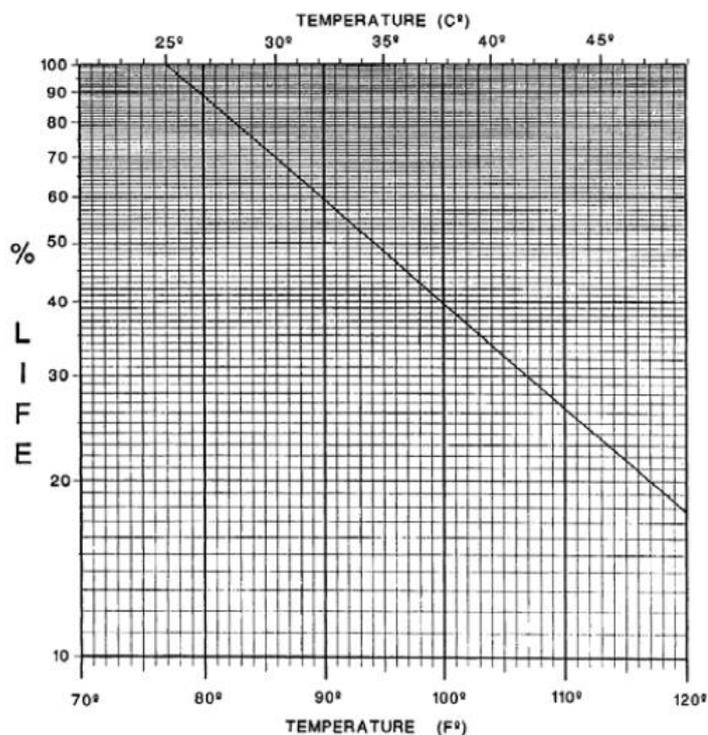


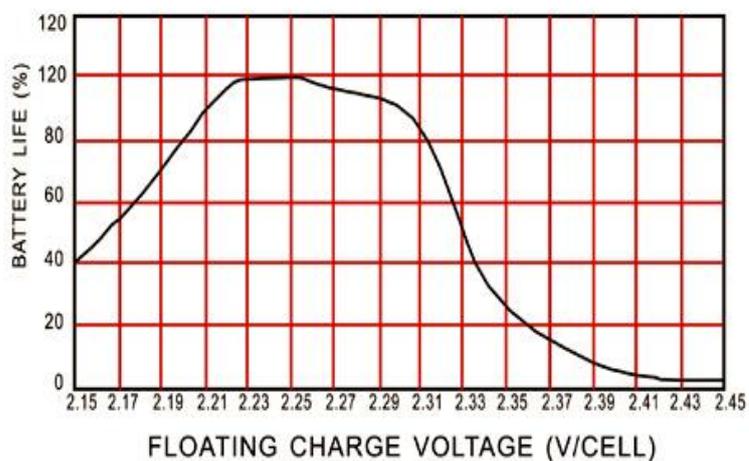
Figure A.1—Effects of temperature on battery life

รูปที่ 2.12 ผลกระทบจากอุณหภูมิเทียบกับอายุการใช้งาน IEEE 1184

2.8.2 แรงดัน (Float Charge Voltage)

การประจุแบตเตอรี่ชนิด VRLA ที่แรงดันที่ 2.25 ± 0.01 โวลต์ต่อเซลล์โดยมีชื่อเรียกว่า Floating Voltage หรือ Charging Voltage ขึ้นอยู่กับสถานะของการประจุแบตเตอรี่กล่าวคือ ในขณะที่แบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วนั้นเราเรียกแรงดันในการประจุขณะนั้นว่า Float Voltage และ เมื่อมีการประจุแบตเตอรี่หลังจากการคายประจุเราเรียกว่า Charging Voltage จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่พบว่าแรงดันที่สูงหรือต่ำเกินกว่าขอบเขตที่กำหนดจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้ดังรูปที่ 2.13 ที่แรงดัน 2.25 โวลต์ต่อเซลล์เป็นแรงดันที่เหมาะสมและแบตเตอรี่มีอายุสูงสุด หรือ ระหว่าง 2.23 ถึง 2.3 โวลต์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และในช่วงแรงดัน float ต่ำก็จะมีผลทำให้เกิดประจุไม่เต็มจนทำให้เกิด Sulfating บนแผ่นธาตุทั้งบวกและลบ และถ้าแรงดัน float เกินกว่า 2.3 โวลต์ต่อเซลล์ก็จะมีผลทำให้เกิด Over Charging โดยแบตเตอรี่จะสูญเสียน้ำจนทำให้เกิดเสื่อมสภาพในที่สุด

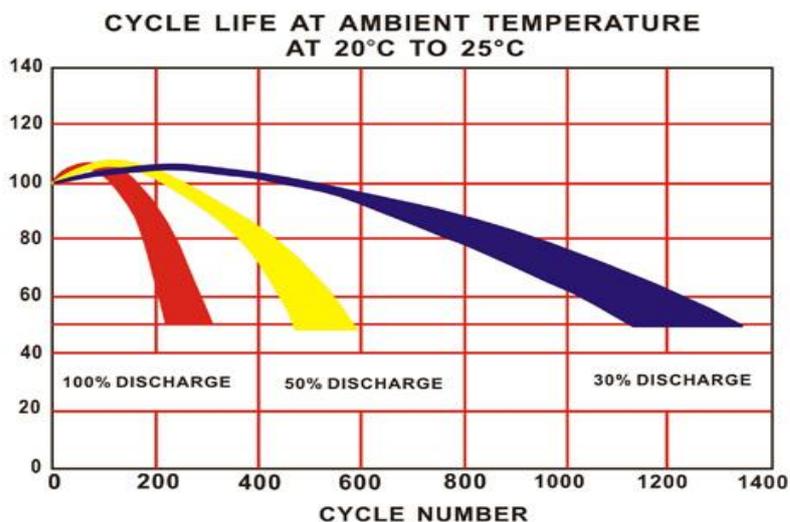
LIFE AFFECTED BY VARIOUS FLOATING CHARGE VOLTAGE
AT 25°C (77°F)



รูปที่ 2.13 ผลกระทบจากแรงดันโพล์กับอายุการใช้งาน [6]

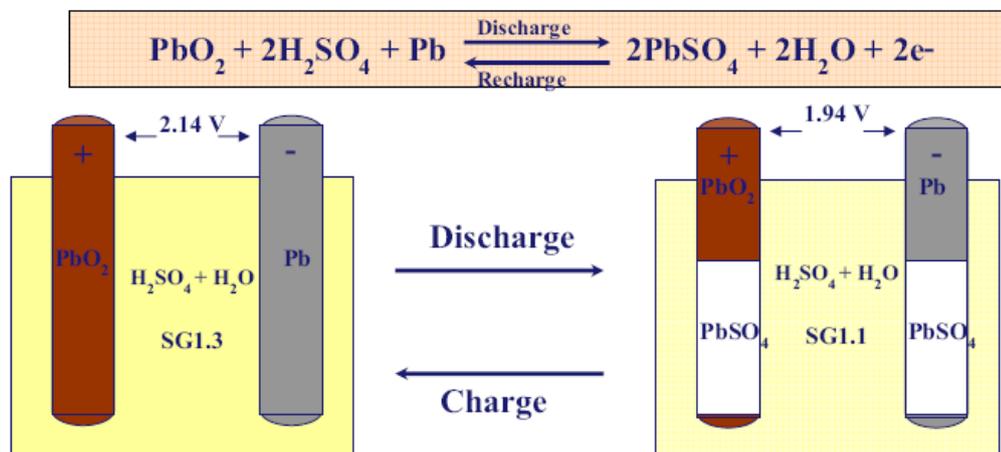
2.8.3. จำนวนครั้งในการคายประจุ (Discharge Cycle)

จำนวนครั้งในการคายประจุก็เป็นสาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ เพราะเมื่อแบตเตอรี่มีการคายประจุหรือประจุเข้าไปใหม่จะทำให้แผ่นธาตุเกิดการพุกรอนจนทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพไปในที่สุด



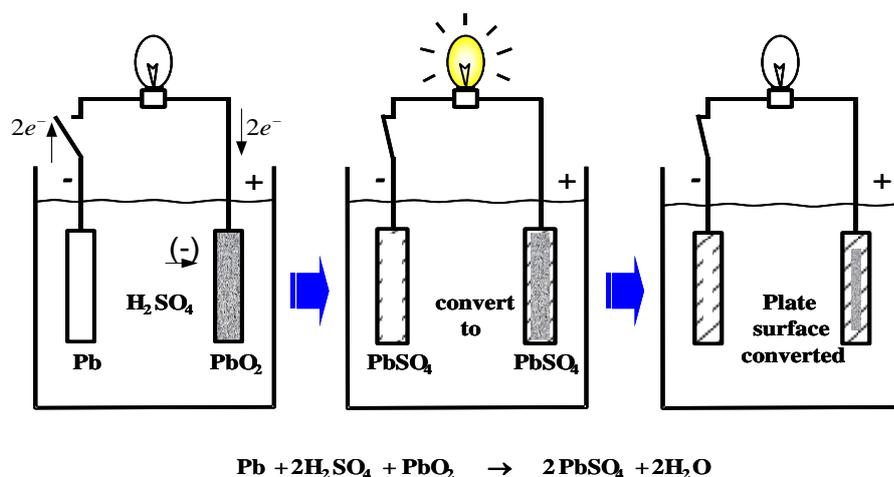
รูปที่ 2.14 ผลกระทบจากการคายประจุกับจำนวนรอบการใช้งาน [6]

2.9 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



รูปที่ 2.15 ปฏิกิริยาขณะคายประจุและประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

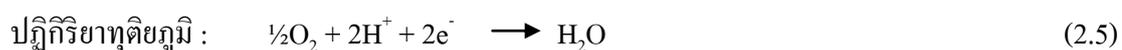
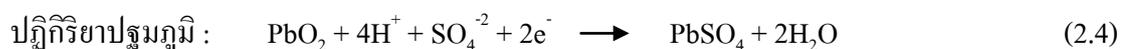
พลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมในแบตเตอรี่นั้นอยู่ในรูปของปฏิกิริยาทางเคมีโดยพลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมไว้จะถูกนำออกมาใช้เมื่อมีความต้องการ และสามารถประจุพลังงานเข้าไปใหม่ด้วยไฟฟ้ากระแสตรง แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่นิยมบรรจุไว้ในภาชนะที่ทำมาจาก Polypropylene เจือจางด้วยกรดซัลฟูริก (SO_4 -ion) ผ่านกระบวนการอิเล็กโทรไลต์ ภายในบรรจุขั้วไฟฟ้าลบและบวก ซึ่งแขนยึดติดอยู่กับตัวถัง ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันดังนี้ สำหรับแผ่นบวก (Cathode) ที่มีลักษณะเป็นแบบตาข่ายแบบช่อง ๆ ซึ่งเติมตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ลงไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุน (ซึ่งจะทำให้ได้พื้นที่ผิวที่มากกว่า) ในระหว่างการประจุ แผ่นลบ (Anode) ทำให้มีลักษณะเป็นแผ่นตาข่ายมีไว้สำหรับรองรับการขยายตัวของพื้นผิว และส่วนที่เป็นตาข่ายนี้เติมตะกั่วบริสุทธิ์ในระหว่างการประจุ และระหว่างแผ่นทั้งสองจะมีกรดเป็นตัวป้องกันการลัดวงจรระหว่างแผ่นทั้งสอง และสามารถที่จะทำปฏิกิริยาได้ จากรูปที่ 2.16 อธิบายถึงกระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



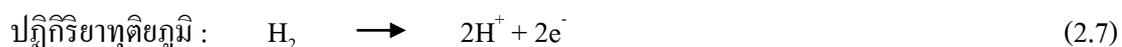
รูปที่ 2.16 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [7]

ในระหว่างที่มีการคายประจุแผ่นวัสดุทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก โดยมีสมการในการทำปฏิกิริยา ดังนี้ [8]

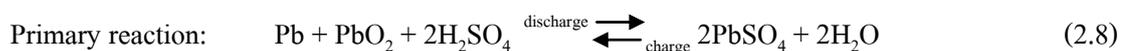
แผ่นบวก



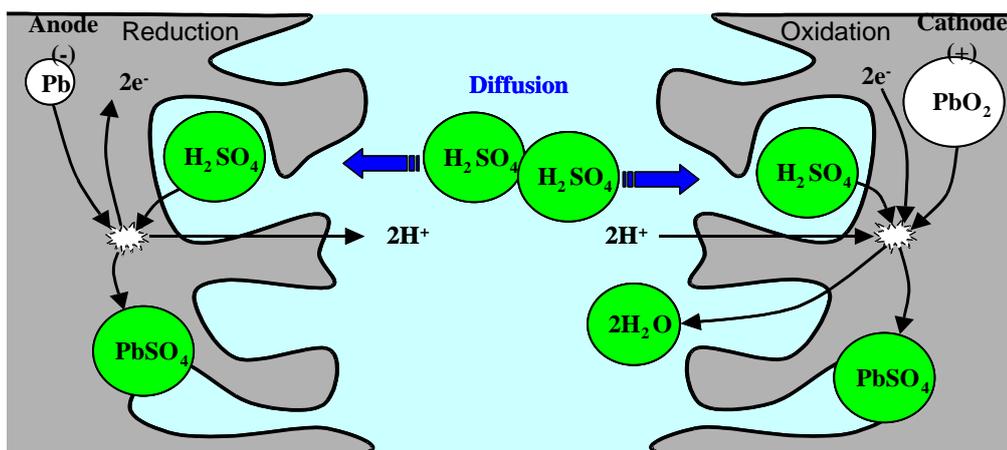
แผ่นลบ



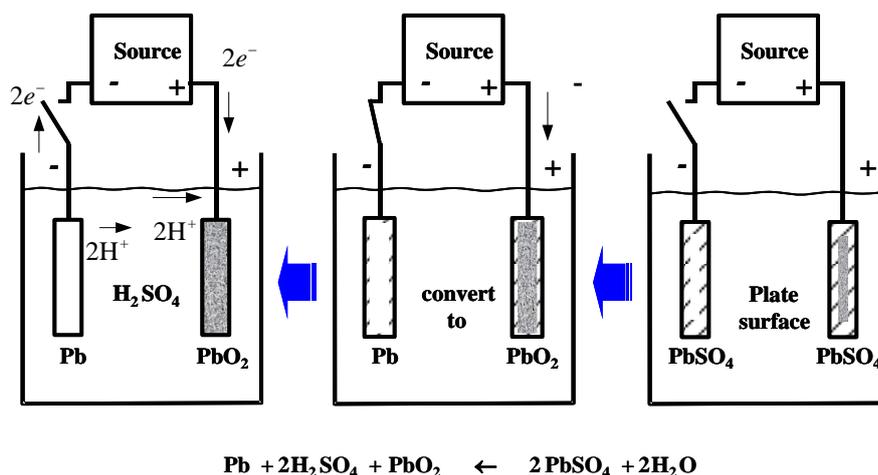
Cell:



ที่ด้านบวกตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก (SO_4 -ion) เพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟต PbSO_4 ส่วนด้านลบตะกั่วทำปฏิกิริยากับกรดเพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟตและน้ำ 2 ส่วน ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 กระบวนการเคมีของการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



รูปที่ 2.18 กระบวนการอัดประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [7]

จากสมการที่ 2.8 กระบวนการประจุด้วยกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.18 คือ ตะกั่วซัลเฟตถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นกรดซัลฟูริกและตะกั่วออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง

ส่วนเกินของการประจุหลังจากการประจุที่สมบูรณ์แล้ว ทำให้เกิดกระบวนการแยกน้ำเป็นออกซิเจนและไฮโดรเจน (Electrolysis) ซึ่งจะเกิดการออกซิเจน (O₂) ที่แยกแผ่นธาตุบวก และเกิดก๊าซออกซิเจน (H₂) ที่แผ่นธาตุลบ ก๊าซจะถูกปลดปล่อยออกจากแบตเตอรี่ ดังนั้นระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ก็จะลดลงด้วยผลดังกล่าว จึงจำเป็นต้องเติมน้ำลงในแบตเตอรี่

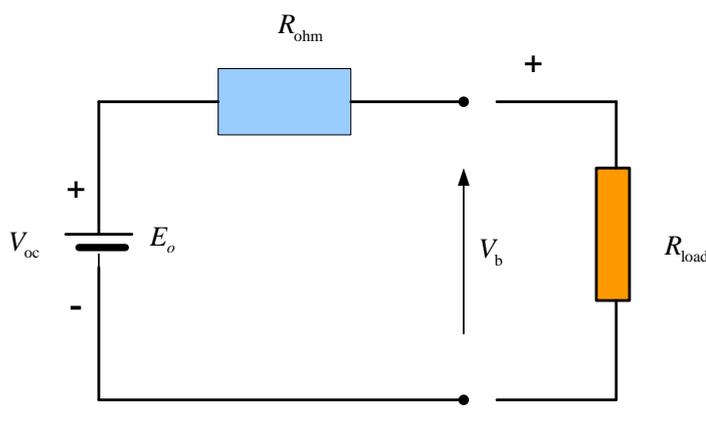
ออกซิเจน (O₂) ถูกทำให้เกิดขึ้นบนแผ่นธาตุบวก ทำปฏิกิริยาตะกั่วพูน (Pb) ของแผ่นธาตุลบและถูกเปลี่ยนรูปเป็น Lead Monoxide (PbO) ซึ่งตัว Lead Monoxide ทำปฏิกิริยากับ

Sulphuric Acid (H_2SO_4) อีกรอบหนึ่งกลายเป็น Lead Sulphate ($PbSO_4$) เมื่อเกิดการคายประจุเกิดขึ้น หรืออีกนัยหนึ่ง ออกซิเจน (O_2) ของแผ่นธาตุบวกถูกดูดซับโดยแผ่นธาตุลบ โดยไม่มีการรั่วไหลของ ออกซิเจนออกมามากพอ ผลก็คือแผ่นธาตุลบไม่ได้สร้างออกซิเจน (H_2) ก็คือน้ำที่ไม่ได้สูญเสียไป จากแบตเตอรี่

2.10 วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

2.10.1 วงจรไฟฟ้าพื้นฐานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นแบบจำลองของแหล่งจ่ายแรงดันกับแรงดันที่ตัว เซลล์ (V_{OC}) ที่ต่ออนุกรมกับความต้านทานภายใน (R_{Ohm}) ดังรูปที่ 2.19 เป็นวงจรที่มีโครงสร้างง่าย ๆ สามารถอธิบายการทำงานได้เพราะมีค่าความสัมพันธ์ของ (V_{OC}) และ (R_{Ohm}) แต่การทำงานของตัว แปรส่วนต่าง ๆ ของการประจุเมื่อถึงเวลาที่ต้องประจุ (State-of-Charge, SOC) อุณหภูมิความหนาแน่น ของกระแส และธาตุของแบตเตอรี่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ควรพิจารณาด้วยเช่นกันตามทิศทางของอัตรา การไหล



รูปที่ 2.19 แบบจำลองพื้นฐานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [9]

การประจุของรูปแบบแบตเตอรี่ค่าความต้านทาน R_{Ohm} เป็นฟังก์ชัน ของอัตราการอัดประจุ มีรูปแบบดังรูป 2.19 สามารถหาค่าความสัมพันธ์ของวงจรได้จากสมการดังนี้

$$V_b = V_{oc} - I_b R_{ohm} \quad (2.10)$$

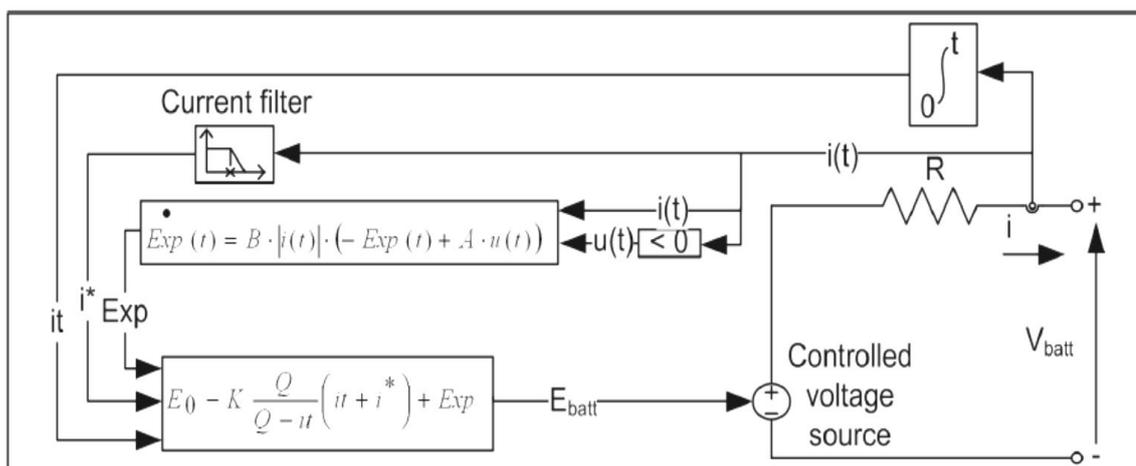
$$I_b = \frac{V_{oc}}{R_{ohm} + R_{load}} \quad (2.11)$$

$$R_{ohm} = \frac{R_o}{S^k} \quad (2.12)$$

เมื่อ	V_{OC}	คือ แรงดันในสถานะสมดุลของวงจร
	V_b	คือ แรงดันขณะมีโหลด
	I_b	คือ กระแสขณะมีโหลด
	R_{Ohm}	คือ ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่
	R_o	คือ ค่าความต้านทานในขณะที่มีแบตเตอรี่เต็ม
	R_{load}	คือ ค่าความต้านทานขณะมีโหลด
	S^k	คือ ปรับค่าระดับในการประจุ (0-1) เมื่อประจุเต็ม (0) คายออก (1)

2.10.2 วงจรสมมูลแบบพลวัตของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [10]

วงจรสมมูลแบบพลวัตดังรูปที่ 2.20 จะพิจารณาช่วงการทำงานของแบตเตอรี่ในช่วงพลวัต ลักษณะของสมการพัฒนามาจาก Shepherd model [11] โดยจะพิจารณาช่วงแรงดัน Polarisation ของแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 หัวข้อคือ ช่วงการทำงานในสถานะการคายประจุและการทำงานในช่วงการอัดประจุ ในสมการที่ 2.13 แสดงสมการการทำงานในช่วงการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลแบบพลวัตแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด[10]

$$V_{batt} = E_0 - R \times i - K \frac{Q}{Q - it} \times (it + i^*) + Exp(t) \quad (2.13)$$

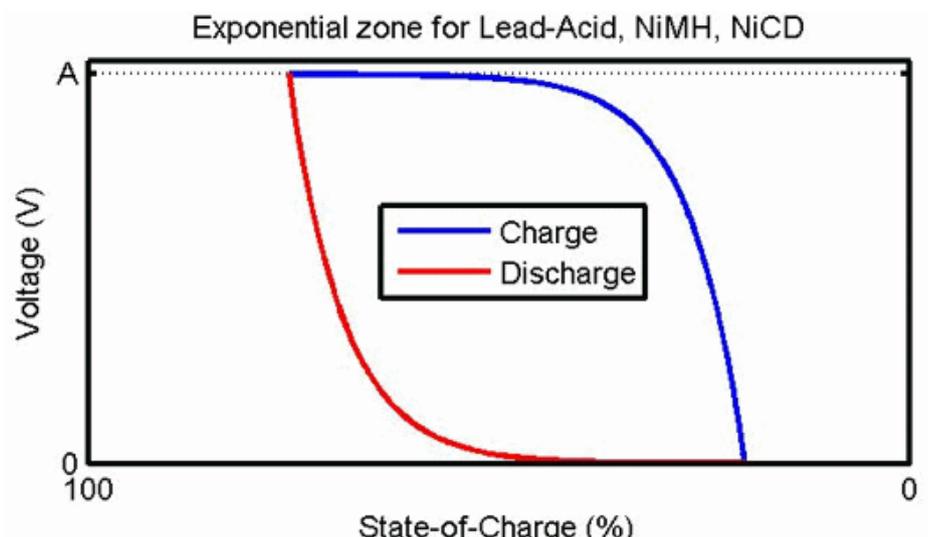
เมื่อ	V_{batt}	คือ แรงดันแบตเตอรี่ (V)
	E_0	คือ ค่าคงที่ของแรงดันแบตเตอรี่ (V)
	K	คือ ค่าคงที่ Polarisation (V/Ah) หรือ ความต้านทาน Porarisation (Ω)
	Q	คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่ (Ah)
	$it = \int idt$	คือ ค่าความจุถูกใช้งาน (Ah)
	A	คือ ค่าความกว้างของช่วง exponential zone (V)
	B	คือ ส่วนกลับช่วงเวลาคงที่ของช่วง exponential zone (Ah) ⁻¹
	R	คือ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ (Ω)
	i	คือ กระแสแบตเตอรี่ (A)
	i^*	คือ กระแส filtered (A)

ความพิเศษในสมการนี้คือการใช้การกรองกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานโพลาริซ ในความเป็นจริงการจำลองแรงดันไฟฟ้าที่ทำงานในช่วงพลวัตมีการตอบสนองที่ช้า จึงต้องการกรองกระแสก่อนเพื่อเป็นการแก้ปัญหาการวนลูบสมการจากการจำลองใน Simulink

สมการในช่วง exponential zone ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะมีช่วง hysteresis ระหว่างการอัดประจุและคายประจุลักษณะการทำงานนี้เกิดขึ้นเฉพาะพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถแสดงโดยระบบพลวัตแบบไม่เชิงเส้นดังแสดงในสมการที่ 2.14

$$Exp(t) = B \times |i(t)| \times (-Exp(t) + A \times u(t)) \quad (2.14)$$

$Exp(t)$	คือ แรงดัน exponential zone (V)
$i(t)$	คือ กระแสแบตเตอรี่ (A)
$u(t)$	คือ ช่วงคายประจุ หรือ ช่วงการอัดประจุ



รูปที่ 2.21 ช่วง hysteresis ระหว่างการอัดประจุและคายประจุ [10]

การจำลองการทำงานในสภาวะอัดประจุของแบตเตอรี่จะพิจารณาจากพฤติกรรมของการอัดประจุ โดยเฉพาะช่วงสุดท้ายของการอัดประจุ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะมีแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็ม ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะทำการจำลองด้วย เทอมของค่าความต้านทานโพลาไรซ์ ในช่วงการอัดประจุความต้านทานโพลาไรซ์จะเพิ่มขึ้นจนกว่าแบตเตอรี่จะถูกอัดประจุจนเต็ม ($it=0$)

จากสมการการคายประจุในสมการที่ 2.13 ความต้านทานโพลาไรซ์สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.15

$$\text{Pol.Resistance} = K \frac{Q}{it} \quad (2.15)$$

ในทางทฤษฎี เมื่อ it เท่ากับ 0 (สภาวะประจุเต็ม) ความต้านทานโพลาไรซ์จะมีค่าอนันต์ ในทางปฏิบัติผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานโพลาไรซ์จะเปลี่ยนโดยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของความจุแบตเตอรี่ ดังนั้นสมการที่ 2.15 สามารถเขียนได้ใหม่ดังสมการที่ 2.16

$$\text{Pol.Resistance} = K \frac{Q}{it - 0.1 \times Q} \quad (2.16)$$

จากที่กล่าวมาสมการการทำงานในช่วงการอัดประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.17

$$V_{batt} = E_0 - R \times i - K \frac{Q}{it - 0.1Q} \times i^* - K \frac{Q}{Q - it} \times it + Exp(t) \quad (2.17)$$

2.11 การหาค่าสถานะประจุ (State-of-Charge: SOC)

สถานะประจุของแบตเตอรี่ คือจำนวนประจุหรือพลังงานที่เหลือภายในแบตเตอรี่ ซึ่งแสดงออกมาในรูปของเปอร์เซ็นต์ของพิกัดความจุของแบตเตอรี่ ดังสมการที่ 2.16 เมื่อแบตเตอรี่เต็มค่าสถานะประจุจะมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์และเมื่อแบตเตอรี่หมดสถานะประจุจะมีค่าเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ จึงมีความสำคัญในงานระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน เพื่อให้ทราบถึงค่าสถานะของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบในช่วงเวลาการทำงานจากระบบ

$$SOC = 1 - \frac{Q_W}{C_R} \times 100\% \quad (2.18)$$

โดยที่

$$Q_W = \int_{t_0}^{t_0+t} i_{batt}(\tau) d\tau \quad (2.19)$$

เมื่อ	SOC	คือ สถานะประจุ (%)
	Q_W	คือ ค่าความจุที่ถูกใช้งานของแบตเตอรี่ (Ah)
	C_R	คือ ความจุที่กำหนดของแบตเตอรี่ (Ah)
	i_{batt}	คือ กระแสไหลผ่านแบตเตอรี่ (A)

ค่าสถานะประจุ นอกจากจะบ่งบอกถึงระดับพลังงานที่เหลืออยู่ยังทำให้ผู้ใช้สามารถกำหนดการอัดและคายประจุอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการคายประจุเกินควร (Deep of Discharge) หรืออัดประจุเกินควร (Over Charge) ช่วยยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ได้ อีกทั้งหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะใช้งานแบตเตอรี่ ตลอดจนสามารถออกแบบการบำรุงรักษาได้อย่างถูกต้อง ปัจจุบันวิธีประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ได้หลายวิธีดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบวิธีการหาค่า SOC ด้วยวิธีต่าง ๆ [12]

ชื่อ	ชนิดแบตเตอรี่	ข้อดี	ข้อเสีย
Discharge test	แบตเตอรี่ทุกระบบ	ง่ายและแม่นยำ	ใช้ในระบบออนไลน์ไม่ได้
Open circuit voltage	ลิเทียม, ตะกั่ว	ง่าย	ใช้เวลานานในการรอให้แบตเตอรี่อยู่ในช่วงประจุคงที่ (กระแสเท่ากับ 0)
Coulomb Counting	แบตเตอรี่ทุกระบบ	สามารถออนไลน์ได้	มีความยุ่งยากในการกาค่าสถานะประจุเริ่มต้น
Kalman Filtering	แบตเตอรี่ทุกระบบ	ออนไลน์ในโหนดที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอได้	ต้องใช้แบตเตอรี่โมเดลที่เหมาะสมที่ใช้ในการคำนวณ มีปัญหาในการหาค่าพารามิเตอร์เบื้องต้น
Neural Network	แบตเตอรี่ทุกระบบ	ออนไลน์ได้	ต้องการข้อมูลการทดลองของแบตเตอรี่ชนิดเดียวกันเพื่อนำไปคำนวณ

2.12 วิธีการหาค่าสถานะประจุ

2.12.1 วิธีวัดค่าแรงดันขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage Method)

แรงดันขณะเปิดวงจรของแบตเตอรี่แสดงถึงปริมาณความหนาแน่นของน้ำกรดบริเวณขั้วของแบตเตอรี่ สถานะประจุของแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับแรงดันขณะเปิดวงจร วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือเช่นเดียวกับวิธีวัดค่าความถ่วงจำเพาะและนิยมนำไปใช้ในการหาค่าสถานะประจุเริ่มต้น แต่ไม่สามารถทำการวัดขณะแบตเตอรี่ทำการจ่ายกระแสได้จึงจำเป็นต้องหยุดระบบเพื่อทำการวัดเช่นเดียวกับวิธีวัดค่าความถ่วงจำเพาะ

2.12.2 วิธีวัดค่าความถ่วงจำเพาะน้ำกรด (Measurement of The Specific Gravity Method)

ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในแบตเตอรี่แสดงถึงปริมาณความหนาแน่นของสารละลายกรดซัลฟิวริกภายในแบตเตอรี่ ขณะแบตเตอรี่คายประจุกรดซัลฟิวริกในสารละลายจะมีความหนาแน่นลดลง ด้วยเหตุนี้วิธีวัดค่าความถ่วงจำเพาะจึงบอกถึงระดับค่าสถานะประจุที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ได้ วิธีวัดค่าความถ่วงจำเพาะน้ำกรดเมื่อนำไปใช้งานกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบเปียก การวัดค่าความถ่วงจำเพาะจำเป็นต้องหยุดระบบเพื่อให้ น้ำกรดเข้าสู่สภาวะคงตัว จากนั้นทำการวัดโดยไฮโดรมิเตอร์

(Hydrometer) ส่งผลให้ค่าสถานะประจุที่ได้มีความแม่นยำมากที่สุด จึงนิยมใช้เป็นวิธีอ้างอิงสำหรับตรวจสอบค่าสถานะประจุกับวิธีวัดค่าสถานะประจุอื่น ๆ

2.12.3 วิธีนับจำนวนประจุ (Coulomb Counting Method)

วิธีนับค่าประจุทำงานโดยอาศัยผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าและออกจากแบตเตอรี่หารด้วยพิกัดความจุของแบตเตอรี่ทั้งหมดดังสมการที่ 2.20

$$SOC = SOC_0 - \frac{\int_{t_0}^{t_0+t} i_{batt}(\tau) d\tau}{C_R} \times 100 \quad (2.20)$$

เมื่อ SOC คือ สถานะประจุ (%)
 SOC_0 คือ สถานะประจุเริ่มต้น (%)
 C_R คือ ความจุที่กำหนดของแบตเตอรี่ (Ah)
 i_{batt} คือ กระแสไหลผ่านแบตเตอรี่ (A)

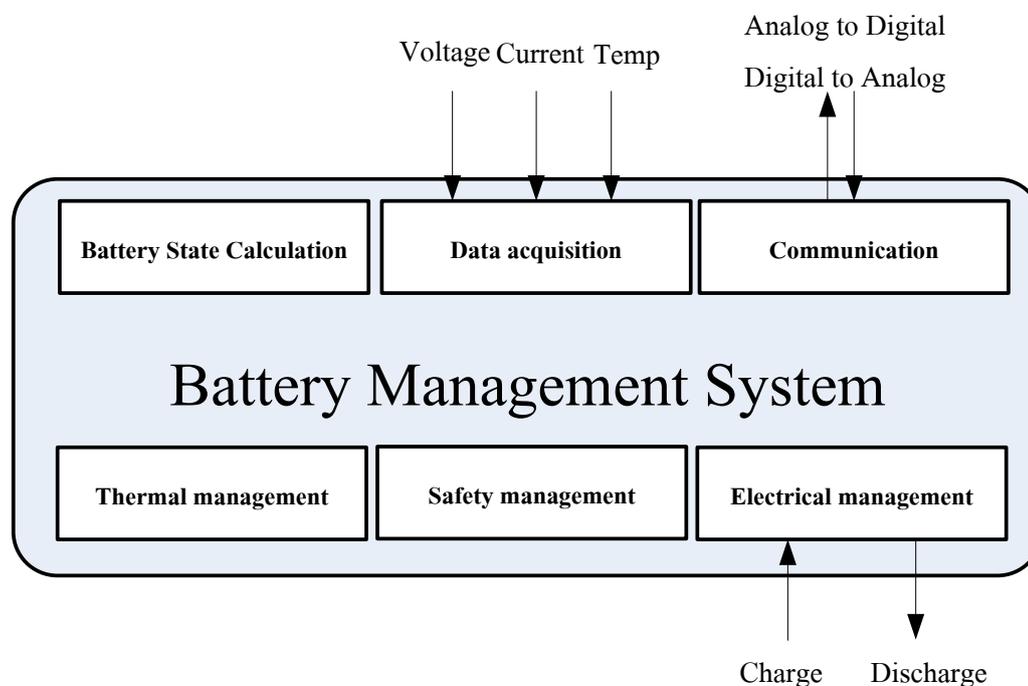
นี้มีข้อดีคือสามารถทำงานวัดแบบต่อเนื่องได้และเมื่อมีการชดเชยหรือการปรับจูนค่าแรงดันขิดเริ่ม (Offset Voltage) จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเช่นอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิจะทำให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำ ซึ่งเหมาะที่จะมาประยุกต์ใช้ในระบบการจัดการแบตเตอรี่แบบทันเวลาได้

2.13 การออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทน [13]

จากการศึกษาชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบตัวแปรต่างๆของแบตเตอรี่ที่สำคัญและการประมาณค่าสถานะความจุของแบตเตอรี่แล้ว ในหัวข้อนี้จะแสดงส่วนประกอบในระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System :BMS) ซึ่งจะรวบรวมส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญเข้าด้วยกันเป็นระบบโดยมีส่วนประกอบทั้งหมดของระบบดังแสดงในรูปที่ 2.19 โดยมีส่วนประกอบทั้งหมดของระบบดังนี้

- การจัดเก็บข้อมูล
- การหาค่าสถานะแบตเตอรี่
- การจัดการระบบไฟฟ้า
- การจัดการอุณหภูมิ

- การจัดการระบบความปลอดภัย
- ระบบสื่อสาร



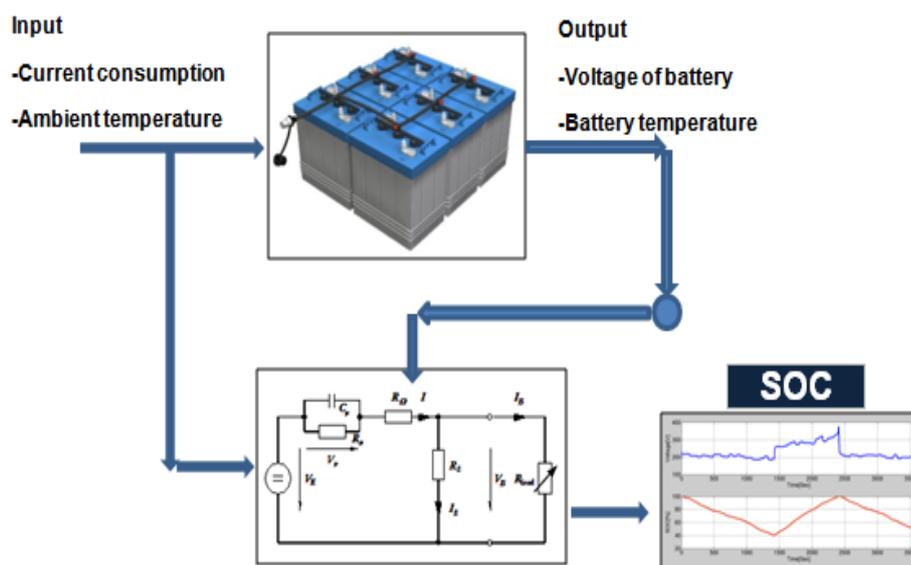
รูปที่ 2.22 ระบบการจัดการแบตเตอรี่

2.13.1 การจัดเก็บข้อมูล (Data acquisition)

ในระบบ BMS จะต้องมีการจัดเก็บข้อมูลของระบบที่ได้มาเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณและวิเคราะห์ เพื่อควบคุมและแสดงผล ซึ่งในระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นจะทำการเก็บข้อมูลในส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่กระแสไฟฟ้าที่โหลดค่าสถานะประจุ และอุณหภูมิโดยรอบของแบตเตอรี่

2.13.2 การหาค่าสถานะแบตเตอรี่ (Battery state determination)

การหาค่าสถานะของแบตเตอรี่นั้นจะเป็นการหาค่าจากค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้นำไปคำนวณหาค่าสถานะของแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนแปลงตามสถานะการใช้งานและอุณหภูมิที่ใช้งานจริงในช่วงเวลาปัจจุบันเพื่อให้ได้ค่าสถานะของแบตเตอรี่ที่ได้แม่นยำมากยิ่งขึ้นเพื่อช่วยในการออกแบบระบบควบคุมและป้องกันให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ไดอะแกรมในการหาค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่

2.13.3 การจัดการระบบไฟฟ้า (Electrical management)

การจัดการตัวแปรในระบบการจัดการแบตเตอรี่ เช่น กระแสไฟฟ้าที่โหลด แรงดันไฟฟ้า สถานะความจุของแบตเตอรี่เพื่อควบคุมการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่

2.13.4 การจัดการอุณหภูมิ (Thermal management)

การจัดการระบบควบคุมอุณหภูมิของระบบแบตเตอรี่ เพื่อให้แบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพตามที่กำหนดไว้โดยพิจารณาการออกแบบนี้ด้วยปัจจัยพื้นฐานคืออุณหภูมิใช้งาน มีผลกับสมรรถนะและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้แบตเตอรี่มีความสามารถในการจ่ายประจุไฟฟ้าสูงขึ้นแต่จะทำให้อายุการใช้งานลดลงจึงต้องมีการจัดการอุณหภูมิให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

2.13.5 การจัดการระบบความปลอดภัย (Safety management)

การจัดการระบบเพื่อป้องกันแบตเตอรี่ไม่ให้ทำงานในสถานะที่อันตรายซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควรโดยไม่ให้ทำงานที่สถานะที่อันตรายดังนี้

- Deep discharge cycle
- Over temperature
- Over charge cycle

2.13.6 ระบบสื่อสาร (Communication)

เป็นส่วนที่เชื่อมต่อสื่อสารข้อมูลในแต่ละส่วนของระบบการจัดการแบตเตอรี่ โดยจะใช้การเชื่อมต่อข้อมูลได้หลายวิธี เช่น

- Analogous signals
- USB interface
- Local Aerial Network : LAN

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Olivier.T และ Louis-A.D [10] บทความนี้นำเสนอแบตเตอรี่โมเดลเพื่อการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่แบบพลวัต โดยลักษณะของสมการพัฒนามาจาก Shepherd model ซึ่งจะเพิ่มในส่วนของการปรับปรุงในเรื่องของปัญหาการวนลูบของโปรแกรมด้วยการกรองกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานโพลาริซของแบตเตอรี่ โดยแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานโดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 หัวข้อคือ ช่วงการทำงานในสภาวะการคายประจุและการทำงานในช่วงการอัดประจุ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้สมการนี้ในการจำลองการทำงานในโปรแกรม Matlab/Simulink

Sabine.P Marion.P และ Andresa.J [12] บทความนี้เสนอวิธีการการประมาณค่า SOC ด้วยวิธีต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธี วิธีที่นิยมใช้ที่สุดในตอนนี้คือวิธี Ah counting หรือ Coloump counting เหตุผลเพราะวิธีนี้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานมีความแม่นยำในระดับหนึ่ง เมื่อมีการกำหนด SOC เริ่มต้นอยู่เสมอและการวัดค่ากระแสมีความผิดพลาดต่ำ ส่วนในวิธีการประมาณค่าในวิธีอื่นจะขึ้นอยู่กับการใช้งานของผู้ออกแบบตามความถนัดและเหมาะสม

A.Jossen [13] บทความนี้จะแสดงส่วนประกอบในระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System :BMS) ซึ่งจะรวบรวมส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญเข้าด้วยกันเป็นระบบเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่โดยมีส่วนประกอบทั้งหมดของระบบดังนี้

- การจัดเก็บข้อมูล
- การหาค่าสถานะแบตเตอรี่
- การจัดการระบบไฟฟ้า
- การจัดการอุณหภูมิ
- การจัดการระบบความปลอดภัย
- ระบบสื่อสาร

พรชัย พรหุทัย และ บุญยัง ปลั่งกลาง [14] บทความนี้นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิโดยรอบที่ใช้งานของแบตเตอรี่ว่ามีผลกระทบต่ออัตราการอัดประจุและคายประจุอย่างไร เพื่อนำไปออกแบบระบบการจัดการในเรื่องของอุณหภูมิให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นได้ จากการศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิโดยรอบที่การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดพบว่า อุณหภูมิที่ทำให้การอัดประจุได้เร็วที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ทำให้ แบตเตอรี่คายประจุได้นานที่สุดก่อนจะถึงแรงดันสุดท้ายที่กำหนดคือ ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามการทำงานในสภาวะที่อุณหภูมิสูง ๆ จะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วตามที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

Yousry atia Mohamed zahran และ **Abdullah al-hossain** [15] บทความนี้ต้องการนำเสนอการออกแบบระบบการวัด สังเกตการณ์ และเก็บข้อมูลของแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้การตรวจวัด จากเซนเซอร์ กับอุปกรณ์แปลงสัญญาณ อุปกรณ์ควบคุม และตัวอินเตอร์เฟส ระบบการตรวจสอบที่ ออกแบบและสร้างขึ้นโดยใช้คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูลและสร้างรายงานในรูปแบบของตารางและกราฟ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งทำให้ผลการทดลองที่ได้มีความรวดเร็วและแม่นยำในการเก็บข้อมูล

2.15 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ในพลังงานทดแทนพบว่าระบบจะมีเสถียรภาพและมีอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นจำเป็นต้องมีการจัดการ ระบบแบตเตอรี่ที่ดีสามารถตรวจวัดแสดงผลและควบคุมป้องกัน ได้อย่างแม่นยำและการที่จะ ออกแบบระบบจัดการแบตเตอรี่ที่ดีได้นั้น จำเป็นจะต้องรู้ถึงชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้รูปแบบการใช้งาน ในสภาวะต่างๆ ค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการออกแบบระบบ เทคนิคและวิธีการประมาณค่าสภาวะ ของแบตเตอรี่จากสมการทางคณิตศาสตร์ผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ เพื่อออกแบบระบบการจัดการแบตเตอรี่ได้