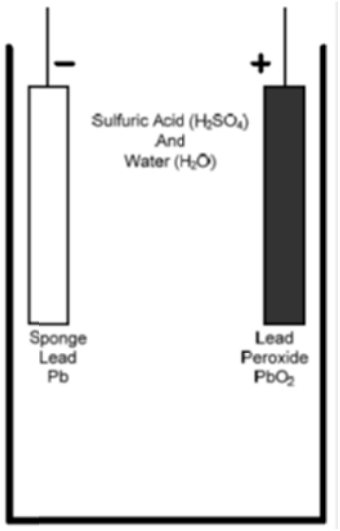
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดจัดอยู่ในกลุ่มแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ คือสามารถประจุไฟใหม่และนำกลับมาใช้งานได้อีก เช่นเดียวกับ นิเกิล-แคดเมียม, นิเกิล-เหล็ก, นิเกิล-ไฮไดรด์และลิเทียมแบตเตอรี่ เป็นต้น [4]

2.1.1 หลักการทำงาน

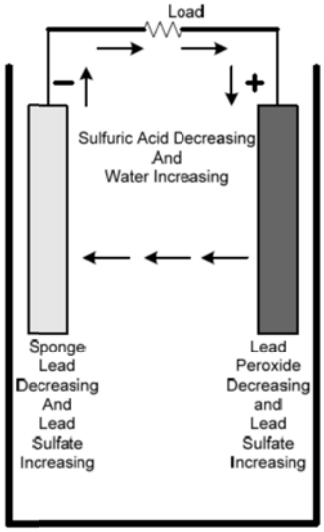
แผ่นธาตุบวกเป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์(Lead Peroxide, PbO_2) แผ่นธาตุลบเป็นตะกั่วบริสุทธิ์(Sponge Lead, Pb) เมื่อเติมสารละลายตะกั่วเปอร์ออกไซด์(Diluted Sulfuric Acid) ลงไปให้ท่วมแผ่นธาตุแล้ว แบตเตอรี่ลูกดังกล่าวก็พร้อมที่จะใช้งาน แต่จะไม่มีการจ่ายไฟเนื่องจากยังไม่ครบวงจรไฟฟ้าและพลังงานที่สะสมอยู่ในแบตเตอรี่ขณะนี้คือพลังงานเคมี ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 สภาวะในแบตเตอรี่เมื่อได้รับการประจุไฟเต็มที่

หลังจากที่ต่อภาระภายนอกให้ครบวงจรแล้วดังภาพที่ 2.2 แล้ว กรดซัลฟิวริก(Sulfuric Acid, H_2SO_4) ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะทำปฏิกิริยากับตะกั่วเปอร์ออกไซด์ของแผ่นธาตุบวก และตะกั่วบริสุทธิ์ของแผ่นธาตุ ทำให้แผ่นธาตุทั้งคู่เริ่มเปลี่ยนเป็น ตะกั่วซัลเฟต(Lead Sulfate, $PbSO_4$)

ส่วนสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเริ่มเปลี่ยนเป็น น้ำ(H_2O) มากขึ้น ปฏิกิริยาเคมีนี้ให้พลังงานไฟฟ้าในระบบ ทำให้เกิดการไหลของกระแสภายในวงจรนั้นขึ้นมา



ภาพที่ 2.2 แสดงการทำงานเมื่อแบตเตอรี่เริ่มจ่ายไฟ

ในอีกวิธีหนึ่งที่จะสามารถอธิบายหลักการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด คือในขณะที่แบตเตอรี่กำลังทำการจ่ายไฟได้เป็นอย่างดีคือการอธิบายด้วยสมการเคมีในขณะที่แบตเตอรี่กำลังทำการจ่ายกระแสไฟให้กับภาระภายนอกนั้น ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่แผ่นธาตุบวก ระหว่างตะกั่วเปอร์ออกไซด์และกรดซัลฟิวริกจะทำให้ ตะกั่วเปอร์ออกไซด์กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต, กรดซัลฟิวริกกลายเป็นน้ำ และได้ออกซิเจนที่ไม่เสถียร(Nascent Oxygen, $\hat{O}$) อีกหนึ่งตัว สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.1

$$PbO_2 + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O + \quad (2.1)$$

ในขณะที่ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่แผ่นธาตุลบระหว่างตะกั่วบริสุทธิ์ และกรดซัลฟิวริกจะทำให้ตะกั่วบริสุทธิ์ เปลี่ยนเป็นตะกั่วซัลเฟต และได้ผลิตผลเป็นก๊าซไฮโดรเจน(Hydrogen, H_2) ที่พร้อมจะทำปฏิกิริยาสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.2

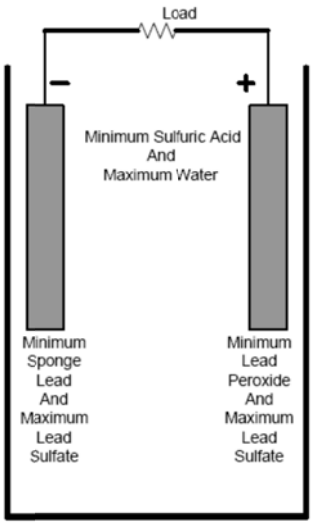
$$Pb + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2 \quad (2.2)$$

จะเห็นได้ว่าสมการที่ 2.1 และสมการที่ 2.2 เกิดขึ้นในที่เดียวกัน ดังนั้นออกซิเจน ในสมการที่ 2.1 และ ไฮโดรเจน ในสมการที่ 2.2 ที่ไม่เสถียรจะรวมกันเป็นน้ำ ซึ่งมีความเสถียรดังนั้นเมื่อรวมทั้ง 2

สมการเข้าด้วยกัน (เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีเกิดในที่เดียวกันจึงสามารถรวมกันได้) จะได้ปฏิกิริยาเคมีที่สมดุลดังสมการที่ 2.3

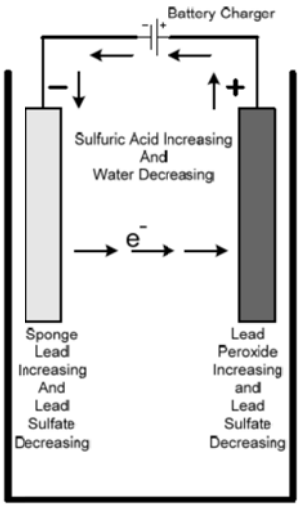
$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 = 2PbSO_4 + 2H_2O \quad (2.3)$$

ถ้าหากปล่อยให้กระแสไหลเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงสภาวะหนึ่ง ที่สารตั้งต้นทางด้านซ้ายมือของสมการที่ 2.3 หมดไปปฏิกิริยาทางเคมีก็จะไม่เกิดขึ้นอีก และจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลระหว่างขั้วบวกและขั้วลบอีกต่อไป ณ สภาวะเช่นนี้ถ้ากรดซัลฟิวริก ถูกใช้หมดก่อนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ก็จะกลายเป็นเพียงน้ำบริสุทธิ์เท่านั้น ส่วนแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ จะเกิดการสะสมของตะกั่วซัลเฟต ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงสถานะของส่วนทำงานของแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่ได้จ่ายไฟจนหมด

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าปฏิกิริยาเคมีของแบตเตอรี่สามารถย้อนกลับได้ เมื่อเซลล์เก็บไฟฟ้าชนิดตะกั่ว-กรด ได้รับอิเล็กตรอนจากต้นกำเนิดภายนอกเข้าไปในขั้วลบทำให้แผ่นธาตุลบคายอิเล็กตรอน ผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์เข้าสู่แผ่นธาตุบวก การกระทำเช่นนี้เรียกว่า“การประจุไฟ” ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงถึงการประจุไฟให้แบตเตอรี่

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีเมื่อเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับโดย อิเล็กตรอน จากแหล่งจ่ายไฟภายนอกจะไปทำให้ตะกั่วซัลเฟต และน้ำให้อยู่ในสภาพที่ไม่เสถียรพร้อมที่จะทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ สสารที่เสถียรซึ่งก็คือการกลับไปอยู่ในสภาวะเช่นเดิมก่อนที่จะมีการจ่ายไฟนั่นเอง สำหรับปฏิกิริยาย้อนกลับนี้สามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางเคมีดังนี้ ปฏิกิริยาเคมีที่แผ่นธาตุบวก ระหว่างตะกั่วซัลเฟตกับน้ำจะทำให้ตะกั่วซัลเฟต ที่แผ่นธาตุบวกเปลี่ยนเป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์ เมื่อน้ำรวมตัวกับตะกั่วซัลเฟตในอัตราส่วนที่เหมาะสมกลายเป็นกรดซัลฟิวริก และได้ผลิตผลของก๊าซไฮโดรเจน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$PbSO_4 + 2H_2O \quad = \quad PbO_2 + H_2SO_4 + H_2 \tag{2.4}$$

ส่วนปฏิกิริยาเคมีที่แผ่นธาตุลบระหว่างตะกั่วซัลเฟตกับน้ำ จะทำให้ ตะกั่วซัลเฟตเปลี่ยนเป็นตะกั่วบริสุทธิ์และน้ำก็เข้าทำปฏิกิริยากับซัลเฟต ในอัตราส่วนที่เหมาะสมทำให้เกิดกรดซัลฟิวริก และได้ผลิตผลเป็นออกซิเจน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นนี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$PbSO_4 + H_2O \quad = \quad Pb + H_2SO_4 + \hat{O} \tag{2.5}$$

เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีตามสมการที่ 2.4 และ 2.5 นั้นเกิดในที่เดียวกัน ทำให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีไฮโดรเจน ที่เกิดจากแผ่นธาตุบวกและออกซิเจนที่เกิดจากแผ่นธาตุลบซึ่งอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียรทั้งคู่จะรวมกันแล้วกลายเป็นน้ำ ที่มีความเสถียรสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$2PbSO_4 + 3H_2 = PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 + H_2O \quad (2.6)$$

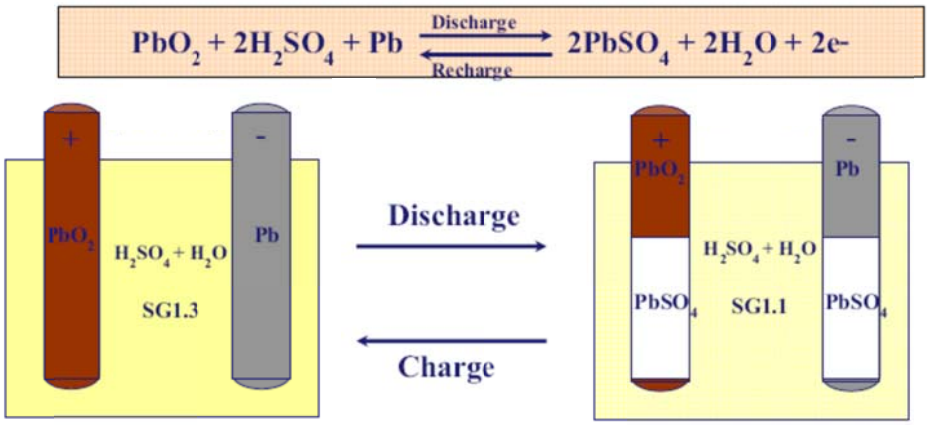
ดังได้กล่าวแล้วข้างต้นว่าปฏิกิริยาเคมีการผลิตกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่นั้นเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบย้อนกลับได้แสดงว่าการนำสมการที่ 2.3 สลับพจน์ระหว่างตัวแปรที่อยู่ทางด้านขวาและด้านซ้ายของเครื่องหมายเท่ากับ (=) สมการใหม่ที่ได้จะเป็นสมการที่ 2.6 แต่ในขณะนี้จะเห็นได้ว่าด้านขวาของสมการที่ 2.3 ไม่เท่ากับด้านซ้ายของสมการที่ 2.6 เหตุผลก็คือ ในสมการที่ 2.6 นั้นมีน้ำเกินมาอยู่ 1 โมเลกุล นำสมการที่ 2.6 มาเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$2PbSO_4 + 2H_2O + H_2O = PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 + H_2O \quad (2.7)$$

จะเห็นได้ว่าทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของสมการที่ 2.7 นั้นมีน้ำเกินมาหนึ่งตัวและเสมือนว่าไม่มีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาเคมีเลยจึงสามารถเขียนสมการที่ 2.7 เป็นสมการใหม่ได้ดังนี้

$$2PbSO_4 + 2H_2O = PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \quad (2.8)$$

ทำให้ด้านขวาของสมการที่ 2.3 เท่ากับด้านซ้ายของสมการที่ 2.8 สามารถเขียนแสดงการทำงานให้อยู่ในรูปของปฏิกิริยาเคมีแบบย้อนกลับได้ได้ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงการทำงานของแบตเตอรี่ในรูปแบบของสมการเคมี

2.1.2 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว – กรด

การที่จะนำหลักการดังกล่าวข้างต้นไปใช้งานได้นั้นจะต้องมีขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ได้แบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานทั้งในเรื่องของ ขนาด รูปร่าง ความปลอดภัยในการใช้งาน ลักษณะของการใช้งาน เป็นต้น การผลิตแบตเตอรี่สำหรับใช้งานจึงจำเป็นต้องมีองค์ประกอบอื่นๆเพิ่มเติมจากที่กล่าวมาแล้วในหลักการทำงานเบื้องต้นของแบตเตอรี่ โดยทั่วไปในแบตเตอรี่ลูกหนึ่งจะประกอบด้วยส่วนประกอบดังต่อไปนี้

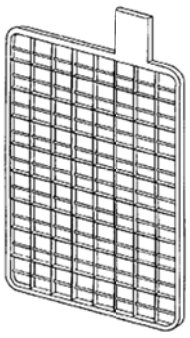
1. แผ่นธาตุ มี 2 ชนิดคือ แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ซึ่งแผ่นธาตุทั้งสองชนิดนี้ประกอบด้วยโครงตะกั่วและวัสดุที่เกิดปฏิกิริยาอันเป็นคุณลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่แต่ละแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2. โครงตะกั่ว(Grid) เป็นที่สำหรับรองรับให้วัสดุที่เกิดปฏิกิริยา เกาะตัวกันเป็นรูปแผ่น วัสดุที่นำมาทำเป็นโครงตะกั่ว จะหล่อจากอัลลอย(Alloy) ที่เป็นส่วนผสมของตะกั่ว, แอนติโมนี (Antimony) และอาเซนิค(Arsenic) การผลิตโครงตะกั่ว ที่องค์การแบตเตอรี่ใช้มี 2 แบบ คือแบบเพลต(Paste) และแบบสไปน์กริด(Spine Grid)

3. วัสดุที่เกิดปฏิกิริยา(Active Material) ที่ใช้ละเลงในโครงตะกั่ว นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นธาตุคือ

ก. แผ่นธาตุบวก(Positive Plate, PbO_2)จะใช้วัสดุที่เกิดปฏิกิริยาเป็นส่วนผสม ของผง Lead Suboxide, Dynel Flock, กรดซัลฟิวริก และน้ำกลั่น

ข. แผ่นธาตุลบ(Negative Plate, Pb) จะใช้วัสดุที่เกิดปฏิกิริยา ที่เป็นส่วนผสมของผง Lead Suboxide, Dynel Flock, Expander HL 500, Vaseline, กรดซัลฟิวริกและน้ำกลั่น



ภาพที่ 2.6 โครงแผ่นธาตุ

4. แผ่นกั้น(Separator) แผ่นกั้นสำหรับแบตเตอรี่มีรูปร่างเป็นแผ่นบาง ๆ มีรูสำหรับให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมผ่านได้ ใช้สอดระหว่างแผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบ สลับกันไปเพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบสัมผัสกัน ในปัจจุบันแผ่นกั้นนิยมใช้แผ่นกั้นชนิด PVC ฉาบใยแก้ว

ภาพที่ 2.7 แผ่นกั้น (Separator)

5. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่ใช้กับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดคือ กรดซัลฟิวริก(H_2SO_4) ผสมกับน้ำบริสุทธิ์ (H_2O) ให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 1.250– 1.300 ขึ้นอยู่กับการออกแบบและประเภทการใช้งานและสภาพภูมิอากาศ ถ้าใช้สารละลายที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียหลายอย่าง เช่น การคายประจุในตัวเองและการผุกร่อนของแผ่นธาตุ แต่จะมีประโยชน์สำหรับภูมิประเทศเขตหนาว เนื่องจากจะทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายลดต่ำลง ปกติถ้าเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้กระแสสูงได้แก่แบตเตอรี่รถยนต์จะใช้กรดที่มีความถ่วงจำเพาะสูงไม่ว่าจะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงหรือต่ำ แต่ปริมาณไอออนที่อยู่ในสารละลายก็ต้องเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาในสารละลายนอกจากจะมีกรดซัลฟิวริกแล้วยังมีสารอื่นเจือปนอยู่ด้วยเช่น แมงกานีส เหล็ก สารหนู คลอไรด์ ไนโตรเจนออกไซด์ โดยที่มีปริมาณมากน้อยจะขึ้นอยู่กับเกรดของน้ำกรด ถ้าเป็นน้ำกรดเกรดเอ จะมีสารเจือปนไม่เกิน 0.03665 %

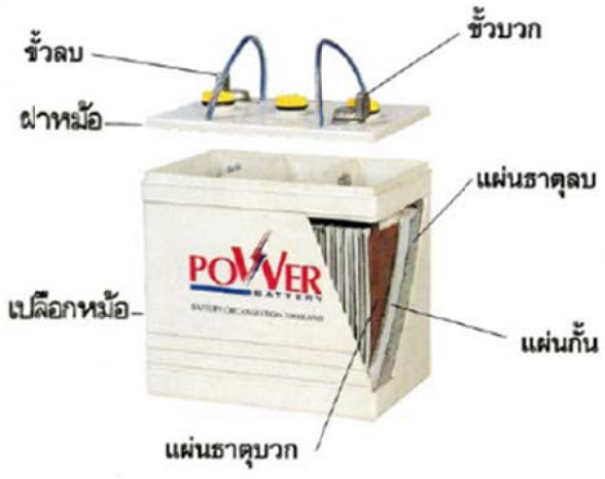
6. เปลือกหม้อและฝาปิด(Container and Cover) ทำด้วยยางแข็งหรือพลาสติก

7. สะพานไฟและขั้ว สะพานไฟและขั้ว ทำด้วยอัลลอยที่มีส่วนผสมระหว่าง ตะกั่ว, แอนติโมนี และอาเซนิค สะพานไฟมีหน้าที่สำหรับต่อทางไฟจากเซลล์(Cell) หนึ่งไปยังอีก เซลล์หนึ่ง ส่วนขั้วนั้นมีหน้าที่สำหรับเชื่อมแผ่นธาตุชนิดเดียวกันรวมให้เป็นหมู่

8. วัสดุสำหรับปิดผนึก(Sealing Compound) คือ สารประกอบที่มีส่วนผสมของน้ำมันดินเป็นหลักมีความแข็งแรงและเหนียว ไม่อ่อนตัวหรือแตกร้าวได้ง่ายเกินไปเมื่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้น และไม่ละลายกับน้ำยาของแบตเตอรี่ ใช้เทระหว่างฝาปิดและเปลือกหม้อ เพื่อกั้นไม่ให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ภายในแบตเตอรี่ซึมออกมาได้ถ้าเปลือกหม้อเป็นพลาสติกจะใช้กาวผนึกฝาหม้อแทน

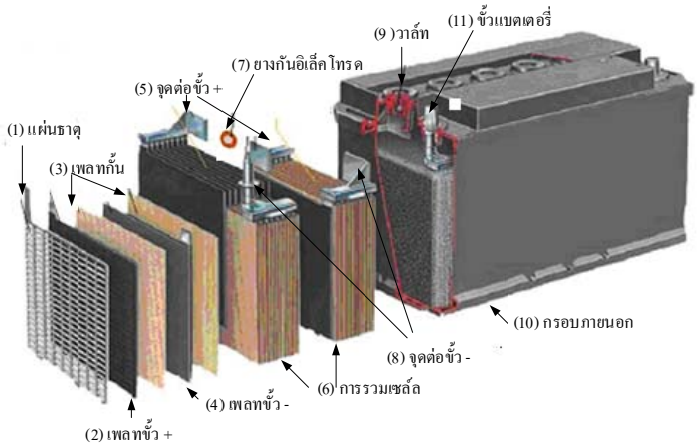
2.1.3 ชนิดของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

1. Flooded Lead-Acid Batteries เป็นแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดที่สารละลายเล็กโทรไลต์ท่วมแผ่นธาตุ เนื่องจากก๊าซที่เกิดขณะประจุไฟฟ้าจะลอยออกไปจากแบตเตอรี่ ทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นตามระยะเวลา ตัวอย่างของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ทั่วๆไป ตัวอย่างตามภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของแบตเตอรี่แรงดัน6V (ชนิด Flooded Lead-Acid Batteries)

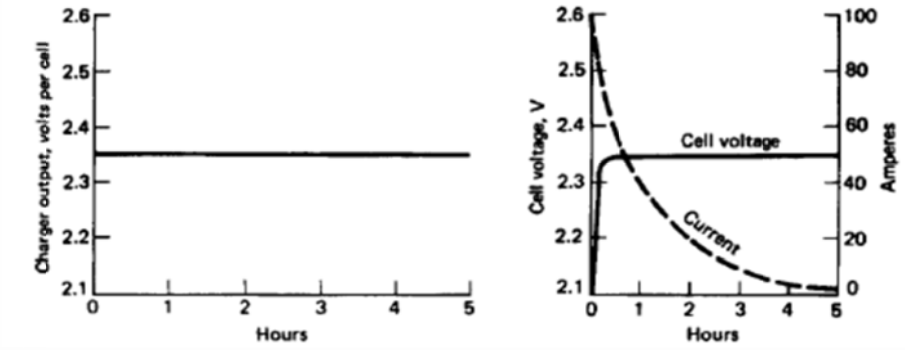
2. Sealed Lead-Acid Batteries เป็นแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดที่มีการควบ คุมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยมีลิ้นระบายให้ก๊าซออกถ้ากำลังดันภายในแบตเตอรี่สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ โดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 2 – 5 psig ในขณะที่เกิดก๊าซขึ้น ภายในแบตเตอรี่จะถูกกักไว้และจะรวมตัวกันกลายเป็นหยดน้ำ กระบวนการรวมตัวเป็นหยดน้ำภายในแบตเตอรี่นี้สามารถดำเนินได้เป็นอย่างดีถ้าอัตราการประจุไฟฟ้าไม่สูงเกินไป ตัวอย่างตามภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Sealed Lead-Acid Batteries)

2.1.4 วิธีการอัดประจุ

1. Constant Voltage Charging จะมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันไฟฟ้าแน่นอนให้กับแบตเตอรี่กระแสอัดประจุขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างของแรงดันแหล่งจ่ายไฟตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการอัดประจุในตอนต้นที่เริ่มอัดประจุนั้นจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าสูงมาก เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ยังมีค่าต่ำดังแสดงในภาพที่ 2.10

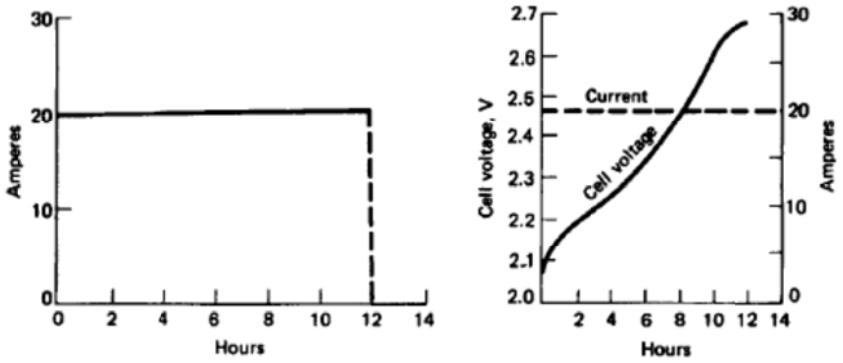


ก. แรงดันชาร์จในคาบเวลา(ต่อเซลล์) ข. แรงดันกับกระแสในคาบเวลาขณะชาร์จ

ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์กระแสกับเวลาของการอัดประจุ Constant Voltage Charging

2. Constant Current Charging จะใช้ค่าความต้านทานค่ามากๆ (เมื่อเทียบกับค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่) ต่ออนุกรมกับวงจรเพื่อกำจัดค่ากระแสโดยต้องใช้แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟสูง เพื่อทำให้กระแสไฟฟ้าอัดประจุมีค่าคงที่เมื่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

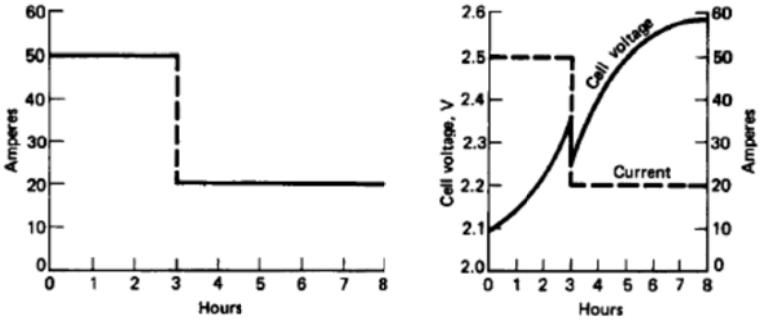
เปลี่ยนแปลงไป ความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันกับกระแสต่อคาบเวลาแสดงในภาพที่ 2.11



ก. กระแสชาร์จในคาบเวลา ข. แรงดันกับกระแสในคาบเวลาขณะชาร์จ

ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์แรงดันกับกระแสของการอัดประจุ Constant Current Charging

3. Taper Current Charging การอัดประจุแบบนี้กระแสไฟฟ้าอัดประจุเริ่มต้นสูงและค่อย ๆ ลดลง การลดลงของกระแสไฟฟ้า (Taper) มีผลเนื่องมาจากค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้นขณะอัดประจุ ความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันกับกระแสต่อคาบเวลาแสดงในภาพที่ 2.12

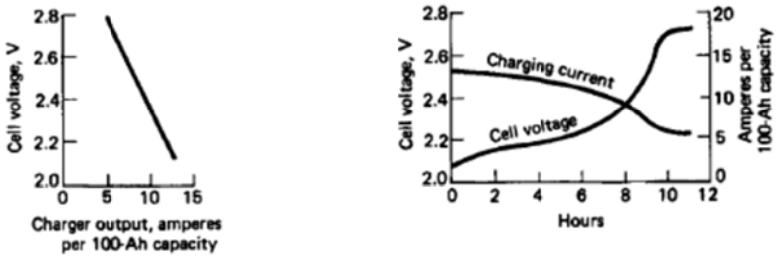


ก. กระแสชาร์จในคาบเวลา ข. แรงดันกับกระแสในคาบเวลาขณะชาร์จ

ภาพที่ 2.12 ความสัมพันธ์แรงดันกับเวลาของการอัดประจุ Taper Current Charging

4. Fast Charging เป็นการอัดประจุในระยะเวลาสั้นๆใช้กระแสไฟฟ้าสูงซึ่งทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วมีผลทำให้แบตเตอรี่เสื่อมคุณภาพเร็ว จากภาพที่ 2.13(ก.)แสดง

ลักษณะของแรงดันกับกระแสการชาร์จกับแบตเตอรี่ขนาดความจุ 100-Ah และภาพที่ 2.13(ข.) แรงดันกับกระแสในคาบเวลาขณะชาร์จ(ต่อเซลล์)



ก. ลักษณะของแรงดันกับกระแสการชาร์จ ข. แรงดันกับกระแสในคาบเวลาขณะชาร์จ

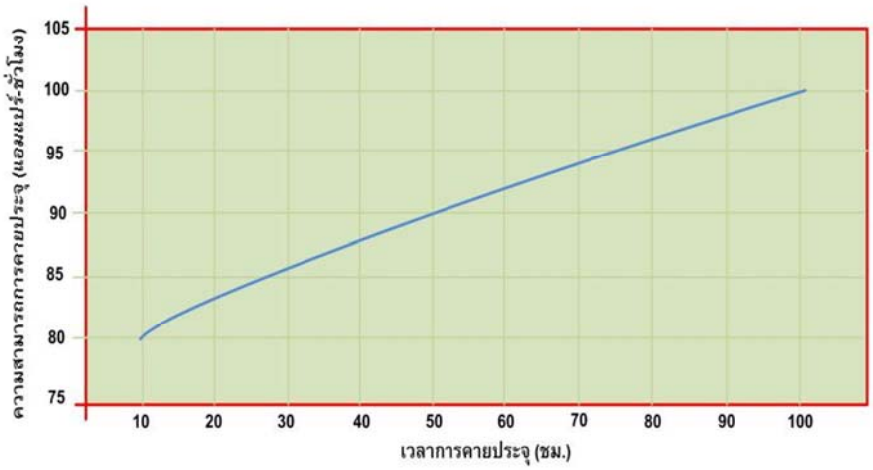
ภาพที่ 2.13 ความสัมพันธ์แรงดันกับเวลาของการอัดประจุ Fast Charging

5. Trickle Charging เป็นการอัดประจุโดยให้กระแสไฟฟ้าแก่แบตเตอรี่เพียงเล็กน้อยหรือเรียกว่า กระแส “Trick” เพื่อให้แบตเตอรี่มีไฟเต็มตลอดเวลาโดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าอัดประจุประมาณ 1.100 – 1.125 เท่าของแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ วิธีการนี้ยังช่วยลดการเกิดซัลเฟชั่นด้วย [2]

2.1.5 คุณสมบัติเชิงสมรรถนะของแบตเตอรี่

1. แอมแปร์-ชั่วโมง (AH) เป็นหน่วยพื้นฐานในการวัดความจุของแบตเตอรี่ โดยใช้วิธีการคายประจุด้วยกระแสคงที่แล้วจับเวลาเป็นชั่วโมงจนใกล้จะคายประจุหมด ความจุแอมแปร์ชั่วโมงได้จากการนำค่ากระแสคูณกับเวลาเป็นชั่วโมง ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ความจุ 80 แอมแปร์-ชั่วโมง หมายความว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นสามารถจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 8 แอมแปร์ได้นาน 10 ชั่วโมง หรือ 4 แอมแปร์ได้นาน 20 ชั่วโมง

2. ความจุ (Capacity) ในทางปฏิบัติการวัดความจุของแบตเตอรี่ยังขึ้นกับขนาดของกระแสที่คายประจุ หรือความเร็วในการใช้งานแบตเตอรี่ ถ้ากระแสที่คายประจุเพิ่มขึ้นความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้จริงจะลดลงในการกำหนดคุณลักษณะการลดลงของความจุแบตเตอรี่แบบนี้จะมีการเขียนกำกับความจุของแบตเตอรี่ด้วยอัตราส่วนของความจุต่อเวลา ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ความสามารถในการคายประจุกับเวลาในการคายประจุ

สาเหตุที่เมื่อแบตเตอรี่คายประจุด้วยกระแสต่ำ มีความจุมากกว่ากระแสสูงเนื่องจากมีเวลาที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเพลตลึกกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้นพลังงานไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากตามไปด้วย แต่การซึมของสารละลายเข้าไปในเพลตยิ่งลึกอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ก็จะลดลง ดังนั้นอัตราการคายประจุจึงมีความสำคัญต่อทั้งความจุของแบตเตอรี่และอายุการใช้งาน แบตเตอรี่บางชนิดวัดความจุเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างความจุแอมแปร์ชั่วโมง และแรงดันปกติของแบตเตอรี่ และหารด้วย 1000 เช่น แบตเตอรี่12 V 100 แอมแปร์-ชั่วโมง มีความจุเท่ากับ 12 x (100/1000) = 1.2 kWh เป็นต้น ค่าความจุ ประสิทธิภาพ และการประจุไฟฟ้ามากเกินไป ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่สามารถวัดได้ในหน่วยวัตต์-ชั่วโมง หรือกิโลวัตต์-ชั่วโมงคำนวณหาประสิทธิภาพของพลังงาน หรือ Energy Efficiency โดยใช้สมการที่ 2.9 ซึ่งแบตเตอรี่ทั่วไปมีค่าในช่วง 70-80 เปอร์เซ็นต์

$$\text{ประสิทธิภาพของพลังงาน} = \frac{\text{พลังงานที่คายประจุ (วัตต์-ชั่วโมง)}}{\text{พลังงานที่ต้องใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}} \qquad (2.9)$$

ค่าความจุของแบตเตอรี่สามารถวัดได้ในหน่วยของแอมแปร์-ชั่วโมง และประสิทธิภาพของการอัดประจุ หรืออาจเรียกว่า ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah Efficiency) คำนวณได้จากสมการที่ 2.10 ซึ่งในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะมีค่าประมาณ 95 % แต่ในแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียมจะมีค่าน้อยกว่านี้ ในแบตเตอรี่โดยทั่วไปจะมีค่าประสิทธิภาพของพลังงานน้อยกว่าประสิทธิภาพของการอัดประจุหรือประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมงเนื่องจากการคายประจุของแบตเตอรี่ใช้แรงดันต่ำกว่าการอัดประจุ

$$\text{ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง} = \frac{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงของการคายประจุ}}{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงที่ต้องใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}} \quad (2.10)$$

ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมงมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ดังนั้นจึงทำให้สะดวกที่เลือกใช้ค่าแอมแปร์-ชั่วโมงเพื่อให้ทราบว่าต้องการทำการอัดประจุ และเพื่อแทนที่จำนวนประจุที่คายออกมาในการใช้งานค่าประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมงเมื่อทำการอัดประจุเต็มพิกัด พบว่าจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการอัดประจุหรือการอัดประจุเกินจะถูกนำไปใช้งานในความต้องการอื่นๆ อาทิ เช่น ปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดขึ้นในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด และแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมนั้นจะเกิดก๊าซออกซิเจนจากการแตกตัวของน้ำที่ขั้วบวก รวมถึงในแบตเตอรี่แบบเปิดที่จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากการแตกตัวของน้ำที่ขั้วลบ

3. แรงดันคัทออฟ(Cut Off Voltage) เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ระบบแบตเตอรี่ยอมให้มีได้ขณะคายประจุ ถ้าต่ำกว่านี้จะมีการเสียหายถาวร ไม่สามารถเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ต่อไปได้ โดยค่านี้จะกำหนดเฉพาะเจาะจงที่อัตราการคายประจุต่างๆ กัน บริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดแรงดันต่ำสุดหรือแรงดันสุดท้ายของการคายประจุคู่กับอัตราการคายประจุ ถ้าใช้แรงดันต่ำสุดดังกล่าวกับอัตราการคายประจุที่แตกต่างไป ความจุแบตเตอรี่จะสูงกว่า สำหรับอัตราการคายประจุที่ต่ำกว่า

4. รอบการใช้งาน(Cycle) เมื่อประจุแบตเตอรี่จนเต็ม นำไปใช้งานแล้วนำกลับมาประจุใหม่จนเต็มอีกครั้งหนึ่งเรียกรอบการใช้งาน ในการใช้งานมีรอบการใช้งานสองลักษณะคืองานที่มีการคายประจุน้อย และงานที่มีการคายประจุมาก การจะใช้งานแบตเตอรี่แบบไหนนั้นขึ้นกับลักษณะของเซลล์ และส่วนใหญ่ไม่ใช้คายประจุจนหมด ในการใช้งานที่มีการคายประจุมาก มักมีการคายประจุมากกว่า 50 % ต่อรอบการใช้งานขึ้นไป

5. การคายประจุ(Discharge) คือกระบวนการที่แบตเตอรี่คายประจุไฟฟ้าออกมา กำหนดในรูปของกระแสการคายประจุ หรืออัตราการคายประจุ สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด คือปฏิกิริยาที่ตะกั่ว ตะกั่วไดอ๊อกไซด์ และกรดซัลฟิวริก เปลี่ยนเป็นตะกั่วซัลเฟตและน้ำ

6. การประจุ(Charge) คือกระบวนการที่แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้า กำหนดในรูปของกระแสประจุ หรืออัตราการประจุ สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด คือปฏิกิริยาที่ตะกั่วซัลเฟตและน้ำเปลี่ยนเป็นตะกั่ว, ตะกั่วไดอ๊อกไซด์ และกรดซัลฟิวริก

7. อัตราการอัดประจุและคายประจุ(Rate of Charge/Discharge) คืออัตราส่วนของความจุต่อเวลาเป็นชั่วโมง เช่นแบตเตอรี่ขนาดความจุ 30AH ที่ C/10 หรือ C10 หมายถึงแบตเตอรี่สามารถคายประจุ 3 แอมแปร์ในเวลา 10 ชั่วโมง (C/10 หรือ C10 หมายถึงขนาดของกระแสที่คายประจุ ในที่นี้คือ 30/10 = 3 แอมแปร์) ในแบตเตอรี่ลูกเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนเป็น C/5 ความจุจะลดลง อัตราการคายประจุและการอัดประจุจะใช้การเปรียบเทียบค่ากระแสที่ถูกใช้ในการประจุแบตเตอรี่และไม่ขึ้นกับค่าความจุของแบตเตอรี่ รวมถึงจะแสดงเป็นจำนวนชั่วโมง อาทิ เช่นอัตรา 10 ชั่วโมง และอัตรา 240 ชั่วโมง เป็นต้น กระแสที่ใช้งานนี้คำนวณโดยใช้สมการที่ 2.11 จากค่าความจุที่แบตเตอรี่สามารถคายประจุได้ หารด้วยจำนวนชั่วโมง

$$\text{อัตราการคายประจุและการอัดประจุ} = \frac{\text{ค่าความจุ (แอมแปร์-ชั่วโมง)}}{\text{เวลา (ชั่วโมง)}} \qquad (2.11)$$

ตัวอย่างเช่น C/10 หรืออัตรา 10 ชั่วโมง หมายถึง ค่ากระแสเทียบเท่า Rated Capacity ในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง หารด้วย 10

8. ขั้วลบ(Negative Porality) เป็นจุดที่มีความต่างศักดิ์ต่ำในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วลบของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโตรดที่อิเล็กตรอนไหลออกมาเมื่อมีการคายประจุ

9. ขั้วบวก(Positive Porality) เป็นจุดที่มีความต่างศักดิ์สูงในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วบวกของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโตรดที่อิเล็กตรอนหรือกระแสไหลเมื่อมีการประจุ

10. แรงดันขณะเปิดวงจร(Open Circuit Voltage) คือแรงดันที่แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะสมดุล ไม่มีการประจุหรือไม่มีการคายประจุ แรงดันนี้จะขึ้นกับลักษณะการออกแบบแบตเตอรี่, ความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิ

11. ความลึกของการคายประจุ(Depth of Discharge : DOD) คือเปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานออกไปหรือคายประจุออกไปเปรียบเทียบกับความจุทั้งหมดมีปริมาณ DOD สองปริมาณที่ใช้อธิบาย คือ Allowable DOD หรือ Maximum DOD เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดที่ยอมให้มีการใช้งานได้ ถ้ามีการใช้งานเกินค่านี้แล้ว แบตเตอรี่ลูกนั้นจะไม่สามารถนำกลับมาประจุใช้งานได้อีก โดยทั่วไปจะกำหนดโดยแรงดันคัทออฟ

12. สถานะของการคายประจุ(Stage of Charge : SOC) เป็นค่าที่บอกความจุของแบตเตอรี่ในแต่ละเวลาที่ใช้งาน มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุของแบตเตอรี่ในขณะนั้นต่อความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่มี SOC 100 % หมายความว่าแบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็ม แบตเตอรี่มี SOC 50 % หมายความว่ามีความจุเหลืออยู่ 50 % ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถานะประจุกับค่าความสามารถในการคายประจุ

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

ความลึกของการคายประจุ และการอัดประจุ, ค่าดีโอดีเป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความจุซึ่งถูกใช้งานไปแล้วจากเดิมทีมีการอัดประจุเต็มพิกัด ในทางส่วนกลับของค่าดีโอดีคือค่าเอสโอซี เป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความจุที่คงใช้งานได้ อาจพิจารณาคล้ายแก้วน้ำซึ่งมีน้ำอยู่ระดับหนึ่งซึ่งจะมีส่วนที่ว่างเปล่าหรือส่วนจะต้องเติมให้เต็ม ดังนั้นค่าดีโอดี และค่าเอสโอซีคือ ความสูงของส่วนที่ว่างเปล่าไม่มีน้ำในแก้วและความสูงของน้ำที่มีอยู่ในแก้วตามลำดับอย่างไรก็ตาม ค่าดีโอดีหรือเอสโอซีจะใช้เพื่ออ้างอิงความจุปกติ (Nominal Capacity) ตัวอย่างเช่น ความจุที่อัตรา 10 ชั่วโมง การจ่ายกระแสต่ำจะให้ค่าดีโอดี มากกว่า 100 % ซึ่งมีความหมายอย่างง่ายคือ แบตเตอรี่มีความจุในการใช้งานได้มากกว่า 100 % เมื่ออัตราการคายประจุต่ำกว่าอัตราการคายประจุปกติ

13. การคายประจุด้วยตัวเอง(Self Discharge Rate) เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนเต็มและปล่อยไว้โดยไม่มีการต่อไปใช้งานจะมีการคายประจุในตัวเองอัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุทั้งหมดในช่วงเวลา 1 เดือนการคายประจุด้วยตัวเองนี้ขึ้นกับความยากง่ายในการเกิดก๊าซที่เพลตเมื่อมีการประจุเกินและจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น

14. อายุการใช้งานแบตเตอรี่(Battery Lifetime) อายุการใช้งานแบตเตอรี่คือช่วงเวลาที่ความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็มลดลงจากความจุเต็มของแบตเตอรี่ใหม่ 80 % โดยการลดลงนั้น

เกิดขึ้นทั้งจากจำนวนรอบการใช้งานและอายุของเซลล์ ในบางรอบการใช้งานวัสดุทำปฏิกิริยาจะหลุดออกจากอิเล็กโทรด และจมลงด้านล่างของภาชนะบรรจุ เมื่อวัสดุแยกออกมาจากอิเล็กโทรดวัสดุนั้นจะไม่สามารถคืนรูปเหมือนเดิมได้ส่งผลให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลงได้เช่นเดียวกัน จำนวนรอบของการใช้งานก่อนที่ความจุเต็มจะลดลงเหลือ 80 % เรียกอายุของเซลล์(Cell Life) อายุของเซลล์นี้จะขึ้นกับลักษณะการคายประจุ, ขนาดของกระแสที่คายประจุและอุณหภูมิ ในการใช้งานบางงานเซลล์ไม่ได้มีการใช้งานเป็นรอบบ่อยๆ เช่นในระบบไฟฟ้าฉุกเฉินแบตเตอรี่จะได้รับการประจุเต็มตลอดเวลา จนกระทั่งถึงเวลาฉุกเฉินจึงมีการคายประจุความจุเต็มของแบตเตอรี่ชนิดนี้จะลดลงตามอายุการใช้งาน ดังนั้นจึงเรียกอายุของการใช้งานแบตเตอรี่แบบนี้เป็นอายุตามปฏิทิน (Calendar Life) หรืออายุสแตนบาย(Standby Life) โดยมีหน่วยเป็นปีอายุตามปฏิทินนี้ จะขึ้นกับอุณหภูมิและวิธีการเก็บรักษาแบตเตอรี่ ในเซลล์บางชนิดแบตเตอรี่จะสามารถใช้งานได้นานเท่าอายุปฏิทินของแบตเตอรี่ ก็ต่อเมื่อมีการใช้งานแบบที่มีการคายประจุน้อยเท่านั้น ดังนั้นจะไม่สามารถใช้ไฟฟ้าเท่ากับความจุของแบตเตอรี่ทั้งหมดได้ เวลาที่กล่าวถึงความจุแบตเตอรี่จึงมักกล่าวถึงความจุสองลักษณะคือ ความจุทั่วไป(Nominal Capacity) และความจุที่ใช้งานจริง(Usable Capacity)

15. ผลกระทบของอุณหภูมิ (Temperature Effects) สำหรับแบตเตอรี่ที่เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ เช่น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10°C จากอุณหภูมิห้อง หรือ เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ซึ่งเป็นผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงเป็นสองเท่าเช่นกัน และนอกจากนั้นอุณหภูมิสูงยังมีผลในการเร่งการสึกหรอของเพลตบวก เนื่องมาจากผลของการเกิดก๊าซ และการสูญเสียน้ำ ส่วนอุณหภูมิต่ำมีผลทำให้อายุการใช้งานนานขึ้นแต่อย่างไรก็ตามทำให้ความจุลดลงในแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

16. ผลกระทบของอัตราการคายประจุ(Effects of Discharge Rates) ความจุเต็มของแบตเตอรี่จะลดลง เมื่อมีการใช้งานแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุสูงขึ้น อัตราการคายประจุสูงนี้ มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลดจะมีค่าต่ำกว่าการใช้อัตราการคายประจุต่ำกว่าบางครั้งอาจส่งผลถึงการเลือกจุดแรงดันต่ำสุดที่จะตัดภาระทางไฟฟ้าออกในแรงดันแบตเตอรี่ค่าเดียวกัน

17. การเกิดก๊าซ(Gassing) เซลล์ของแบตเตอรี่เมื่อได้รับการประจุเต็ม วัสดุทำปฏิกิริยาในอิเล็กโตรดเปลี่ยนรูปจากสภาวะการคายประจุเป็นสภาวะการประจุเต็มทั้งหมด ถ้ายังทำการประจุต่อไป จะเกิดปฏิกิริยาเคมีอื่นขึ้นแทนที่อิเล็กโตรด ปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือปฏิกิริยาแยกน้ำทำให้เกิดก๊าซ เรียกการเกิดก๊าซ เนื่องจากมีฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโตรด โดยฟองออกซิเจนจะเกิดที่ผิวเพลตขั้วบวกและไฮโดรเจนเกิดที่ผิวเพลตขั้วลบ การเกิดก๊าซแบบช้าๆไม่ทำให้เกิดความ

เสียหายต่อเซลล์ แต่การเคลื่อนที่ของฟองก๊าซแบบช้าๆกลับทำให้เกิดประโยชน์เนื่องจากฟองก๊าซจะทำให้เกิดการผสมกันของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไม่ให้เกิดการแยกชั้นความเข้มข้น ถ้ายังมีการเกิดแก๊สอย่างต่อเนื่อง สารละลาย อิเล็กโทรไลต์จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นและระดับของสารละลายจะลดลง ดังนั้นต้องเติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายลดลงต่ำกว่าตำแหน่งต่ำสุด ยังมีปฏิกิริยาเคมีอื่นๆที่เกิดช่วงสภาวะการประจุเกินคือการแยกตัวของโครงสร้างอิเล็กโตรด ปฏิกิริยานี้จะรุนแรงมากกว่าการเกิดก๊าซ เพราะวัสดุที่แยกตัวไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังนั้นในการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด จึงมีความต้องการระบบควบคุมการประจุ เพื่อป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้นบางครั้งการป้องกันการประจุเกิน [4]

2.1.6 การทดสอบแบตเตอรี่

1. ทดสอบความสามารถในการเก็บไฟ สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้กับเครื่องยนต์ต่าง ๆ หลังจากประจุไฟเต็มที่แล้วต้องเก็บไฟได้เกินกว่า 70% ของความจุของแบตเตอรี่ในเวลา 1 เดือน หมายความว่า ต้องประจุไฟแบตเตอรี่ให้เต็มแล้วทิ้งไว้เฉย ๆ เป็นเวลา 1 เดือน แล้วนำมาทดลองปล่อยไฟ ความจุของแบตเตอรี่จะต้องหายหรือลดน้อยลงกว่าเดิม ความจุที่หายไปเป็นจำนวนเท่าใดนำมาหาเป็นเปอร์เซ็นต์ก็สามารถทราบได้ว่าแบตเตอรี่นั้นมีความสามารถในการเก็บไฟเพียงใด แต่ความจุที่หายไปนี้จะขึ้นอยู่กับความถ่วงจำเพาะของน้ำยา อุณหภูมิ และความบริสุทธิ์ของน้ำยาด้วย

2. การทดสอบความเสื่อมของแบตเตอรี่ด้วยค่า CCA.(Cool Cranking Ampere) ปกติแล้วแบตเตอรี่เมื่อใช้ไปนานๆความสามารถสามารถในการประจุไฟจะลดลงสังเกตได้จากการสตาร์ทแรงไฟจะไม่พอสตาร์ท และไม่เก็บไฟ จะมีอายุการใช้งานประมาณ 2 – 3 ปี หน้าที่หลักที่สำคัญของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับรถยนต์(SLI-Battery)คือให้พลังงานเพื่อหมุนสตาร์เครื่องยนต์ การสตาร์ทเครื่องยนต์ต้องใช้กระแสสูงในระยะเวลาสั้นๆ อัตรา CCA. หมายถึงจำนวนแอมแปร์ของแบตเตอรี่ที่ประจุเต็ม ณ อุณหภูมิ 0 °F ที่สามารถจ่ายกระแสได้เป็นเวลา 30 วินาทีโดยที่ยังรักษาแรงดันอยู่ที่ 1.2 โวลต์ต่อเซลล์ หรือ 7.2 โวลต์สำหรับแบตเตอรี่ 12 โวลต์

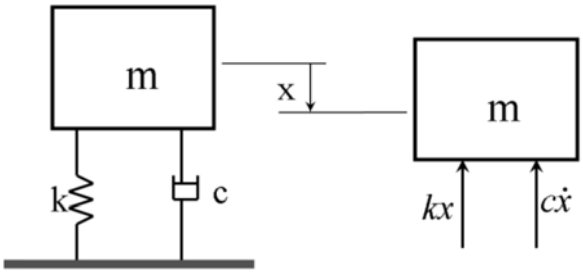
3. การวัดน้ำยาแบตเตอรี่ ปกติน้ำยาแบตเตอรี่จะมีการกำหนดอุณหภูมิของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ที่อุณหภูมิ 80°F เพราะ Specific Gravity ของน้ำกรดนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยจะขยายตัวขึ้นเมื่อเกิดความร้อนและจะหดตัวเมื่อเย็น จึงกำหนดเกณฑ์อุณหภูมิที่ 80°F และให้เกณฑ์ความเปลี่ยนแปลงของ Specific Gravity ไว้ 0.001 ต่อ 3 องศา และถ้าแบตเตอรี่อุณหภูมิสูงกว่า 80°F ให้บวกด้วย 0.001 ต่อ 3 องศา เช่นกัน [4]

2.2 ทฤษฎีการสั่นสะเทือนด้วยความถี่ธรรมชาติ

การเคลื่อนที่ไปมาของวัตถุรอบจุดสมดุลในช่วงหนึ่ง ไม่ว่าการเคลื่อนที่นั้นจะเกิดขึ้นในแบบ ซ้ำตัวเองหรือไม่ก็ตาม เราเรียกการเคลื่อนที่นี้ว่า การสั่น (Vibration) หรือการแกว่ง (Oscillation) เช่น การแกว่งไป-มาของชิงช้า หรือลูกตุ้มนาฬิกา การเคลื่อนที่ของลูกสูบในเครื่องยนต์ เป็นต้น [5]

2.2.1 การสั่นของระบบหนึ่งลำดับขั้นความเสรี

ปรากฏการณ์การสั่นสะเทือนจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปไปมาระหว่างพลังงาน สำหรับระบบที่มีการสั่นสะเทือนนั้นจะมีองค์ประกอบสำคัญ คือ องค์ประกอบที่สะสมพลังงานศักย์ องค์ประกอบที่สะสมพลังงานจลน์ และองค์ประกอบที่หน่วงให้พลังงานของระบบลดลง ซึ่งการเปลี่ยนรูปไปมาของพลังงาน จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่และการเคลื่อนที่นี้จะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้น กล่าวคือ เมื่อมีการสะสมพลังงานศักย์ขึ้นในระบบ พลังงานนี้ จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ ซึ่งอยู่ในลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลในระบบ และการเคลื่อนที่นี้จะก่อให้เกิดการสะสมพลังงานศักย์ขึ้นอีก เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ส่วนองค์ประกอบที่หน่วงพลังงาน ของระบบนั้น ก็จะเปลี่ยนพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของระบบให้อยู่ในรูปอื่น เช่น เสียง หรือความร้อน เป็นต้น จนในที่สุดพลังงานของระบบหมดไป นอกเสียจากว่ามีสิ่งใดสิ่งหนึ่งมากระทำ หรือกระตุ้นให้การสั่นสะเทือนยังคงมีอยู่



ภาพที่ 2.15 แบบจำลองของระบบเชิงกลการสั่นสะเทือนเทียบกับแผนภาพวัตถุอิสระของมวล

กำหนดให้

m คือ มวลของวัตถุ

x คือ ระยะขจัด

c คือ ความหน่วงของระบบ

c_c คือ ความหน่วงวิกฤต

k คือ ค่าความแข็งของสปริง

ω_d คือ ความถี่ธรรมชาติของการสั่นหน่วง

แบบจำลองของระบบดังภาพที่ 2.15 สามารถเขียนเป็นสมการเคลื่อนที่ (Equation of Motion) ได้

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$$

ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency, ω_n) ของระบบที่มีการสั่นอิสระ มีค่า

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

และนิยามให้ อัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio,ζ) เป็น

$$\zeta = \frac{C}{2\sqrt{mk}} = \frac{C}{C_c}$$

สมการการเคลื่อนที่จะมีผลเฉลยของสมการในรูป $x(t) = Ce^{st}$ ดังนั้นสมการ สามารถเขียนใหม่ได้ คือ

$$(s^2 + 2\zeta\omega_n + {\omega_n}^2)Ce^{st} = 0$$

ดังนั้นผลเฉลยของสมการการเคลื่อนที่ จะอยู่ในรูป

$$x(t) = C_1 e^{\left(-\zeta+\sqrt{\zeta^2-1}\right)\omega_n t} + C_2 e^{\left(-\zeta-\sqrt{\zeta^2-1}\right)\omega_n t}$$

ลักษณะการสั่นของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนความหน่วง ζ

1. เมื่อ $\zeta > 1$ $\quad x(t) = C_1 e^{\left(-\zeta+\sqrt{\zeta^2-1}\right)\omega_n t} + C_2 e^{\left(-\zeta-\sqrt{\zeta^2-1}\right)\omega_n t}$

2. เมื่อ $\zeta = 1$ $\quad x(t) = (C_1 + C_2 t)e^{-\omega_n t}$

3. เมื่อ $\zeta < 1$ $\quad \mathrm{x(t)} = \mathrm{C_1 e^{\left(-\zeta+i\sqrt{\zeta^2-1}\right)\omega_n t}} + \mathrm{C_2 e^{\left(-\zeta-i\sqrt{\zeta^2-1}\right)\omega_n t}}$

หรือจัดให้อยู่ในรูป

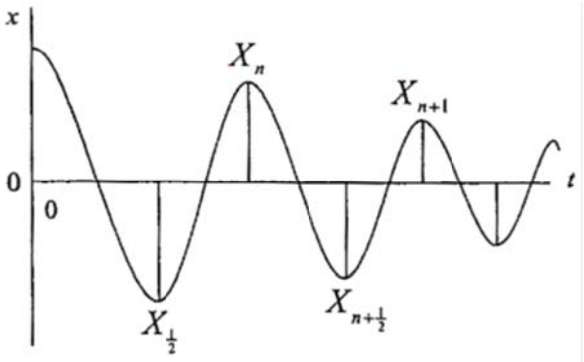
$$x(t) = Xe^{-\zeta\omega_n t}\ \sin(\omega_d t + \emptyset)$$

เมื่อระบบมีการเคลื่อนที่แบบมีความหน่วง โดยที่ $\zeta < 1$ ความถี่ของการสั่นจะเป็นความถี่ของการสั่นหน่วง (Frequency of Damped Oscillation) หรือ

$$\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

จากภาพที่ 2.16 ผลการตอบสนองจะเป็นการลดลงอย่างลอการิทึม (Logarithmic Decrement) แกน x แทนระยะขจัด แกน y แทนคาบเวลา เราสามารถหาค่าอัตราส่วนความหน่วงได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$ln\left[\frac{X_n}{X_{n+1}}\right] = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$



ภาพที่ 2.16 ผลการเคลื่อนที่ของมวล