

## ภาคผนวก ก

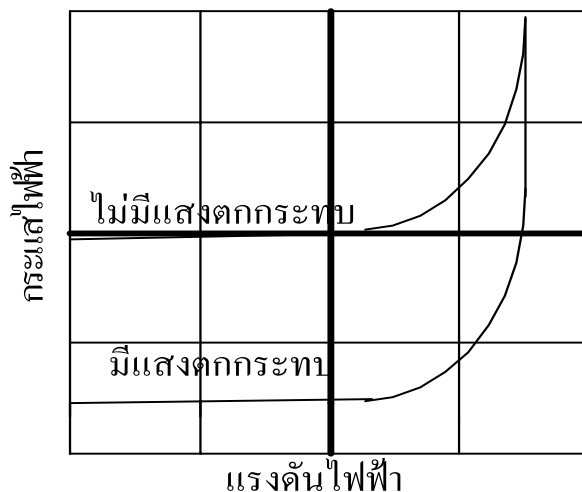
- อุปกรณ์หลักในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

## อุปกรณ์หลักในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

### 1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์

#### 1.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ลักษณะโครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีรอยต่อของซิลิกอนชนิดเอ็นกับซิลิกอนชนิดพี (P-N Junction) ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับไดโอดโดยทั่วไป ดังนั้นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีลักษณะเหมือนคุณสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดทุกประการ



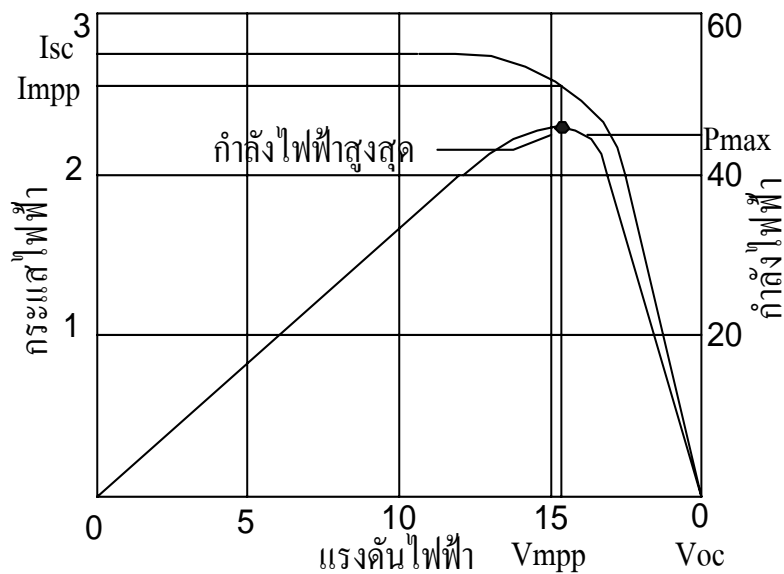
รูปที่ ก-1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ ก-1 เส้นประแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะที่อยู่ในสภาพไม่มีแสงตกกระทบ ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนไดโอดทั่วไป เมื่อมีแสงตกกระทบที่ผิวด้านบนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นซิลิกอนชนิดเอ็นจะมีแสงบางส่วนถูกดูดกลืนโดยเนื้อสาร แต่จะมีแสงส่วนใหญ่ผ่านไปยังรอยต่อระหว่างซิลิกอนชนิดเอ็นกับซิลิกอนชนิดพี ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ เมื่อต่อสายไฟฟ้าเข้ากับขั้วอิเล็กโทรดไปยังวงจรภายนอกจะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจร

ขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร จะขึ้นอยู่กับขนาดของความเข้มรังสีอาทิตย์ ที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ และพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแสงมาตกกระทบ ส่วนขนาดของแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำที่นำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ โดยปกติเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิกอนมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 V /cell

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ในรูปของคุณสมบัติทางกระแส-แรงดัน (I-V Curve) การกำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องกำหนดที่สภาวะมาตรฐานคือ ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์  $1000 \text{ W/m}^2$  ดัชนีมวลอากาศ (Air-mass) 1.5 และที่อุณหภูมิของเซลล์  $25^\circ \text{C}$

ดังแสดงในรูปที่ ก-2

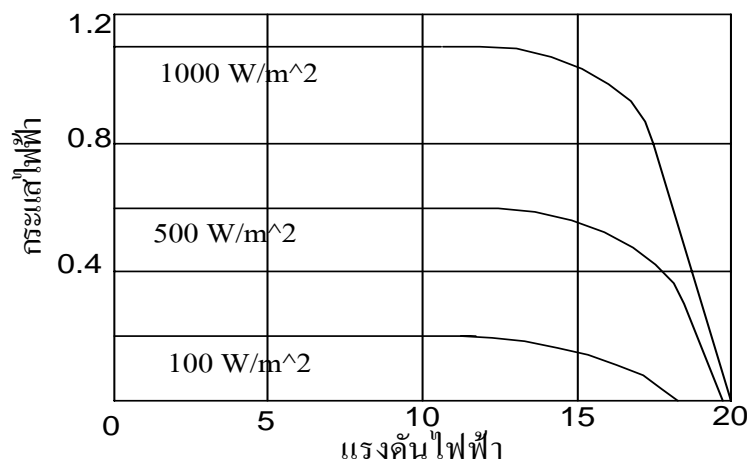


รูปที่ ก-2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

## 1.2 ตัวแปรที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

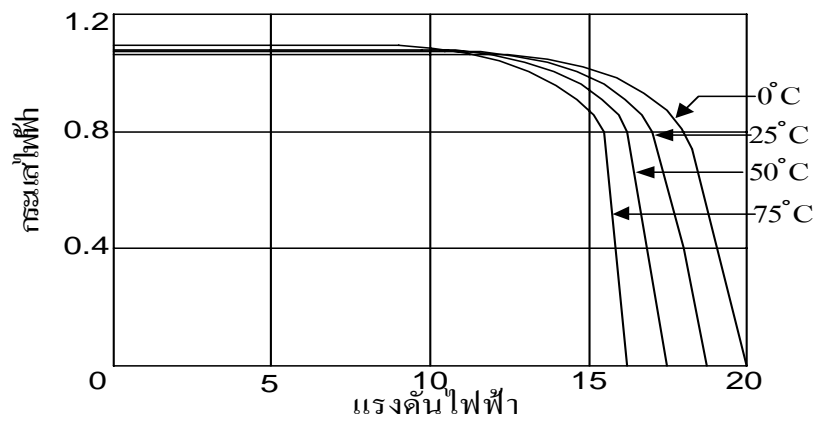
ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงตัวแปร ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนี้

1) **ความเข้มรังสีอาทิตย์** เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงานต้องมีแสงมาตกกระทบบนให้อิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัวนำได้รับพลังงานสูงพอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลขึ้น ดังนั้นถ้าหากแสงที่ตกกระทบบนสารกึ่งตัวนำมีค่าความเข้มสูงมากหรือปริมาณความหนาแน่นของโฟตอนสูง ก็จะทำให้เกิดคู่พาหะอิเล็กตรอนอิสระกับโฮลเป็นจำนวนมาก ผลที่ได้จะทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นด้วยดังแสดงในรูปที่ ก-3



รูปที่ ก-3 ผลของความเข้มรังสีอาทิตย์ต่อแรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

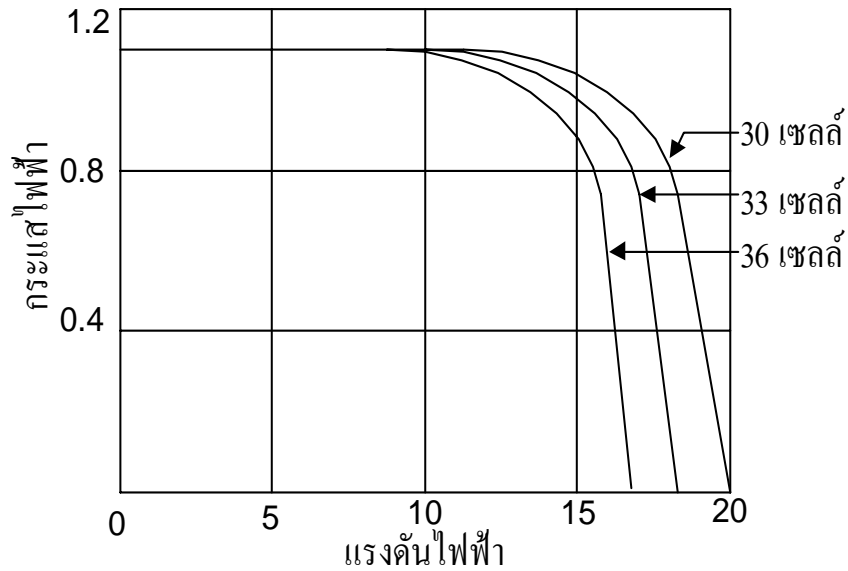
2) **อุณหภูมิเซลล์** ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกไปใช้งานจริงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ด้วย ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนไปด้วยดังรูปที่ ก-4



รูปที่ ก-4 ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

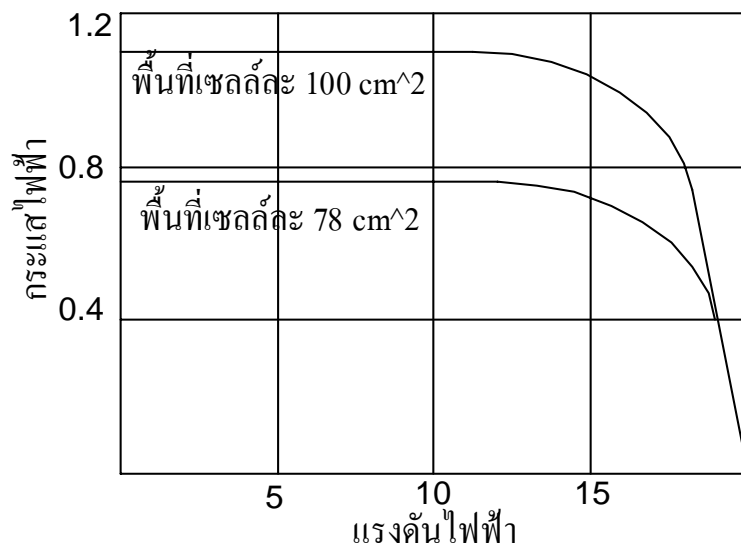
3) จำนวนเซลล์ โดยปกติเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้นจากซิลิกอนจะมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5V/cell ในการนำเซลล์ไปใช้งานจะต้องนำเซลล์มาต่อกันในลักษณะอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดให้สูงขึ้น

ถ้ามีการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำนวนเซลล์มากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากกว่าการต่อเข้ากับแผงที่มีจำนวนเซลล์น้อยกว่า



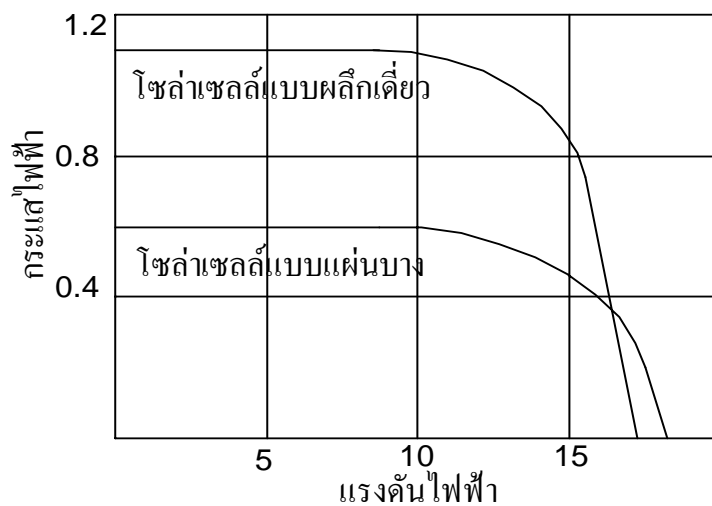
รูปที่ ก-5 ผลของจำนวนเซลล์ต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

4) พื้นที่เซลล์ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นอกจากขึ้นอยู่กับความเข้มรังสีอาทิตย์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ของเซลล์ที่มีแสงตกกระทบอีกด้วย



รูปที่ ก-6 ผลของพื้นที่เซลล์ต่อคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

5) ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทที่มีใช้งานในปัจจุบัน มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกัน ไปดังแสดงในรูปที่ ก-7 ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิเดียวกันเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นบาง แต่แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวจะน้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นบาง



รูปที่ ก-7 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภท

## 2. ขนาดสายไฟที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

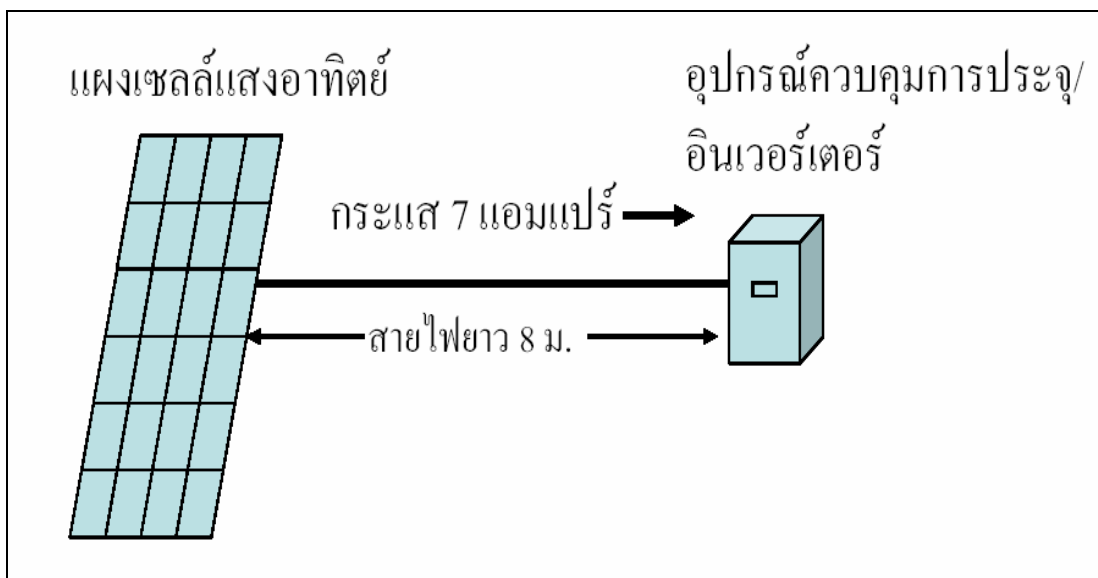
เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟ แรงดันไฟฟ้าจะสูญเสียไปบางส่วนเนื่องจากความต้านทานของสายไฟ ความต้านทานนี้เป็นส่วนที่ต้องคำนึงถึงในระบบไฟฟ้าทุกระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำ เช่น ระบบไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ เช่น ถ้ามีการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าไป 2 โวลต์ ในระบบไฟฟ้า 240 โวลต์ เมื่อคิดเป็นสัดส่วนแล้วจะพบว่าสูญเสียแรงดันไปเพียง 1 %

แต่ถ้าสูญเสียแรงดันไป 2 โวลต์ ในระบบไฟฟ้า 12 โวลต์ ก็จะเท่ากับสูญเสียแรงดันไปถึง 17 % ดังนั้น ในระบบที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำเรื่องการสูญเสียแรงดันจากความต้านทานในสายไฟเป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึง

ปริมาณแรงดันที่สูญเสียในสายไฟขนาดหนึ่งๆ นั้น ขึ้นกับจำนวนของสายไฟ และความยาวของสายไฟ

โดยทั่วไป มาตรฐานกำหนดให้เกิดความสูญเสียแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 5 % ดังนั้น ในระบบไฟฟ้า 12 โวลต์ จะต้องออกแบบให้ไฟฟ้าตกไม่เกิน 0.6 โวลต์ ตารางที่ ก-1 จะให้ข้อมูลขนาดของสายไฟที่เหมาะสม

ตัวอย่างเช่น



รูปที่ ก-8 การคำนวณขนาดของสายไฟ

ในรูปที่ ก-8 แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 7 แอมแปร์ที่แรงดัน 12 โวลต์ ในช่วงที่แสงแดดดี สายไฟที่เชื่อมจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังเครื่องควบคุมการประจุ มีความยาว 8 เมตร

เมื่อดูจากตารางที่ผ่านมาพบว่า เมื่อใช้สายไฟทองแดงขนาด 1.5 ตารางมิลลิเมตร แรงดันไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟระยะ 100 เมตร เมื่อมีกระแสไฟฟ้า 7 แอมแปร์ คือ ประมาณ 15 โวลต์ แต่ถ้าต้องการเดินสายไฟเพียงแค่ 8 เมตร ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจะมีแรงดันสูญเสีย  $8/100 * 15 = 1.2$  โวลต์ ซึ่งมากกว่าค่าแรงดันสูญเสียที่ต้องการ 0.6 โวลต์ ถึง 2 เท่า อย่างไรก็ตามมักพบว่ามีการใช้สายไฟชนิดนี้อยู่บ่อยครั้ง



จากตารางที่ ก-1 ถ้าใช้สายไฟขนาด 2.5 ตารางมิลลิเมตร แรงดันสูญเสียในระบบจะเท่ากับ  $8/100 \times 9.46$  หรือ 0.8 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการและอาจจะสามารถใช้ได้ แต่มีข้อแม้ว่าต้องไม่เดินสายไฟในระยะที่ไกลมากขึ้น

ตารางที่ ก-1 ขนาดสายไฟที่เหมาะสม

| แรงดันไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟ ระยะ 100 เมตร |                                  |       |      |
|---|----------------------------------|-------|------|
| แรงดันที่สูญเสีย<br>(แอมแปร์)           | ขนาดของสายไฟ (มม. <sup>2</sup> ) |       |      |
|   | 1.5                              | 2.5   | 4.0  |
| 0.1                                     | 0.21                             | 0.14  | 0.08 |
| 0.2                                     | 0.43                             | 0.27  | 0.17 |
| 0.3                                     | 0.64                             | 0.41  | 0.25 |
| 0.4                                     | 0.86                             | 0.54  | 0.34 |
| 0.5                                     | 1.07                             | 0.68  | 0.42 |
| 0.6                                     | 1.29                             | 0.81  | 0.51 |
| 0.7                                     | 1.50                             | 0.95  | 0.59 |
| 0.8                                     | 1.72                             | 1.08  | 0.68 |
| 0.9                                     | 1.93                             | 1.22  | 0.76 |
| 1.0                                     | 2.15                             | 1.35  | 0.85 |
| 2.0                                     | 4.29                             | 2.70  | 1.69 |
| 3.0                                     | 6.44                             | 4.05  | 2.54 |
| 4.0                                     | 8.58                             | 5.41  | 3.38 |
| 5.0                                     | 10.73                            | 6.76  | 4.23 |
| 6.0                                     | 12.87                            | 8.11  | 5.08 |
| 7.0                                     | 15.02                            | 9.46  | 5.92 |
| 8.0                                     | 17.16                            | 10.81 | 6.77 |
| 9.0                                     | 19.31                            | 12.16 | 7.62 |
| 10.0                                    | 21.45                            | 13.51 | 8.46 |

### 3. แบตเตอรี่

#### 3.1 ลักษณะแบตเตอรี่และโครงสร้าง

การผลิตแบตเตอรี่ในระดับอุตสาหกรรม เป็นลักษณะอุตสาหกรรมที่ใช้วัสดุที่เป็นพิษและมีของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้ว จะทำเป็นลักษณะผลิตเชิงปริมาณที่ประกอบด้วยกระบวนการหลายกระบวนการ หลังจากประกอบเป็นแบตเตอรี่แล้ว ยังต้องทำการประจุ และคายประจุก่อน ที่จะส่งแบตเตอรี่ถึงลูกค้า

โรงงานผลิตแบตเตอรี่จะมีรายละเอียดของโครงสร้างแบตเตอรี่มากมายแตกต่างกัน แต่จะมีลักษณะส่วนประกอบพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังที่จะกล่าวถึงต่อไป

1) **เซลล์** เซลล์เป็นส่วนประกอบพื้นฐานทางไฟฟ้าเคมีในแบตเตอรี่ ประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรดสองขั้ว ที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบ และมีแผ่นกั้น แยกขั้วทั้งสองไม่ให้ชิดกัน จุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และใส่อยู่ในกล่องภาชนะที่ปิดมิดชิด ในแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด เซลล์ 1 เซลล์จะมีแรงดันไฟฟ้า 2.1 โวลต์ ดังนั้นถ้าต่อเซลล์ 6 เซลล์อนุกรมกัน ก็จะได้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์

2) **วัสดุทำปฏิกิริยา (Active material)** เป็นวัสดุที่ใช้ทำขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่ และทำปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ปริมาณของวัสดุทำปฏิกิริยาในแบตเตอรี่ ขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ ในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด วัสดุทำปฏิกิริยาในขั้วบวกคือตะกั่ว ออกไซด์ (PbO<sub>2</sub>) แผ่นตะกั่วแบบพรุนในขั้วลบ (Pb) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

3) **สารละลายอิเล็กโทรไลต์** ทำหน้าที่เป็นตัวกลางนำไฟฟ้า เกิดการไหลของกระแสในขณะที่มีการถ่ายเทไอออนระหว่างขั้วทั้งสองผ่านเพลท ในแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเป็นกรดซัลฟูริกเจือจาง อาจอยู่ในรูปของของเหลว (Flooded) เจล หรืออาจคูกลิ้นในวัสดุใยแก้วในแบตเตอรี่แบบนิเกิลแคดเมียม สารอิเล็กโทรไลต์จะใช้สารละลายอัลคาไลน์ของโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์และน้ำ ในแบตเตอรี่ที่ใช้สารละลายแบบของเหลวทั้งหมด (Flooded types) จะต้องมีการเติมน้ำเป็นช่วงๆ ขณะใช้งาน เพื่อเป็นการทดแทนน้ำที่สูญเสียไปในช่วงที่มีการประจุเกินและเกิดก๊าซซิง เมื่อเติมน้ำเข้าไปต้องใช้น้ำกลั่นหรือน้ำกรองที่กรองแร่ ออกแล้ว (de-mineralized) เท่านั้น ถ้ามีการปนเปื้อนเข้าไปจากน้ำที่เติม จะทำให้แบตเตอรี่หมดอายุเร็วกว่ากำหนด

4) **กริด (Grid)** ในแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ส่วนใหญ่แล้วกริดจะทำจากตะกั่วอัลลอยด์ เป็นโครงสร้างสำหรับพองวัสดุทำปฏิกิริยาในขั้วต่างๆ และกริดนี้ทำหน้าที่นำไฟฟ้าด้วยสารอัลลอยด์ที่นิยมมาทำเพิ่มความแข็งแรงของขั้วตะกั่วคือ สารแอนติโมนี และแคลเซียม และสารเหล่านี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ เช่น มีผลต่อประสิทธิภาพของรอบการใช้งาน และการเกิดก๊าซซึ่ง เป็นต้น ลักษณะของกริดขึ้นกับลักษณะของขั้วเซลล์ว่าเป็นแบบแผ่นบาง หรือแบบแท่ง

5) **เพลท (Plate)** ขั้วเพลทเป็น โครงสร้างพื้นฐานของแบตเตอรี่ ประกอบด้วย โครงสร้างกริดและวัสดุทำปฏิกิริยา บางที่เรียกขั้วอิเล็กโทรด โดยทั่วไปประกอบด้วยเพลทบวก และเพลทลบ โดยจะนำมาต่อกันแบบขนานกับขั้วด้านบนของเพลทเพื่อแยกเป็นขั้วบวกและลบ ความหนาของกริดและเพลทจะเป็นตัวบ่งชี้ลักษณะการนำไปใช้งาน ว่าสามารถคายประจุได้มากหรือน้อย ในแบตเตอรี่ที่ใช้กับรถยนต์ (SLI) จะใช้เพลทแบบบาง เนื่องจากการทำให้มีพื้นที่ผิวของการทำปฏิกิริยาสูงสุด ทำให้รับและปล่อยกระแสสูงในเวลาสั้นๆ ได้ แต่ไม่หนาและมีความทนทานเท่ากับชนิดที่มีการคายประจุมาก เพลทแบบหนาจะนำไปใช้กับแบตเตอรี่ที่มีการคายประจุมาก เช่น ในรถยนต์ไฟฟ้า รถไฟฟ้าในสนามกอล์ฟ และรถไฟฟ้าอื่นๆ เพลทแบบหนาจะยอมให้มีการคายประจุที่กระแสสูงในช่วงเวลานานได้ โดยที่ลักษณะของวัสดุทำปฏิกิริยาไม่เสียหาย ทำให้อายุการใช้งานนานกว่าแบตเตอรี่ที่มีเพลทแบบบาง

6) **แผ่นกั้น (Separator)** แผ่นกั้นมีลักษณะเป็นฉนวนที่เป็นรูพรุน ทำหน้าที่กั้นระหว่างเพลทขั้วบวกและเพลทขั้วลบในแบตเตอรี่ ไม่ให้ขั้วทั้งสองสัมผัสกันและเกิดการลัดวงจรทางไฟฟ้า แต่อนุญาตให้สารอิเล็กโทรไลต์ ทะลุผ่าน เพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างขั้วทั้งสองแผ่นกั้นนี้อาจทำจากยาง พลาสติก หรือใยแก้ว ในบางกรณีแผ่นกั้นจะมีลักษณะเป็นช่องหุ้มเพลท เพื่อป้องกันการลัดวงจรด้านล่างของเพลทด้วย

7) **Eliment** คือกลุ่มของเพลทบวก เพลทลบ ที่ต่อกันเข้ากับขั้วบวกและขั้วลบ และมีแผ่นกั้น เป็นส่วนของวัสดุที่ทำแบตเตอรี่ แต่ไม่นับรวมภาชนะบรรจุ

8) **ขั้วไฟฟ้า (Terminal posts)** ขั้วไฟฟ้าเป็นส่วนโลหะที่โผล่ด้านนอกของภาชนะบรรจุ มีขั้วบวกและขั้วลบ เซลล์แสงอาทิตย์และภาระทางไฟฟ้าจะต่อที่ขั้วนี้ ในแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ขั้วไฟฟ้านี้จะทำจากตะกั่วหรือตะกั่วอัลลอยด์ หรืออาจเป็นสแตนเลส หรือทองแดงชุบสแตนเลส เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและลดการกัดกร่อน สำหรับแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่น ต้องทำ

ความสะอาดขั้วนี้เป็นระยะ และควรมีการขันสกรูที่ยึดระหว่างแบตเตอรี่เป็นประจำ เพราะอาจคลายตัวแล้วทำให้เกิดการสูญเสียที่จุดต่อได้

9) ช่องระบายอากาศระหว่างเซลล์ ในแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่น ขณะที่กำลังประจุ จะมีก๊าซเกิดขึ้น ต้องทำการระบายก๊าซสู่บรรยากาศ ผ่านทางช่องระบายอากาศระหว่างเซลล์นี้ การสูญเสียน้ำจากเหตุการณ์ดังกล่าวจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ และต้องมีการกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อเติมน้ำกลั่น ให้ระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์เท่าเดิม ในแบตเตอรี่แบบแห้ง (seals or valve-regulated battery) ช่องระบายนี้จะออกแบบเพื่อการลดความดัน โดยจะปิดในสภาวะปกติ แต่เมื่อความดันภายในเพิ่มขึ้นจะเปิดโดยอัตโนมัติ ซึ่งมักเกิดในช่วงที่ประจุเกิน หรือใช้งานในที่อุณหภูมิสูง

แบตเตอรี่ปัจจุบันมีฝาปิดช่องระบายอากาศแบบป้องกันการระเบิด โดยก๊าซที่เกิดในแบตเตอรี่จะระบายผ่านถ่านกรอง เป็นการออกแบบเพื่อลดการเสียหายจากการระเบิดของก๊าซที่เกิดขึ้น

10) ภาชนะบรรจุ โดยทั่วไปภาชนะบรรจุจะทำจากพลาสติกแข็งหรือยางใน ภาชนะจะประกอบด้วย ส่วนประกอบทั้งหมดและสารอิเล็กโทรไลต์ ต้องปิดสนิท ถ้าเป็นภาชนะบรรจุแบบใส จะทำให้สามารถมองเห็นระดับสารละลายภายใน ลักษณะของเพลทได้

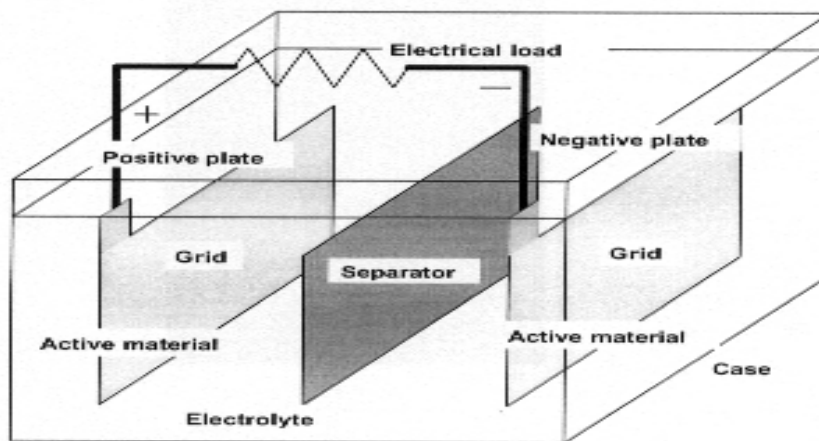


Figure 1. Battery cell composition

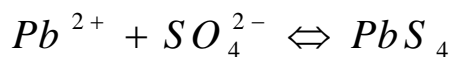
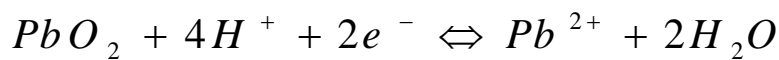
### รูปที่ ก-9 ลักษณะโครงสร้างของแบตเตอรี่

### 3.2 ปฏิกริยาเคมีของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

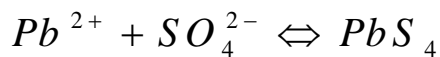
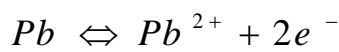
เมื่อพิจารณารูปที่ ก-9 ในสถานะที่แบตเตอรี่ได้รับการประจุเต็ม เพลทบวกจะเป็น ตะกั่วไดออกไซด์ ( $PbO_2$ ) และเพลทลบจะเป็น ตะกั่ว ( $Pb$ ) และสารอิเล็กโทรไลต์เป็นสารละลาย กรดซัลฟริกเจือจาง เมื่อต่อภาระทางไฟฟ้าเพื่อใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ กระแสจะไหลจาก แบตเตอรี่และวัสดุทำปฏิกริยาจะเปลี่ยนเป็น ตะกั่วซัลเฟต ( $PbSO_4$ )

ปฏิกริยาที่เซลล์ตะกั่ว-กรด สมการต่อไปนี้ จะอธิบายปฏิกริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้น ที่เซลล์ของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ในช่วงที่คายประจุ ทิศทางของปฏิกริยาเกิดจากซ้ายไปขวา ในช่วงที่ทำการประจุปฏิกริยาจะเกิดในทิศทางตรงข้ามคือจากซ้ายไปขวา

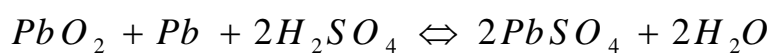
ปฏิกริยาที่อิเล็กโทรดเพลทบวก



ปฏิกริยาที่อิเล็กโทรดเพลทลบ



ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นโดยรวม



ขณะที่แบตเตอรี่คายประจุ วัสดุทำปฏิกริยา คือ  $PbO_2$  และ  $Pb$  ในเพลทบวกและลบ จะทำปฏิกริยารวมตัวกับกรดซัลฟริก และรวมตัวเป็น  $PbSO_4$  และน้ำ เมื่อมีการประจุเต็มทั้งเพลท บวกและลบจะเป็นสารชนิดเดียวกันคือ  $PbSO_4$  และกรดซัลฟริกเปลี่ยนไปเป็นน้ำ การเจือจางของ อิเล็กโทรไลต์นี้ นับว่าเป็นช่วงสำคัญในเทอมของความถ่วงจำเพาะของสารอิเล็กโทรไลต์ และจุด เยือกแข็งซึ่งจะอธิบายในตอนต่อไป

### 3.3 คุณสมบัติของความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

นิยามของ *ความถ่วงจำเพาะ* คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของสารละลายต่อความหนาแน่นของน้ำ ทำการวัดโดยเครื่องไฮโดรมิเตอร์ โดยนิยามแล้ว น้ำบริสุทธิ์จะมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1 ในแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด สารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นส่วนผสมระหว่างกรดซัลฟูริกกับน้ำ ในสถานะที่ประจุเต็ม สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีปริมาณกรดซัลฟูริก ประมาณ 36% โดยน้ำหนัก หรือ 25% โดยปริมาณความถ่วงจำเพาะของสารละลายในแบตเตอรี่นี้ มีความสัมพันธ์กับสถานะของการประจุ และขึ้นกับความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ที่ออกแบบใช้งาน และอุณหภูมิ

ในสถานะประจุเต็มสำหรับแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่น ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีค่าอยู่ในช่วง 1.250 ถึง 1.280 ที่อุณหภูมิ 27 ° C หมายความว่า ความหนาแน่นของสารอิเล็กโทรไลต์มีค่า 1.250 และ 1.280 เท่าของน้ำบริสุทธิ์ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุ ก๊าซไฮโดรเจน และอ็อกซิเจนที่เกิดจากกรดซัลฟูริก จะทำปฏิกิริยากับวัสดุ ทำปฏิกิริยาที่เพลาทบวกและลบ เพื่อเป็นตะกั่วซัลเฟต ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายลดลง ถ้าแบตเตอรี่คายประจุมาก สารอิเล็กโทรไลต์จะเจือจางจนไม่มีอ็อกซิเจนจากสารละลาย ที่จุดนี้แบตเตอรี่จะคายประจุจนหมด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ก็จะเป็นน้ำธรรมดาและมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1

กรดซัลฟูริกเข้มข้นมีจุดเยือกแข็งที่ต่ำมากคือน้อยกว่า -50 ° C ขณะที่น้ำมีจุดเยือกแข็งสูงกว่า คือ 0 ° C ดังนั้นจุดเยือกแข็งของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จึงมีค่าสูงหรือต่ำ ขึ้นกับความถ่วงจำเพาะขณะนั้น ในกรณีที่แบตเตอรี่กำลังคายประจุ ค่าความถ่วงจำเพาะลดลง ทำให้จุดเยือกแข็งสูงขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะ และอุณหภูมิจุดเยือกแข็งของกรดซัลฟูริก แสดงดังตารางที่ ก-2

ตารางที่ ก-2 แสดงคุณสมบัติและจุดเยือกแข็งของกรดซัลฟูริก

| ความถ่วงจำเพาะ | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Wt%) | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Vol%) | อุณหภูมิจุดเยือกแข็ง (° C) |
|----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 1.000          | 0.0                                  | 0.0                                   | 0                          |
| 1.050          | 7.3                                  | 4.2                                   | -3.3                       |
| 1.100          | 14.3                                 | 8.5                                   | -7.8                       |
| 1.150          | 20.9                                 | 13.0                                  | -15                        |
| 1.200          | 27.2                                 | 17.1                                  | -27                        |
| 1.250          | 33.4                                 | 22.6                                  | -52                        |
| 1.300          | 39.1                                 | 27.6                                  | -71                        |

### 3.4 ปฏิกิริยาการซัลเฟชัน (Sulfation)

ปัญหาที่มักพบในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดบ่อยๆ คือปฏิกิริยาการซัลเฟชัน มีผลทำให้ความจุสูงสุดของแบตเตอรี่ลดลงอย่างถาวร ดังนั้นขณะใช้งานต้องระวังไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้

ภายใต้เงื่อนไขสภาวะการใช้งานปกติ ในขณะคายประจุชั้นของตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นที่เพลทจะมีเนื้อละเอียด ดังนั้นจะมีช่องว่างจำนวนมากรอบๆ ชั้นตะกั่วซัลเฟต ที่สารละลายจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับวัสดุทำปฏิกิริยาทั้งตะกั่วไดออกไซด์และตะกั่ว เมื่อตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นรวมตัวกันและเป็นผลึกใหญ่ขึ้นเรียกปฏิกิริยาการซัลเฟชัน จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับแบตเตอรี่เนื่องจากผลึกขนาดใหญ่ไม่สามารถคืนรูปเป็นตะกั่วและตะกั่วไดออกไซด์ในช่วงประจุได้

ปฏิกิริยาการซัลเฟชันจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานแบตเตอรี่ดังนี้

- 1) ปล่อยให้เซลล์คายประจุจนโดยไม่มีประจุกลับ
- 2) มีการประจุเพียงบางส่วนแล้วนำมาใช้งาน เป็นระยะเวลานาน
- 3) ใช้งานแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่องในสภาวะอุณหภูมิสูงกว่า 45° C
- 4) ปล่อยให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่มีความเข้มข้นสูง หรือเมื่อ

สารละลายมีระดับต่ำกว่าระดับล่าง แล้วไม่เติมน้ำกลั่นเป็นเวลานาน

เมื่อเกิดสภาวะตามเงื่อนไขดังกล่าวมาแล้วพร้อมกันมากกว่า 2 สภาวะขึ้นไป ปรากฏการณ์ซัลเฟชันจะเกิดเร็วมากขึ้น

เหตุการณ์ที่บ่งชี้ว่าเกิดปรากฏการณ์ซัลเฟชันแล้ว คือ เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่ แรงดันจะสูงผิดปกติ เหมือนกับแบตเตอรี่ได้รับการประจุเต็ม ในขณะที่วัดค่าความถ่วงจำเพาะแล้ว วัดได้เทียบกับสภาวะการประจุยังไม่เต็ม เมื่อเกิดเหตุการณ์นี้ วิธีการใช้แบตเตอรี่ทำได้โดยการ ประจุด้วยกระแสต่ำๆ และแบตเตอรี่จะมีความจุสูงสุดลดลงอย่างถาวร

วิธีการป้องกันปรากฏการณ์ซัลเฟชันที่ดีที่สุด คือ การประจุแบตเตอรี่ให้เต็ม เพื่อให้ ตะกั่วซัลเฟตเปลี่ยนรูปหมด ในการใช้งานแบบคายประจุมาก (deep cycle) บริษัทผู้ผลิตมักให้ คำแนะนำว่าจะต้องประจุแบตเตอรี่ให้เต็มทันทีเมื่อใช้แบตเตอรี่ถึงจุดความจุต่ำสุด เมื่อนำมาใช้งาน กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่สามารถทำเช่นนี้ได้ เพราะการคายประจุมากเกิดจากกรณีท้องฟ้า ไม่มีแสงแดดต่อเนื่องกันหลายวัน วิธีการป้องกัน จึงต้องมีการลดการใช้ไฟฟ้า เพื่อลดการดึง พลังงานออกจากแบตเตอรี่ หรือทำการถอดแบตเตอรี่ออกไปประจุที่อื่น

นอกจากนั้นในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ยังมีวิธีการลดการเกิดปรากฏการณ์ซัลเฟชันได้ โดยการเลือกออกแบบระบบให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถประจุแบตเตอรี่ได้เต็ม โดยใช้ เงื่อนไขแสงแดดเฉลี่ยของเดือนที่มีแสงแดดน้อยที่สุด แต่ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน สามารถประจุด้วยแหล่งพลังงานชนิดอื่น เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ถ้าจะให้ได้ดี ต้องจัดทำตาราง การประจุแบบ equalization และทำอย่างสม่ำเสมอ

อัตราการเกิดซัลเฟชันจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเซลล์ คุณภาพของเพลท และ วัสดุประสงค์ในการใช้งาน วัสดุทำปฏิกิริยาต่างๆ จะถูกออกแบบให้ลดอัตราการเกิดซัลเฟชัน แต่ไม่สามารถหยุดปรากฏการณ์นี้ได้ ในสภาวะแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงกว่า  $30^{\circ}\text{C}$  จะใช้สารละลาย ความเข้มข้นต่ำ (tropical electrolyte) นอกจากจะลดการเกิดซัลเฟชันแล้วยังช่วยลดความเสียหาย ที่เกิดกับ โครงสร้างของขั้วบวกของแบตเตอรี่ด้วย

### 3.5 ปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย (Stratification)

ปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย จะเกิดกับแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่น โดยความ ถ่วงจำเพาะของสารอิเล็กโทรไลต์จะไม่เท่ากันตลอด ด้านล่างจะมีค่ามากกว่าด้านบน เกิดขึ้นจาก การประจุไม่สมบูรณ์ไม่เกิดก๊าซซึ่งในช่วงที่ประจุเต็ม ทำให้สารละลายไม่เกิดการเคลื่อนที่ผสมกัน อย่างทั่วถึง ผลของปรากฏการณ์นี้ จะทำให้แผ่นเพลทด้านล่างของแบตเตอรี่ ที่สัมผัสกับความ



เข้มข้นสูงสุกก่อนได้เร็ว ขณะที่ด้านบนยังมีลักษณะคืออยู่ ส่งผลให้อายุและความจุของแบตเตอรี่ลดลง แบตเตอรี่ที่มีความจุมากและมีลักษณะรูปทรงสูง มักจะเกิดปัญหาการแบ่งชั้นของสารละลายเมื่อประจุด้วยกระแสต่ำ การป้องกันปรากฏการณ์นี้คือ การทำการประจุแบบ equalization เป็นระยะเวลาที่แน่นอน

### 3.6 คุณสมบัติเชิงสมรรถนะของแบตเตอรี่

#### นิยามและความหมาย

#### 1) แอมแปร์ชั่วโมง (Ah)

เป็นหน่วยพื้นฐานในการวัดความจุของแบตเตอรี่ โดยใช้วิธีการคายประจุด้วยกระแสคงที่แล้วจับเวลาเป็นชั่วโมงจนใกล้จะคายประจุหมด ความจุแอมแปร์ชั่วโมง ได้จากการนำค่ากระแสคูณกับเวลาเป็นชั่วโมง ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ความจุ 80 AH หมายความว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นสามารถจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 8 แอมแปร์ได้นาน 10 ชั่วโมงหรือ 4 แอมแปร์ได้นาน 20 ชั่วโมง

#### 2) ความจุ (capacity)

ในทางปฏิบัติการวัดความจุของแบตเตอรี่ ยังขึ้นกับขนาดของกระแสที่คายประจุ หรือความเร็วในการใช้งานแบตเตอรี่ ถ้ากระแสที่คายประจุเพิ่มขึ้น ความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้จริงจะลดลง ในการกำหนดคุณลักษณะการลดลงของความจุแบตเตอรี่แบบนี้ จะมีการเขียนกำกับความจุของแบตเตอรี่ด้วยอัตราส่วนของความจุต่อเวลา เช่น แบตเตอรี่ขนาดความจุ 30AH ที่ C/10 หรือ  $C_{10}$  หมายถึงแบตเตอรี่สามารถคายประจุ 3 แอมแปร์ในเวลา 10 ชั่วโมง (C/10 หรือ  $C_{10}$  หมายถึงขนาดของกระแสที่คายประจุ ในที่นี้คือ  $30/10 = 3$  แอมแปร์) ในแบตเตอรี่ลูกเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนเป็น C/5 ความจุจะลดลง

สาเหตุที่เมื่อแบตเตอรี่คายประจุด้วยกระแสต่ำ มีความจุมากกว่ากระแสสูง เนื่องจากมีเวลาที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเพลทลึกกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากตามไปด้วย แต่การซึมของสารละลายเข้าไปในเพลทยิ่งลึกอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ก็จะลดลง ดังนั้นอัตราการคายประจุจึงมีความสำคัญต่อทั้งความจุของแบตเตอรี่และอายุการใช้งาน

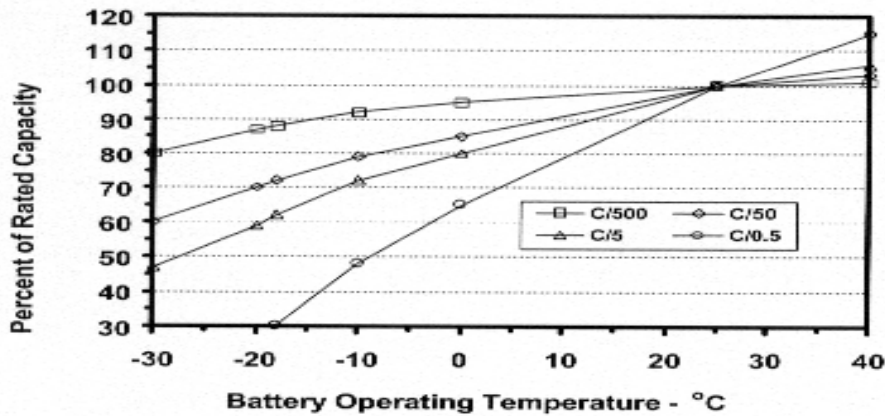


Figure 2. Effects on battery capacity

### รูปที่ ก-10 ผลของอุณหภูมิต่อความจุใช้งานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่บางชนิดวัดความจุเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างความจุแอมแปร์ชั่วโมง และแรงดันปกติของแบตเตอรี่ และหารด้วย 1000 เช่น แบตเตอรี่ 12 V 100 AH มีความจุเท่ากับ  $12 \times 100 / 1000 = 1.2$  kWh เป็นต้น

3) **Cut Off Voltage** เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ระบบแบตเตอรี่ยอมให้มีได้ ขณะคายประจุ ถ้าต่ำกว่านี้จะมีการเสียหายถาวร ไม่สามารถเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ต่อไปได้ โดยค่านี้จะกำหนดเฉพาะเจาะจงที่อัตราการคายประจุต่างๆ กัน บริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนด แรงดันต่ำสุดหรือแรงดันสุดท้ายของการคายประจุกับอัตราการคายประจุ ถ้าใช้แรงดันต่ำสุด ดังกล่าวกับอัตราการคายประจุที่แตกต่างไป ความจุแบตเตอรี่จะสูงกว่า สำหรับอัตราการคายประจุที่ต่ำกว่า

4) **Cycle** เมื่อประจุแบตเตอรี่จนเต็ม นำไปใช้งานแล้วนำกลับมาประจุใหม่จนเต็ม อีกครั้งหนึ่งเรียกรอบการใช้งาน ในการใช้งานมีรอบการใช้งานสองลักษณะคืองานที่มีการคายประจุน้อย (shallow cycle) และงานที่มีการคายประจุมาก (deep cycle) การจะใช้งานแบตเตอรี่แบบไหนนั้นขึ้นกับลักษณะของเซลล์ และส่วนใหญ่ไม่ใช้คายประจุจนหมด ในการใช้งานที่มีการคายประจุมาก มักมีการคายประจุมากกว่า 50 % ต่อรอบการใช้งานขึ้นไป

5) **การคายประจุ (Discharge)** คือกระบวนการที่แบตเตอรี่คายประจุไฟฟ้าออกมา กำหนดในรูปของกระแสการคายประจุ หรืออัตราการคายประจุ สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด คือปฏิกิริยาที่ตะกั่ว ตะกั่วไดออกไซด์ และกรดซัลฟูริก เปลี่ยนเป็นตะกั่วซัลเฟตและน้ำ

6) **การประจุ (Charge)** คือกระบวนการที่แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้า กำหนดในรูปของกระแสประจุ หรืออัตราการประจุ สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด คือปฏิกิริยาที่ตะกั่วซัลเฟตและน้ำเปลี่ยนเป็นตะกั่ว ตะกั่วไดออกไซด์ และกรดซัลฟูริก

7) **Rate of Charge/Discharge** คืออัตราส่วนของความจุต่อเวลาเป็นชั่วโมง เช่น แบตเตอรี่ขนาดความจุ 30AH ที่ C/10 หรือ  $C_{10}$  หมายถึงแบตเตอรี่สามารถคายประจุ 3 แอมแปร์ ในเวลา 10 ชั่วโมง (C/10 หรือ  $C_{10}$  หมายถึงขนาดของกระแสที่คายประจุ ในที่นี้คือ  $30/10 = 3$  แอมแปร์) ในแบตเตอรี่ลูกเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนเป็น C/5 ความจุจะลดลง

8) **Negative (-)** เป็นจุดที่มีความต่างศักย์ต่ำ ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วลบของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนไหลออกมาเมื่อมีการคายประจุ

9) **Positive (+)** เป็นจุดที่มีความต่างศักย์สูง ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วบวกของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนหรือกระแสไหลเมื่อมีการประจุ

10) **Open Circuit Voltage** คือแรงดันที่แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะสมดุล ไม่มีการประจุ หรือไม่มีการคายประจุ แรงดันนี้จะขึ้นกับลักษณะการออกแบบแบตเตอรี่ ความถ่วงจำเพาะ และอุณหภูมิ

#### 11) คุณสมบัติในสภาวะการประจุแบตเตอรี่

วิธีการและขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่ มีหลายลักษณะ สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ วิธีการประจุแบตเตอรี่แต่ละชนิด มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการที่กำหนดมาโดยบริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่ การประจุแบบต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

(1) **Bulk or Normal Charge** เป็นการประจุแบบปกติในช่วงเริ่มต้นของรอบการประจุ โดยสามารถทำการประจุได้ที่อัตราต่างๆ กัน ที่ทำให้แรงดันของแบตเตอรี่ยังไม่ถึงแรงดันก้ำกึ่ง การประจุแบบนี้ จะทำให้ความจุแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 80-90% ของความจุทั้งหมด

(2) **Float or Finishing Charge** เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนใกล้จะเต็ม วัสดุทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบเริ่มต้นเกือบหมดแล้ว หลังจากนั้น ต้องมีการควบคุมอาจจะเป็นกระแสหรือแรงดันที่จะทำการประจุต่อไป เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการประจุเกินเข้าแบตเตอรี่ การประจุแบบนี้มักทำที่อัตราการประจูดำถึงกลาง

(3) **Equalizing Charge** บางครั้งเรียก refreshing charge เป็นการประจุด้วยกระแสคงที่ ที่แรงดันสูง เพื่อให้เซลล์แต่ละเซลล์ได้รับการประจุเท่าเทียมกัน ในขณะที่ทำการประจุแบบนี้ เซลล์ที่มีสถานะการประจุเต็มแล้วจะเกิดก๊าซ ในขณะที่เซลล์ที่ยังไม่เต็มจะได้รับการประจุให้เต็ม การประจุแบบนี้ทำเพื่อบำรุงรักษาระบบเป็นช่วงเวลาที่แน่นอน สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานรายวันที่มีการคายประจุมาก ควรทำการประจุแบบ Equalizing Charge 1-2 สัปดาห์ต่อครั้ง

## 12) คุณสมบัติในสถานะการคายประจุ

(1) **Depth of Discharge (DOD)** คือเปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานออกไป หรือคายประจุออกไป เปรียบเทียบกับความจุทั้งหมด มีปริมาณ DOD สองปริมาณที่ใช้อธิบายในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือ

ก. **Allowable DOD** หรือ **Maximum DOD** เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดที่ยอมให้มีการใช้งานได้ ถ้ามีการใช้งานเกินค่านี้แล้ว แบตเตอรี่ลูกนั้นจะไม่สามารถนำกลับมาประจุใช้งานได้อีก โดยทั่วไปจะกำหนดโดยแรงดัน cut off โดยทั่วไปในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระพารามิเตอร์ที่สะท้อนค่า maximum DOD คือค่าพิคกแรงดันต่ำสุด (LVD) แต่อย่างไรก็ตามค่า maximum DOD นี้สามารถกำหนดตามฤดูกาลได้ โดยขึ้นกับลักษณะพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และลักษณะของการใช้ภาระทางไฟฟ้า

ข. **Average Daily DOD** เป็นปริมาณพลังงานที่ยอมให้มีการจ่ายออกจากแบตเตอรี่ได้ภายใน 1 วัน โดยกำหนดจากค่าเฉลี่ยรายวันของภาระทางไฟฟ้าปริมาณนี้จะสัมพันธ์กับการออกแบบจำนวนวันที่ต้องการเก็บพลังงานไว้ใช้งานถ้าไม่มีการประจุกลับจากแหล่งพลังงานเลย (Autonomy day)

(2) **Stage of Charge (SOC)** สถานะของการคายประจุ เป็นค่าที่บอกความจุของแบตเตอรี่ในแต่ละเวลาที่ใช้งาน มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุของแบตเตอรี่ในขณะนั้น ต่อความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่มี SOC 100 % หมายความว่าแบตเตอรี่อยู่ใน

สถานะประจุเต็ม แบตเตอรี่มี SOC 50 % หมายความว่ามีความจุเหลืออยู่ 50 % รูปที่ ก-11 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของแบตเตอรี่ SOC และ DOD

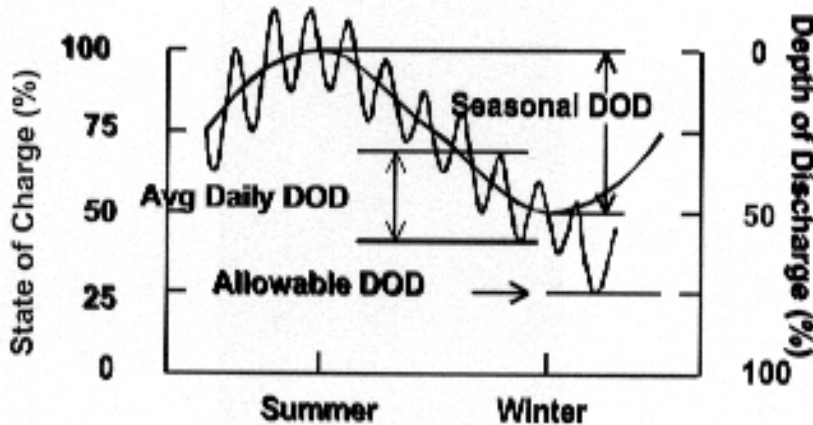


Figure 3. Battery state of charge

รูปที่ ก-11 การเปลี่ยนแปลงของ SOC และ DOC ตามฤดูกาล

13) **Autonomy** โดยทั่วไปจะนิยามคือจำนวนวันที่จะเก็บพลังงานไว้ให้เพียงพอใช้งาน ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ จะหมายถึง ช่วงเวลาที่แบตเตอรี่ที่ประจุเต็มแล้วสามารถจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อไม่มีพลังงานประจุกลับจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เลย สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป ช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ระหว่าง 2-6 วัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ยิ่งออกแบบเวลา Autonomy นาน ขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ก็จะเพิ่มขึ้น

14) **การคายประจุด้วยตัวเอง (Self Discharge Rate)** เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม และปล่อยไว้โดยไม่มีการต่อไปใช้งาน จะมีการคายประจุในตัวเอง อัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุทั้งหมดในช่วงเวลา 1 เดือน การคายประจุด้วยตัวเองนี้ขึ้นกับความยากง่ายในการเกิดก๊าซที่เพลทเมื่อมีการประจุเกิน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น

**15) อายุการใช้งานแบตเตอรี่ (Battery Lifetime)** อายุการใช้งานแบตเตอรี่คือ ช่วงเวลาที่ความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็มลดลงจากความจุเต็มของแบตเตอรี่ใหม่ 80 % โดยการลดลงนั้นเกิดขึ้นทั้งจากจำนวนรอบการใช้งาน และอายุของเซลล์

ในบางรอบการใช้งาน วัสดุทำปฏิกิริยาจะหลุดออกจากอิเล็กโทรด และจมลงด้านล่างของภาชนะบรรจุ เมื่อวัสดุแยกออกมาจากอิเล็กโทรด วัสดุนั้นจะไม่สามารถคืนรูปเหมือนเดิมได้ส่งผลให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลงได้เช่นเดียวกัน จำนวนรอบของการใช้งานก่อนที่ความจุเต็มจะลดลงเหลือ 80 % เรียกว่าอายุของเซลล์ (cell life) อายุของเซลล์นี้จะขึ้นกับลักษณะการคายประจุ ขนาดของกระแสที่คายประจุ และอุณหภูมิ

ในการใช้งานบางงาน เซลล์ไม่ได้มีการใช้งานเป็นรอบบ่อยๆ เช่นในระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน แบตเตอรี่จะได้รับการประจุเต็มตลอดเวลา จนกระทั่งถึงเวลาฉุกเฉินจึงมีการคายประจุ ความจุเต็มของแบตเตอรี่ชนิดนี้จะลดลงตามอายุการใช้งาน ดังนั้นจึงเรียกอายุของการใช้งานแบตเตอรี่แบบนี้เป็นอายุตามปฏิทิน (calendar life) หรืออายุสแตนด์บาย (standby life) โดยมีหน่วยเป็นปี อายุตามปฏิทินนี้ จะขึ้นกับอุณหภูมิ และวิธีการเก็บรักษาแบตเตอรี่

ในเซลล์บางชนิด แบตเตอรี่จะสามารถใช้งานได้ยาวนานเท่าอายุปฏิทินของแบตเตอรี่ ก็ต่อเมื่อมีการใช้งานแบบที่มีการคายประจุน้อยเท่านั้น ดังนั้นจะไม่สามารถใช้ไฟฟ้าเท่ากับความจุของแบตเตอรี่ทั้งหมดได้ เวลาที่กล่าวถึงความจุแบตเตอรี่จึงมักกล่าวถึงความจุสองลักษณะคือ ความจุทั่วไป (nominal capacity) และความจุที่ใช้งานจริง (usable capacity)

**16) Temperature Effects** สำหรับแบตเตอรี่ที่เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั่วไปแล้ว การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ เช่นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °C เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ซึ่งเป็นผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงเป็นสองเท่าเช่นกัน และนอกจากนั้นอุณหภูมิสูงยังมีผลในการเร่งการสึกหรอของเพลททวอก เนื่องมาจากผลของการเกิดก๊าซซึ่ง และการสูญเสีย น้ำ ส่วนอุณหภูมิต่ำมีผลทำให้อายุการใช้งานนานขึ้น แต่อย่างไรก็ตามทำให้ความจุลดลงในแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด

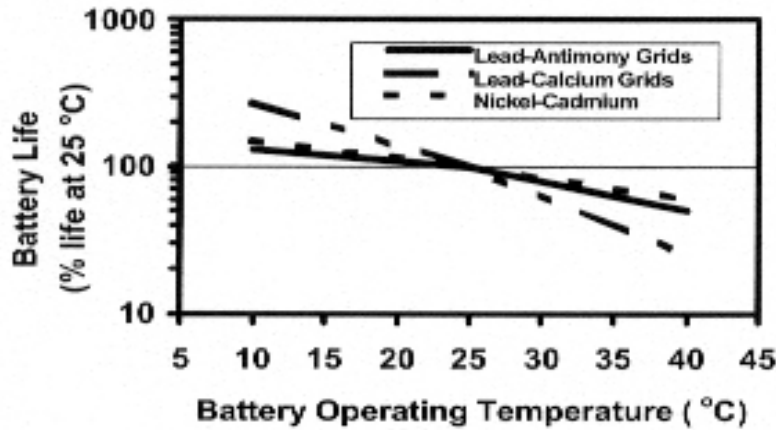


Figure 5. Temperature effects on battery life

รูปที่ ก-12 ผลของอุณหภูมิต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่

17) **Effects of Discharge Rates** ความจุเต็มของแบตเตอรี่จะลดลง เมื่อมีการใช้งานแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุสูงขึ้น อัตราการคายประจุสูงนี้ มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลด จะมีค่าต่ำกว่าการใช้อัตราการคายประจุต่ำกว่า บางครั้งอาจส่งผลถึงการเลือกจุดแรงดันต่ำสุดที่จะตัดการทางไฟฟ้าออก ในแรงดันแบตเตอรี่ค่าเดียวกัน

18) **การเกิดก๊าซซิง และปฏิกิริยาเมื่อมีการประจุเกิน** เซลล์ของแบตเตอรี่เมื่อได้รับการประจุเต็ม วัสดุทำปฏิกิริยาในอิเล็กโทรด เปลี่ยนรูปจากสถานะการคายประจุเป็นสถานะการประจุเต็มทั้งหมด ถ้ายังทำการประจุต่อไป จะเกิดปฏิกิริยาเคมีอื่นขึ้นแทนที่อิเล็กโทรด

ปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือปฏิกิริยาแยกน้ำทำให้เกิดก๊าซ เรียกการเกิดก๊าซซิง เนื่องจากมีฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรด โดยฟองออกซิเจนจะเกิดที่ผิวเพลทขั้วบวก และไฮโดรเจนเกิดที่ผิวเพลทขั้วลบ

การเกิดก๊าซซิงแบบซ้าๆ ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ แต่การเคลื่อนที่ของฟองก๊าซแบบซ้าๆ กลับทำให้เกิดประโยชน์ เนื่องจากฟองก๊าซจะทำให้เกิดการผสมกันของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ไม่ให้เกิดการแยกชั้นความเข้มข้น (stratification)

ถ้ายังมีการเกิดก๊าซอย่างต่อเนื่อง สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นและระดับของสารละลายจะลดลง ดังนั้นต้องเติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายลดลงต่ำกว่าตำแหน่งต่ำสุด

ยังมีปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ ที่เกิดช่วงสภาวะการประจุเกินคือ การแยกตัวของโครงสร้างอิเล็กโทรด ปฏิกิริยานี้จะรุนแรงมากกว่าการเกิดก๊าซ เพราะวัสดุที่แยกตัวไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้

ดังนั้นในการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด จึงมีความต้องการระบบควบคุมการประจุ เพื่อป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้น บางครั้งการป้องกันการประจุเกินจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้วิธีออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีแรงดันพอดีกับการประจุแบตเตอรี่ ในบางกรณีก็ใช้ระบบควบคุมการประจุเฉพาะ ระบบการควบคุมการประจุนั้นจะควบคุมทั้งการประจุเกิน และการดึงพลังงานออกไปใช้ไม่ให้มากเกินไปจนแบตเตอรี่ไม่สามารถประจุพลังงานกลับเข้าไปได้

**19) แรงดันควบคุมในช่วงการประจุเกินและการเกิดก๊าซซึ่ง** แรงดันควบคุมในช่วงประจุเกิน คือแรงดันสูงสุดที่อุปกรณ์ควบคุม ยอมให้มีการประจุแบตเตอรี่จนเกิดก๊าซได้ ถ้าแรงดันแบตเตอรี่เกินจุดนี้ อุปกรณ์ควบคุมจะทำการตัดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ออกไป เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดก๊าซมากขึ้น ดังนั้นการเลือกแรงดันควบคุมสูงสุดนี้ ก็จะมีผลสำคัญต่อระบบโดยรวม ถ้าเลือกแรงดันควบคุมต่ำเกินไป อาจทำให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุไม่เต็ม แต่ถ้าเลือกสูงเกินไป อาจทำให้เกิดการประจุเกินได้



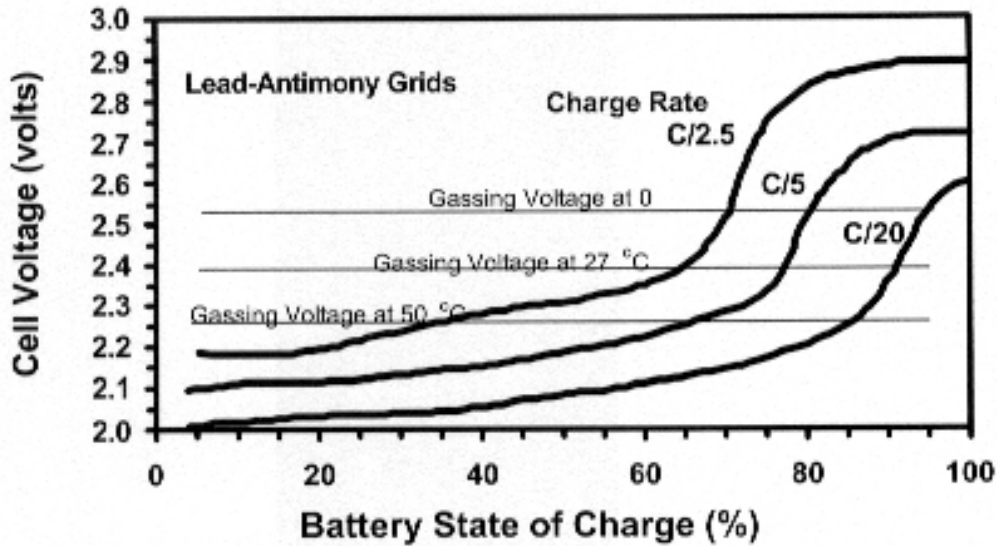


Figure 6. Lead-acid cell charging voltage

รูปที่ ก-13 แรงดันควบคุมในช่วงการประจุและการเกิดก๊าซซิง ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

การเกิดก๊าซในขณะประจุ ไม่ได้เกิดจากแรงดันที่ประจุอย่างเดียว ยังเกิดจากอุณหภูมิของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และอัตราการประจุด้วย โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแรงดันที่เกิดก๊าซจะต่ำลง

จากรูปที่ 6 ที่อุณหภูมิ 27 ° C และอัตราการประจุ C/20 แรงดันการเกิดก๊าซประมาณ 2.35 V ต่อเซลล์ และมี SOC เกือบ 90 % เมื่อเพิ่มอัตราการประจุเป็น C/5 ที่อุณหภูมิ 27 ° C แรงดันการเกิดก๊าซ ประมาณ 2.35 V ต่อเซลล์ และมี SOC ลดลงเป็น 75 % และเมื่ออุณหภูมิลดลงเป็น 0 ° C แรงดันการเกิดก๊าซ ประมาณ 2.5 V ต่อเซลล์ หรือ 15 V ในแบตเตอรี่ 12 V และมี SOC เพิ่มขึ้นเป็น 80 % ดังนั้นในอุปกรณ์ควบคุมการประจุที่ดีจะมีการปรับแก้อุณหภูมิเพื่อให้ได้จุดควบคุมที่ถูกต้องด้วย

ตารางที่ ก-3 ข้อเสนอแนะการเลือกแรงดันควบคุมในการประจุ

| แรงดันควบคุมที่ 25° C | ชนิดของแบตเตอรี่                  |                                      |   |  |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---|--|
|                       | แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบเติมน้ำกลั่น | แบตเตอรี่ตะกั่วเคลือบแบบเติมน้ำกลั่น | แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบซีล Valve regulate | แบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียมแบบเติมน้ำกลั่น |
| สำหรับระบบ 12 โวลต์   | 14.4-14.8                         | 14.0-14.4                            | 14.0-14.4                               | 14.5-15.0                              |
| ต่อเซลล์              | 2.40-2.47                         | 2.33-2.40                            | 2.33-2.40                               | 1.45-1.50                              |

### 3.7 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่

ความต้องการการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ จะมีมากหรือน้อยในระบบ ขึ้นกับการออกแบบและลักษณะการประยุกต์ใช้งาน โดยการบำรุงรักษา นี้ รวมไปถึงการทำความสะอาดภาชนะบรรจุสายไฟ ขั้วต่อไฟฟ้า การขันเกลียวยึดให้แน่น การเติมน้ำกลั่น และการทดสอบสมรรถนะของแบตเตอรี่เป็นระยะๆ การทดสอบสมรรถนะจะประกอบไปด้วย การบันทึกความถ่วงจำเพาะ อุณหภูมิของเซลล์ แรงดันของเซลล์ หรือการทดสอบความจุ การวัดแรงดันและกระแสขณะทำการประจุก็สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการดูอาการผิดปกติของระบบได้ นอกจากนั้น อุปกรณ์ต่างๆ ที่มีในระบบ เช่น ระบบระบายอากาศ ระบบดับเพลิง และระบบรักษาความปลอดภัยอย่างอื่น ก็ควรจะได้รับกำหนดในเรื่องของการบำรุงรักษาระบบด้วย

**อุปกรณ์ในการทดสอบแบตเตอรี่** การวิเคราะห์จุดบกพร่อง หรืออาการเสียหายของแบตเตอรี่ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระนั้น เป็นแนวทางเบื้องต้นที่ผู้ใช้งานหรือผู้ดูแลแบตเตอรี่ต้องเข้าใจและสามารถทำได้ หัวข้อนี้จะอธิบายเครื่องมือที่จำเป็นสองชนิดที่ควรมีในระบบเพื่อทำการตรวจสอบระบบแบตเตอรี่เบื้องต้น

- **ไฮโดรมิเตอร์** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่ ซึ่งคืออัตราส่วนของความหนาแน่นของสารละลายต่อความหนาแน่นของน้ำ ความถ่วงจำเพาะของสารละลายที่บอกความจุของแบตเตอรี่ได้ถูกต้องจะเป็นการวัดในขณะที่ไม่ได้ต่อภาระทางไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ประจุ นั่นคือที่สภาวะเปิดวงจร

- **ไฮโดรมิเตอร์** แบบที่ใช้กระดาษแก้วลอยในสารละลาย จะวัดได้ถูกต้องเมื่ออ่านที่อุณหภูมิ 27 ° C (80 ° F) ถ้าอ่านที่อุณหภูมิก่าอื่น ต้องทำการปรับเทียบอุณหภูมิ โดยทั่วไปจะปรับด้วยแฟกเตอร์ 0.004 ทุกๆ 5.5 ° C (10 ° F) จากจุดอ้างอิง โดยจะต้องเอาไปบวกกับค่าที่อ่านได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และนำไปลบออกจากค่าที่อ่านได้ เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดอ้างอิง

- **อุปกรณ์ทดสอบภาระทางไฟฟ้า (Load Tester)** อุปกรณ์ทดสอบภาระทางไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ดึงพลังงานไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่เหมือนภาระทางไฟฟ้า และขณะเดียวกันก็ทำการบันทึกแรงดันของแบตเตอรี่ โดยทั่วไปอุปกรณ์นี้ ต้องสามารถดึงพลังงานไฟฟ้าด้วยอัตราการคายประจุสูง ในช่วงเวลาที่กำหนดได้ ประโยชน์ของอุปกรณ์ชนิดนี้คือสามารถนำมาเช็คอาการของแบตเตอรี่ที่กำลังใช้งานอยู่ในระบบ

### 3.8 ข้อพิจารณาเรื่องความปลอดภัย

เนื่องจากระบบแบตเตอรี่เป็นระบบที่มีอันตรายและภายในบรรจุสารเคมีที่เป็นพิษ รวมทั้งพลังงานไฟฟ้าที่เก็บในแบตเตอรี่ ดังนั้นอาจเกิดอันตรายขณะใช้งานได้ตลอดเวลา ต้องระมัดระวังทั้งในช่วงเวลาขนส่ง และขณะใช้งานแบตเตอรี่ที่มีการนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาดหลายพันแอมป์ เมื่อเกิดการลัดวงจร ดังนั้นจึงต้องมีประกาศเตือนให้ระมัดระวังอันตรายต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นและวิธีการแก้ไข

1) **การขนย้ายแบตเตอรี่** เนื่องจากกรดซัลฟิวริกที่อยู่ในแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด จะกัดทำลายเสื้อผ้า และทำให้เกิดบาดแผลที่ผิวหนังได้ ดังนั้นเวลาที่ทำการขนย้ายแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดที่เติมน้ำกลั่น ต้องป้องกันร่างกายและเสื้อผ้า โดยในส่วนบุคคลอาจจะสวมชุดที่ทำจากแอปลอน และใส่หน้ากากป้องกันการสูดดมไอกรด เมื่อร่างกายหรือเสื้อผ้าโดนน้ำกรด ต้องรีบเอาน้ำโซดา แอมโมเนีย หรือน้ำล้างทันที ส่วนแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียมสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้เป็นกลางโดยการเอาน้ำส้ม หรือน้ำสะอาดล้าง ถ้าสารอิเล็กโทรไลต์เกิดอุบัติเหตุกระเด็นเข้าตา ต้องเปิดเปลือกตา และทำความสะอาดอย่างรวดเร็วด้วยน้ำเย็นประมาณสิบห้า นาที ถ้ามีคีมสารอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นกรดเข้าไปในร่างกาย ต้องดื่มน้ำหรือนมมากๆ ตามด้วยยาระบายไข่หรือน้ำมันพืช หลังจากนั้นนำส่งโรงพยาบาลโดยเร็ว

2) **การป้องกันอันตรายส่วนบุคคล** เมื่อทำการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ ผู้ปฏิบัติงานต้องระวังป้องกันตนเอง โดยการใส่ชุดป้องกันเช่นชุดแอปลอน ใส่หน้ากาก หรืออุปกรณ์ป้องกันใบหน้า และถุงมือ เพื่อป้องกันการหกกระเซ็นของน้ำกรด หรือการหายใจเอาไอกรดเข้าร่างกาย

ถ้ากรดซัลฟูริกถูกร่างกายหรือเครื่องนึ่งห่ม ต้องหาน้ำโซดา แอมโมเนีย หรือน้ำล้างออกทันที ในโรงเรือนที่ทำการติดตั้งระบบแบตเตอรี่ ควรมีน้ำฝักบัว และน้ำยาล้างตา หรือถ้าให้ถูกต้องในทางปฏิบัติต้องมีระบบดับเพลิง และก่อนที่จะทำงานกับระบบแบตเตอรี่ควรถอดแหวนเพชรและกำไลข้อมือ รวมทั้งควรใช้เครื่องมือที่มีฉนวนเพื่อป้องกันการลัดวงจรขณะทำงาน

3) **อันตรายจากการระเบิด** ระหว่างใช้งานระบบแบตเตอรี่ อาจเกิดเหตุการณ์ระเบิด เนื่องจากการรวมตัวกันของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนได้ ดังนั้นในอาคารที่ติดตั้งแบตเตอรี่ จะต้องไม่ทำให้เกิดประกายไฟ เปลวไฟ การจุดหรือสูบบุหรี่ หรือมีแหล่งกำเนิดประกายไฟต่างๆ ตลอดเวลา และควรจะมีการติดตั้งระบบระบายอากาศทั้งแบบแอกทีฟหรือพาสซีฟ โดยการจะระบายอากาศเร็วหรือช้าขึ้นกับจำนวนแบตเตอรี่ที่ติดตั้ง และลักษณะการเกิดก๊าซซึ่ง เมื่อจะทำการถอดสายต่อที่ทำการประจุแบตเตอรี่ออกจากแหล่งประจุ ต้องมั่นใจว่าได้ทำการปิดระบบประจุไฟฟ้าแล้ว เพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟระหว่างที่ทำการถอด

4) **การกำจัดและการรีไซเคิล** ระบบแบตเตอรี่เป็นระบบที่มีอันตราย เพราะภายในบรรจุสารเคมีที่เป็นพิษ เช่น ตะกั่ว กรด และพลาสติก ซึ่งมีพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมด้วยเหตุผลนี้เอง จึงมีข้อบังคับเป็นกฎหมายออกมาในเรื่องของการกำหนดแนวทางการกำจัด และการรีไซเคิลแบตเตอรี่ที่หมดอายุ ส่วนใหญ่แล้วแบตเตอรี่เก่าจะถูกส่งกลับไปยังศูนย์รีไซเคิล แต่ในบางกรณี บริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่ จะเสนอแนวทางสำหรับการกำจัดแบตเตอรี่ไว้ให้ลูกค้าที่ตัวแทนจำหน่าย และส่วนใหญ่จะเป็นการรีไซเคิล สำหรับประเทศไทยมีศูนย์รับแลกซื้อแบตเตอรี่เก่าอยู่ตามอำเภอและจังหวัดใหญ่ๆ ทั่วไป