

LEAD-ACID BATTERY

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด



หัวข้อในการบรรยาย

- Standby application
- Lead-Acid battery
 - เคมี
 - โครงสร้าง
 - Flooded battery
 - VRLA battery
 - AGM และ Gelled
- ความจุของแบตเตอรี่
- อายุ
- คำถาม-คำตอบ

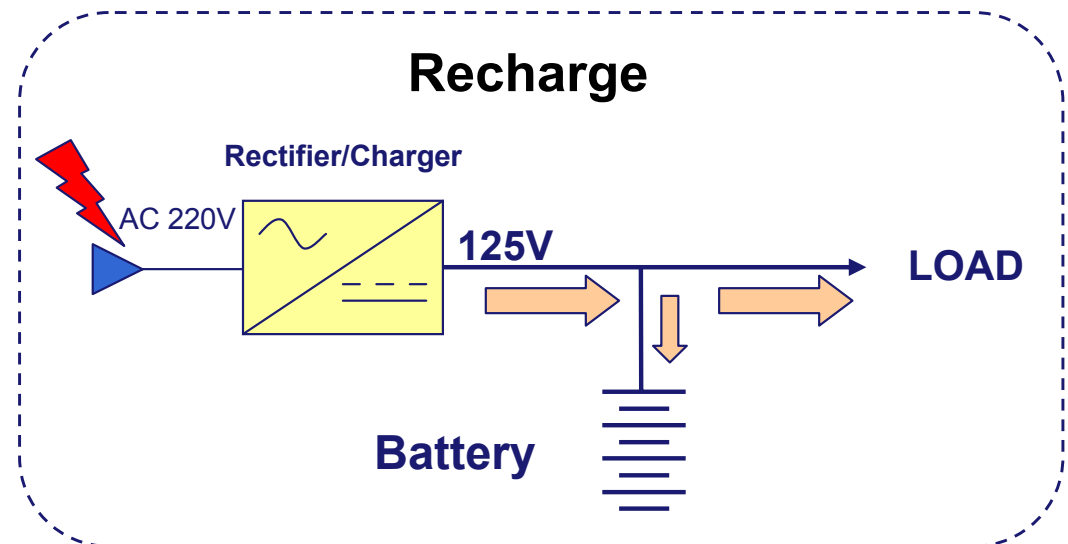
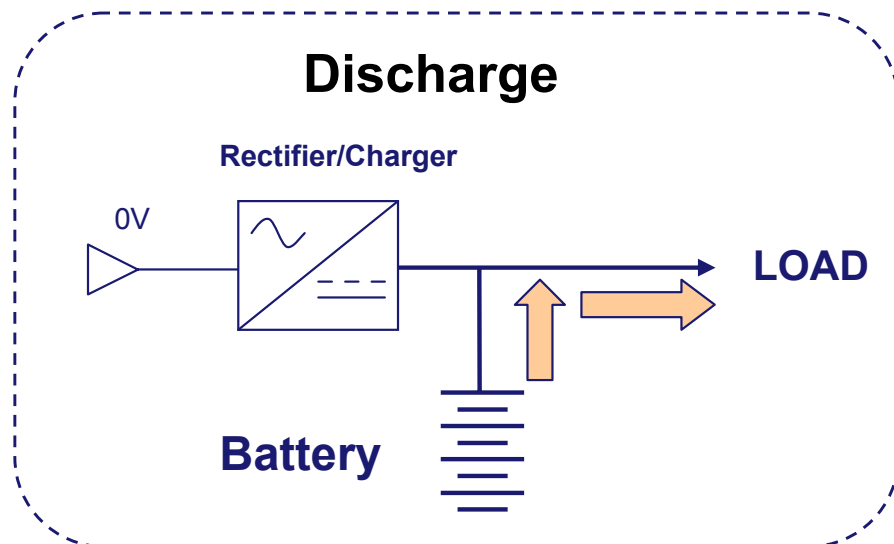
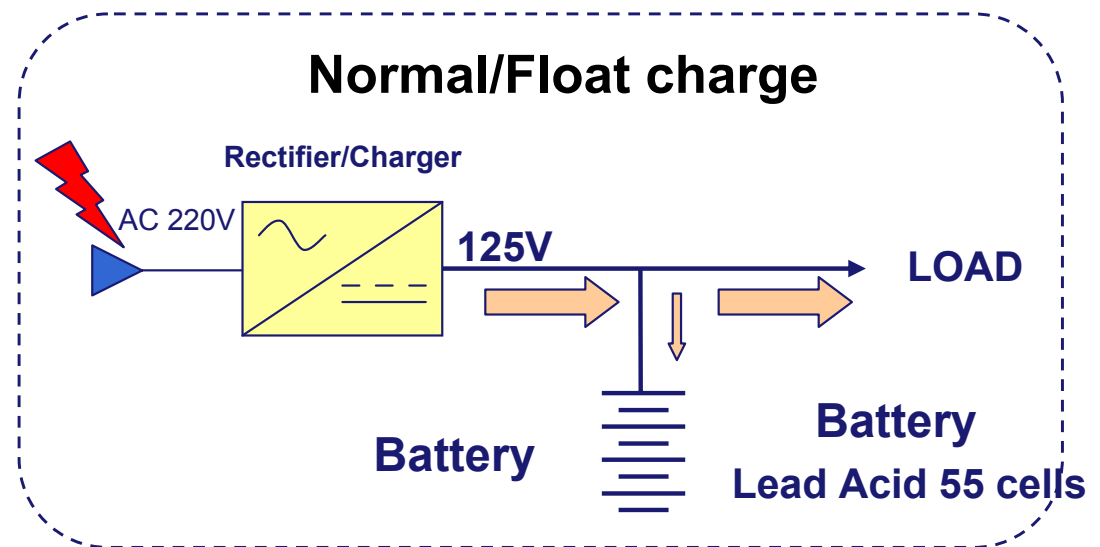


Standby (Float) Application

แบตเตอรี่จะถูกต่อชาร์จอยู่ตลอดเวลา เมื่อไฟฟ้าหลักดับไปแบตเตอรี่ก็จะจ่ายกระแสไฟฟ้า

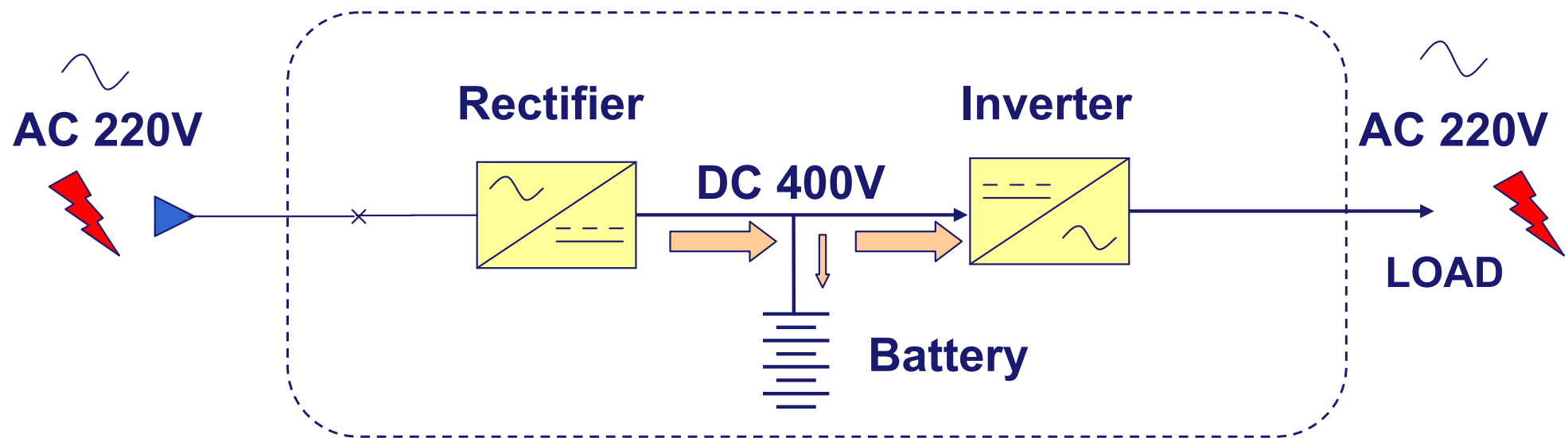
ให้กับโหลด

- UPS 380V-600V
- Telecom – ระบบ 48V
- Switch gear & Control – ระบบ 110V
- Emergency light – 12V, 24V



UPS

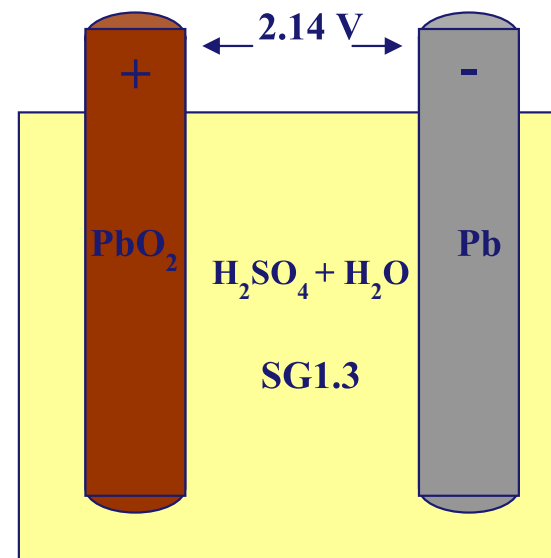
Uninterruptible Power Supply



เซลล์สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว-กรด (Lead-Acid storage cell)

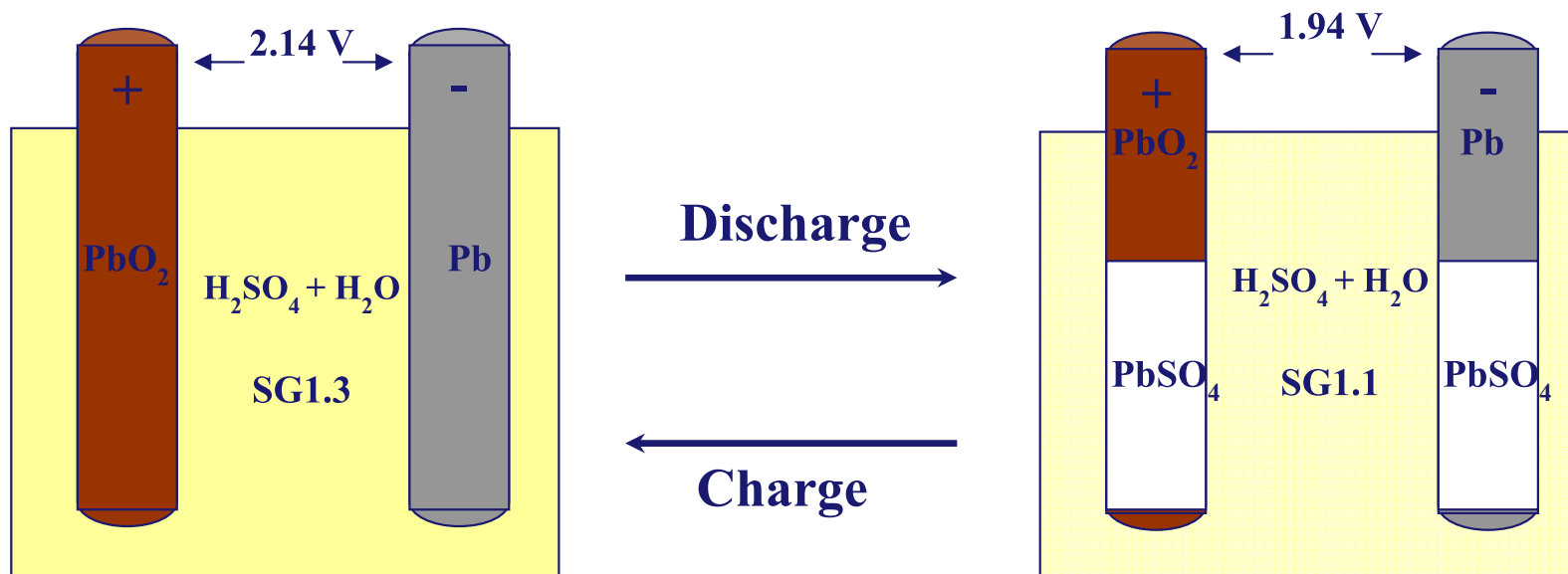
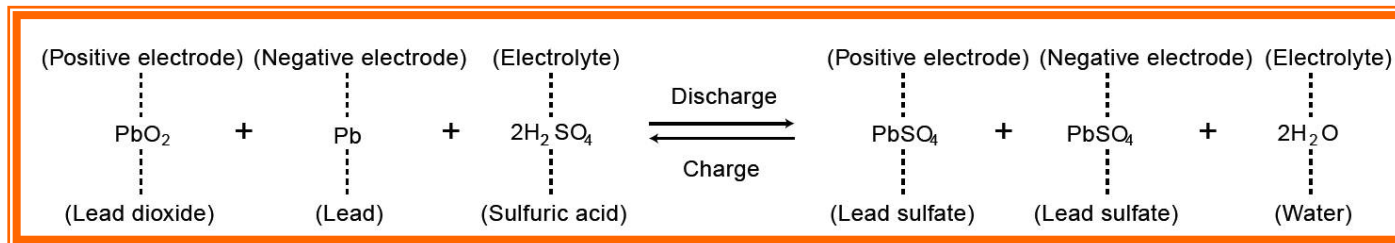
Active Material

- + แผ่นธาตุบวก : Lead dioxide (PbO_2) : สีน้ำตาลแดง
 - แผ่นธาตุลบ : Sponge Lead (Pb) : สีโลหะ เทา
 - อิเล็กโทรไลต์ : สารละลายกรดกำมะถัน (Sulfuric acid; H_2SO_4) ใส ไม่มีสี
: ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity; SG) 1.210-1.300 ขึ้นอยู่กับการออกแบบ
- ⚡ 1 เซลล์มีแรงดันไฟฟ้า (Nominal voltage) ประมาณ : 2 Volts/Cell



Lead-Acid โครงสร้างและหลักการ

- ขณะดิสชาร์จ กรดซัลฟูริกจะถูกใช้ในปฏิกิริยา และ เกิดเป็นน้ำขึ้นมาแทน ทำให้อิเล็กโทรไลต์มีความเข้มข้นลดลง (ขณะดิสชาร์จ อิเล็กโทรไลต์จะมีความถ่วงจำเพาะต่ำลงเรื่อยๆ)
- ขณะดิสชาร์จ ตะกั่วซัลเฟต เกิดขึ้นทั้งที่แผ่นธาตุบวกและลบ
- เมื่ออิเล็กโทรไลต์จางลง และทั้งแผ่นธาตุบวกและลบกลายเป็นตะกั่วซัลเฟตแล้ว เซลจะไม่สามารถจ่ายไฟได้อีก จะต้องนำเซลล์ไปประจุไฟใหม่ ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้เซลล์สามารถจ่ายไฟได้อีก



จำแนกแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

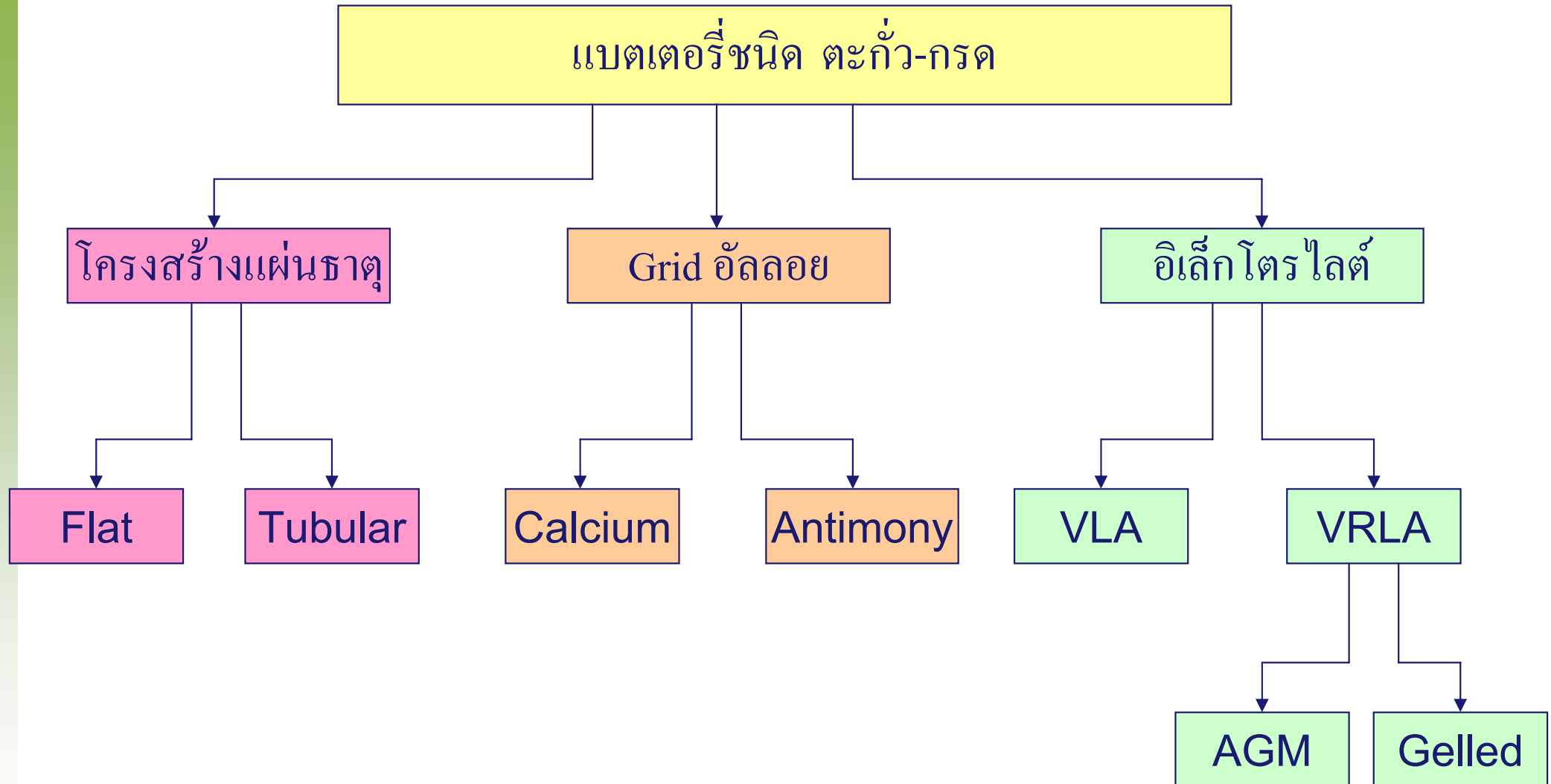
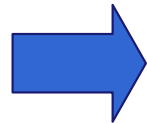


Plate and Grid



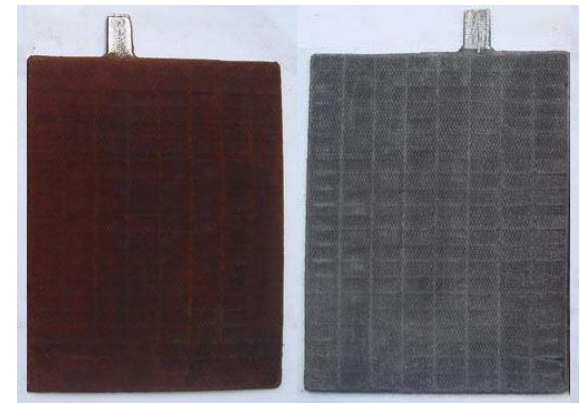
Grid



Pasted



Cured



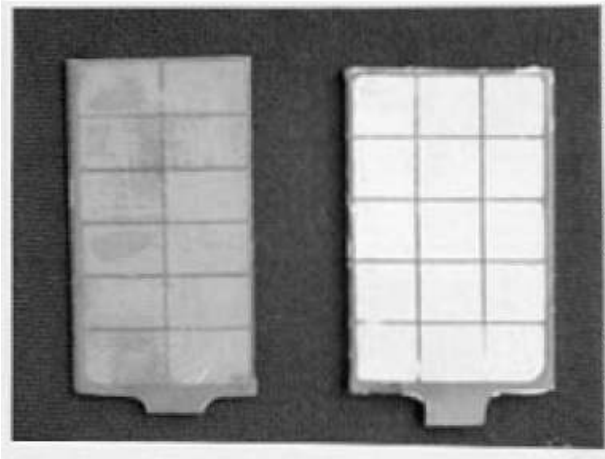
Plate

หน้าที่และวัสดุของ Grid

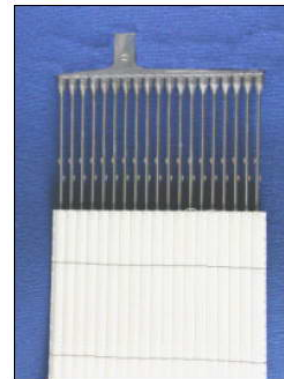
- Grid เป็นโครงสร้างที่รองรับ Active material คือ PbO_2 สำหรับแผ่นธาตุบวกและ Sponge Lead (Pb) สำหรับแผ่นธาตุลบ
- Grid เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี
- โดยพื้นฐานเป็นโลหะตะกั่ว แต่ตะกั่วบริสุทธิ์จะอ่อน ทำให้กระบวนการผลิตทำได้ยาก และแผ่นธาตุที่ได้ไม่แข็งแรง
- มีการผสม โลหะชนิดต่างๆลงในตะกั่ว เรียกว่าเป็น 'อัลลอย' เพื่อให้ Grid แข็งแรงขึ้น ทนการผุกร่อนดีขึ้น ที่นิยมได้แก่ แคลเซียม ดีบุก พลวง ซีลีเนียมฯ

โครงสร้างแผ่นธาตุ

● ลักษณะของแผ่นธาตุ



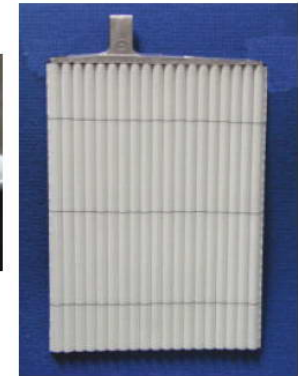
◆ Pasted flat plate



a) Gauntlet and core (spine)

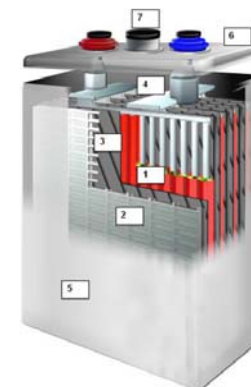


b) Gauntlet and core, - front view



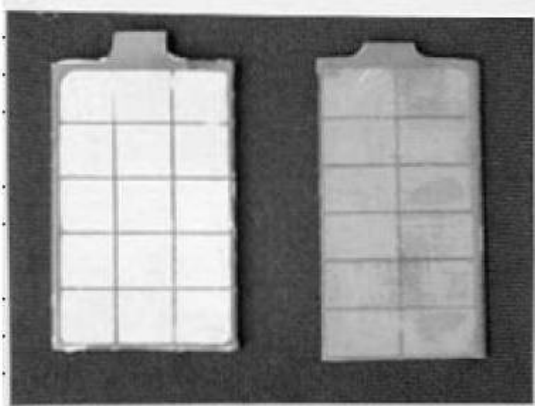
c) Finished tubular plate

◆ Tubular plate



1. Positive electrode
2. Negative electrode
3. Micro-porous separator
4. Current collectors
5. Case
6. Cover
7. Vent plug

ชนิด Flat plate



Grid



Pasted



Cured



Plate

➤ แผ่นธาตุบวกและลบ เป็นแผ่นแบน

➤ เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด

คุณสมบัติ

➤ มีความสามารถในการจ่ายกระแสสูงได้ดี มี Energy density สูง

➤ สามารถออกแบบให้ใช้ได้กับงานหลากหลายประเภท

➤ นิยมใช้กับงานประเภท Standby/Float application

- UPS

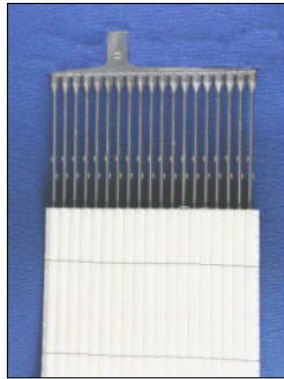
- Telecommunication

- Engine starter

- Utility/switch gear

- Emergency light

ชนิด Tubular plate



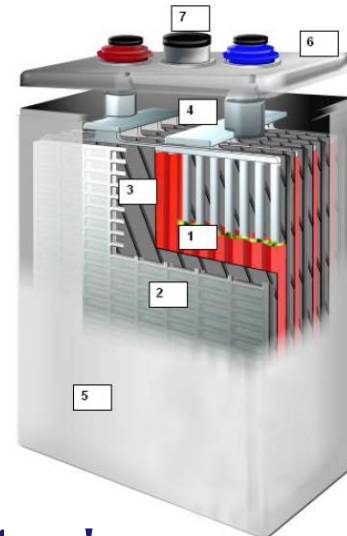
a) Gauntlet and core (spine)



b) Gauntlet and core, - front view



c) Finished tubular plate



1. Positive electrode
2. Negative electrode
3. Micro-porous sepa
4. Current collectors
5. Case
6. Cover
7. Vent plug



➤ แผ่นธาตุขดเป็นแท่ง(Tubular) แผ่นธาตุลบบเป็นแผ่นแบน(Flat plate)

คุณสมบัติ

➤ Tubular plate มีโครงสร้างที่แข็งแรง เหมาะกับการใช้งานแบบ Cycled

➤ มีความสามารถในการจ่ายกระแสปานกลาง สามารถใช้กับงานที่ต้องการกระแสสูงได้แต่แบตเตอรี่จะมีขนาดใหญ่กว่า

➤ การใช้งานแบบ Cycle application, Standby/Float application

- Electric car, Folk lift, Golf cart
- Solar system
- Telecommunication - Utility/Switch gear



จำแนกแบตเตอรี่ตามลักษณะของอิเล็กโทรไลต์

1. แบตเตอรี่แบบน้ำ - มีชื่อเรียกหลายชื่อ ได้แก่ Flooded type , Wet type, Vented Lead Acid (VLA)



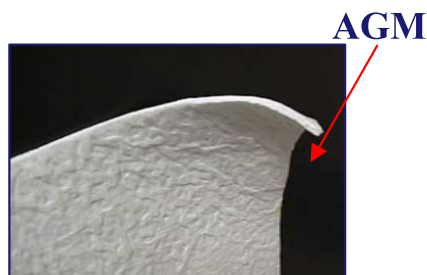
- น้ำกรดในแบตเตอรี่ เป็นของเหลวอิสระ สามารถไหลได้
- ที่ฝาด้านบนของแบตเตอรี่ มีช่องระบายก๊าซที่เปิดออกสู่อากาศภายนอกโดยตรง
- ที่ฝาด้านบนของแบตเตอรี่ มีช่องเติมน้ำ และจะต้องเติมน้ำกลั่นทุกๆ 3-6 เดือน ดังเช่น ในแบตเตอรี่รถยนต์

2. แบตเตอรี่แบบวาล์วควบคุมความดัน หรือ VRLA (Valve Regulated Lead Acid)

- มีชื่อเรียกหลายชื่อ ได้แก่ Sealed Lead Acid (SLA) , ~~Maintenance-Free (MF)~~



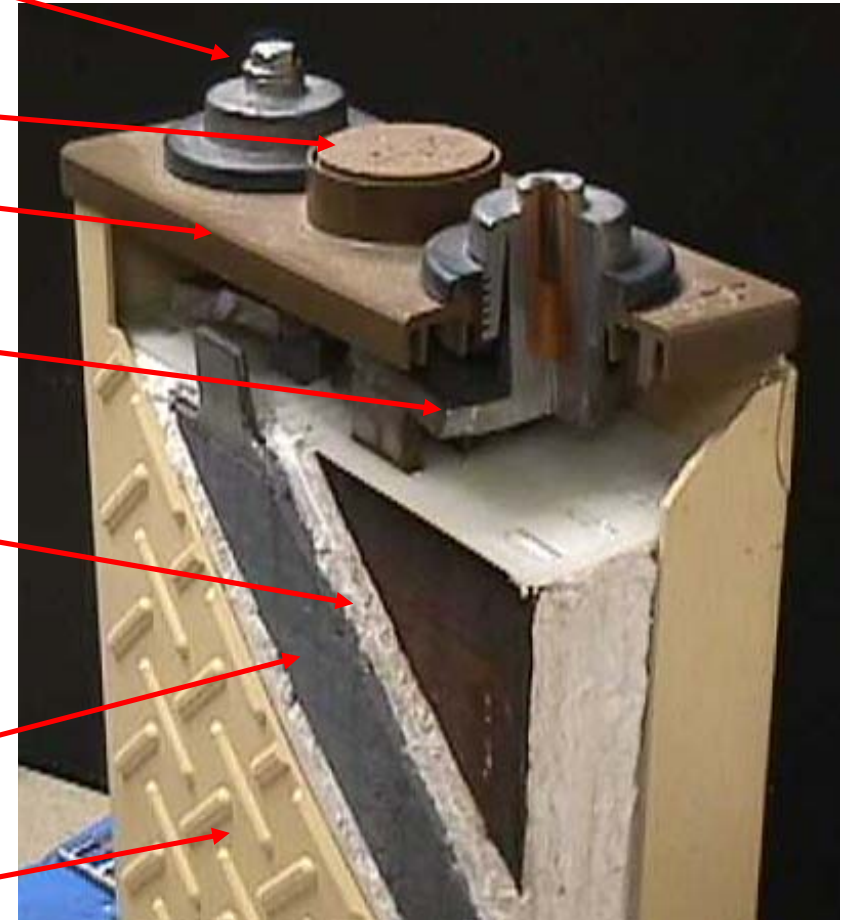
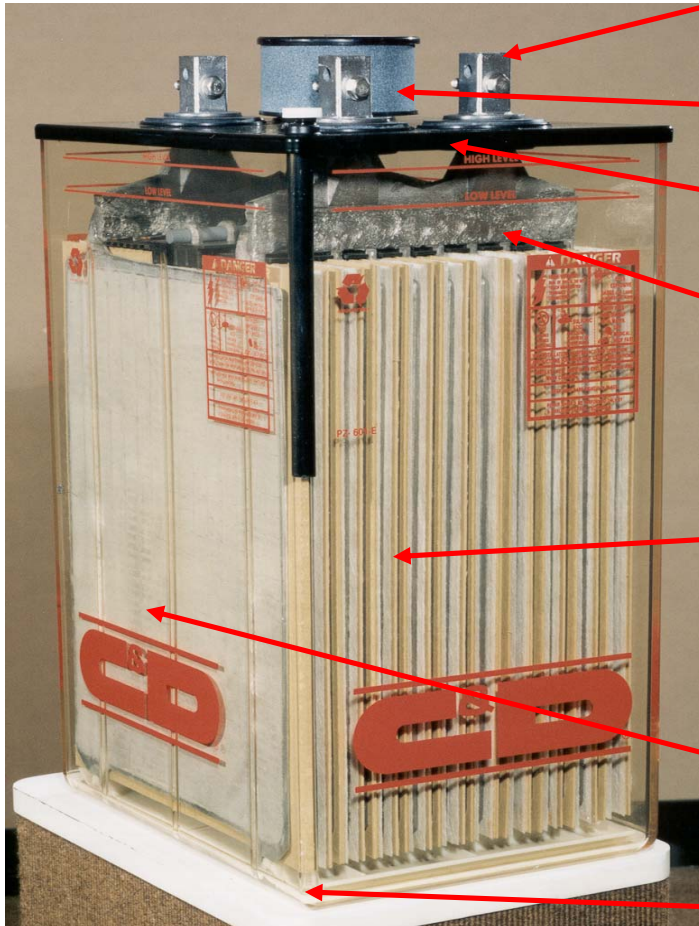
- น้ำกรดในแบตเตอรี่ จะถูกดูดซับด้วยวัสดุที่เรียกว่า AGM หรือถูกผสมให้อยู่ในรูปของ Gel ทำให้น้ำกรดไม่สามารถไหลไปมาได้
- ที่ฝาด้านบนของแบตเตอรี่มีวาล์วระบายความดัน (เป็นวาล์วทางเดียว) เพื่อควบคุมความดันของก๊าซภายในแบตเตอรี่
- ไม่ต้องเติมน้ำกลั่นตลอดอายุการใช้งาน



โครงสร้างของ Flooded กับ VRLA

Flooded

VRLA



Post

Vent

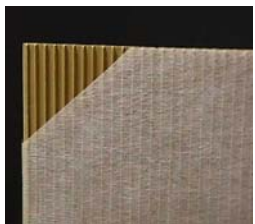
Cover

Strap

Separator

Plate

Jar



Micro porous membrane



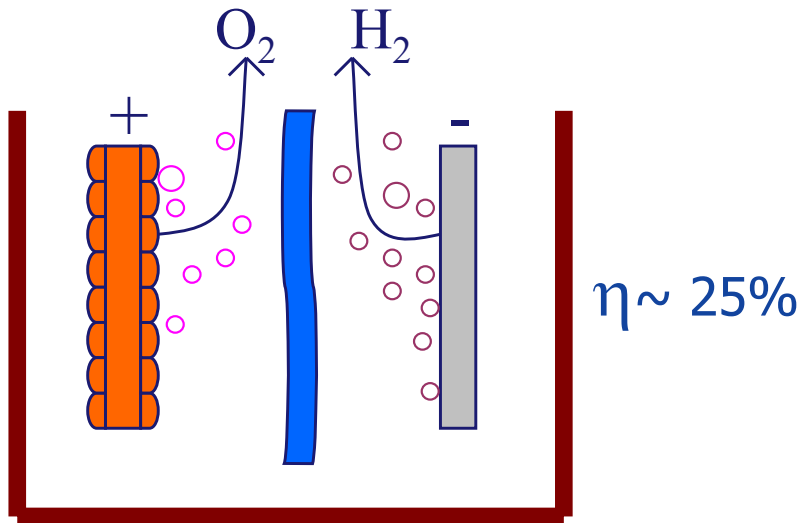
Absorbent Glass fiber Mat

Flooded vs VRLA



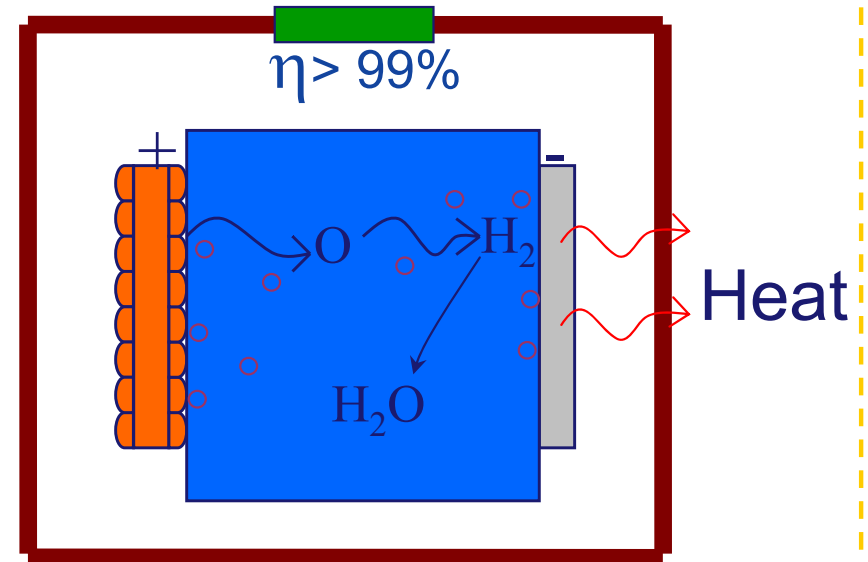
- แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดจะมีปฏิกิริยาแยกน้ำด้วยไฟฟ้า ซึ่งจะให้น้ำ (H_2O) แตกตัวออกเป็น ก๊าซออกซิเจน (O_2) ที่แผ่นธาตุบวก และเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่แผ่นธาตุลบ
- ก๊าซจะเกิดมากเมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จใกล้เต็ม หรือ ชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันสูง เกินไป

Flooded Lead Acid Battery



ก๊าซจะถูกระบายออกสู่บรรยากาศ ทำให้แบตเตอรี่ สูญเสียน้ำ จึงต้องมีการเติมน้ำกลั่นเป็นประจำ

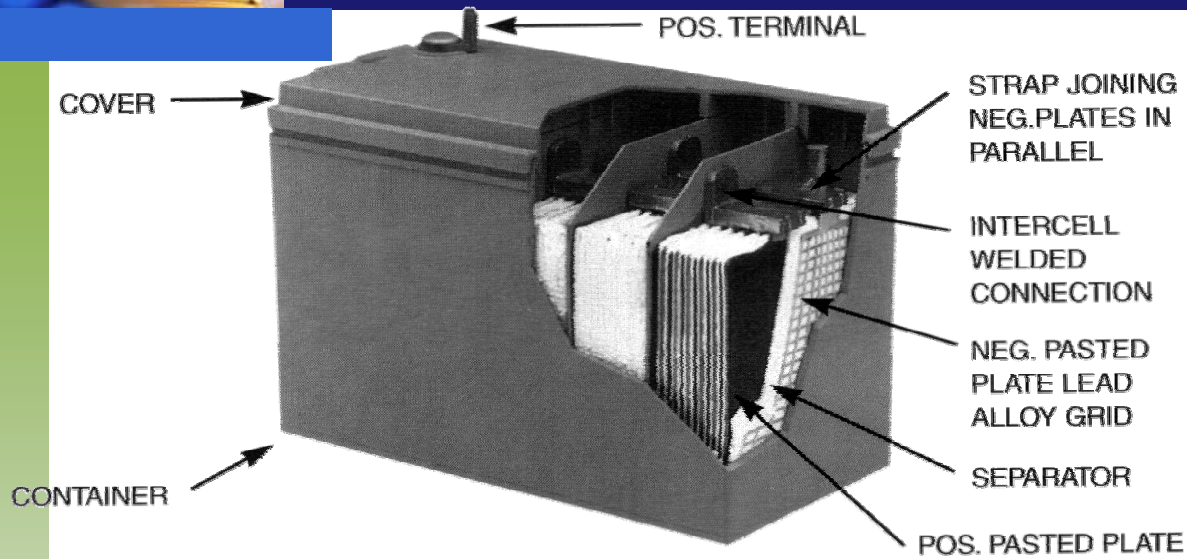
VRLA Battery
>> Oxygen Recombination <<



ก๊าซจะรวมตัวกันเป็นน้ำภายในแบตเตอรี่ ทำให้ แบตเตอรี่ สูญเสียน้ำน้อยมาก

➤ η = Oxygen recombination efficiency คือประสิทธิภาพการรวมตัวของออกซิเจน

AGM



AGM VRLA Battery Construction



AGM



Absorbed Glass fiber Mat

- น้ำกรดถูกจับอยู่ใน AGM
- ความต้านทานภายในต่ำมาก
- เหมาะกับโหลดที่ต้องการกระแสสูงมากเช่น UPS
- มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาว่า เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่น้ำและแบตเตอรี่ Gelled
- Float/Stand by service

การใช้งาน : UPS ระบบสื่อสาร Utility สวิตช์เกียร์ ระบบควบคุม ระบบไฟฉุกเฉิน
สตาร์ทเครื่องยนต์

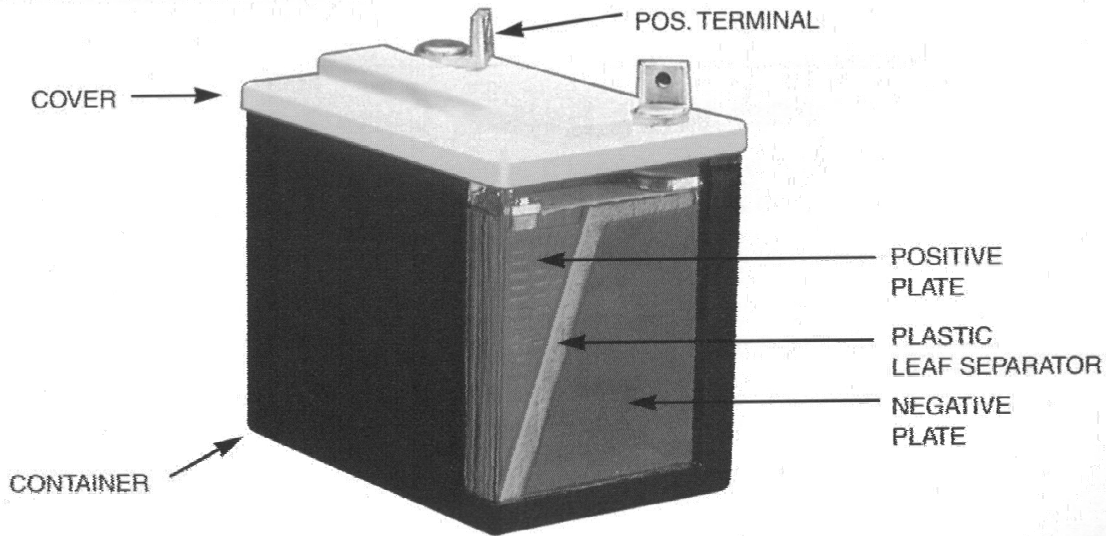
GELLED

C&D Broadband Gelled
(telecom)



Gelled electrolyte

- น้ำกรดถูกตรึงอยู่ในซิลิกาเจล (SiO_2)
- สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี
- เหมาะกับโหลดที่ต้องการกระแสปานกลาง
- เหมาะกับระบบที่มีการดิสชาร์จเป็นประจำ เช่น ระบบโซลาร์ รถไฟฟ้า
- Cycle service / Float service



Gelled Electrolyte VRLA Battery Construction

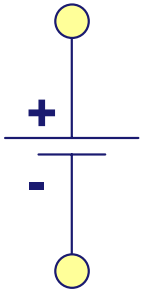


Gel



การใช้งาน : ระบบแสงอาทิตย์ ฟอรัคลิฟท์ รถกอล์ฟ ระบบสื่อสาร Utility สวิตช์เกียร์
ระบบควบคุม UPS

จำนวนเซลล์ในแบตเตอรี่



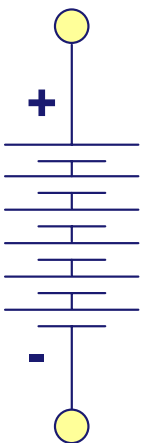
1 เซลล์ (Single cell) = 2V

➡ ส่วนมากแบตเตอรี่ที่มีความจุมากกว่า 200AH จะเป็นแบบ Single cell

2V



1 บล็อก (Monoblock) = หลายเซลล์ต่อกันในแบตเตอรี่ลูกเดียว



2 เซลล์ = 4V

3 เซลล์ = 6V

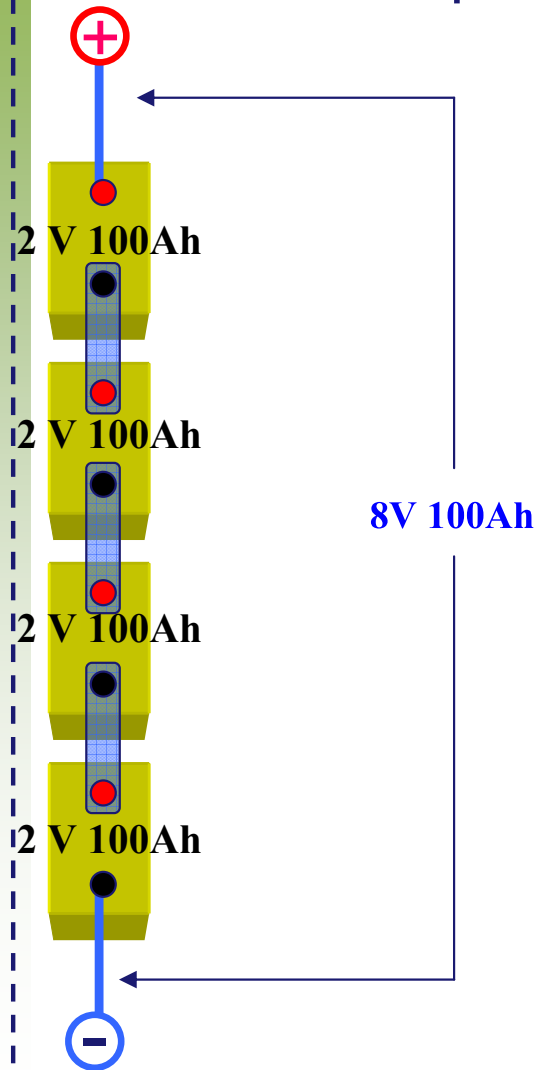
6 เซลล์ = 12V



Battery configuration

➤อนุกรม

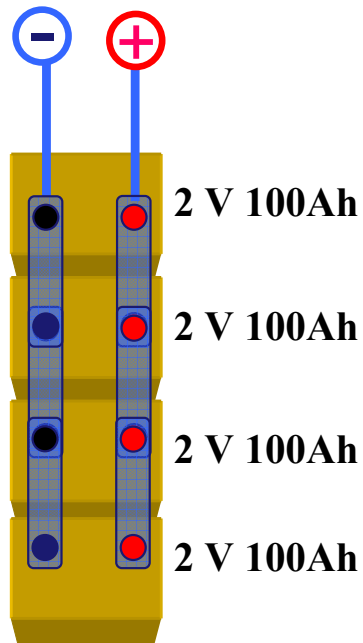
- ✓ เพิ่มแรงดัน ความจุเท่าเดิม



➤ขนาน

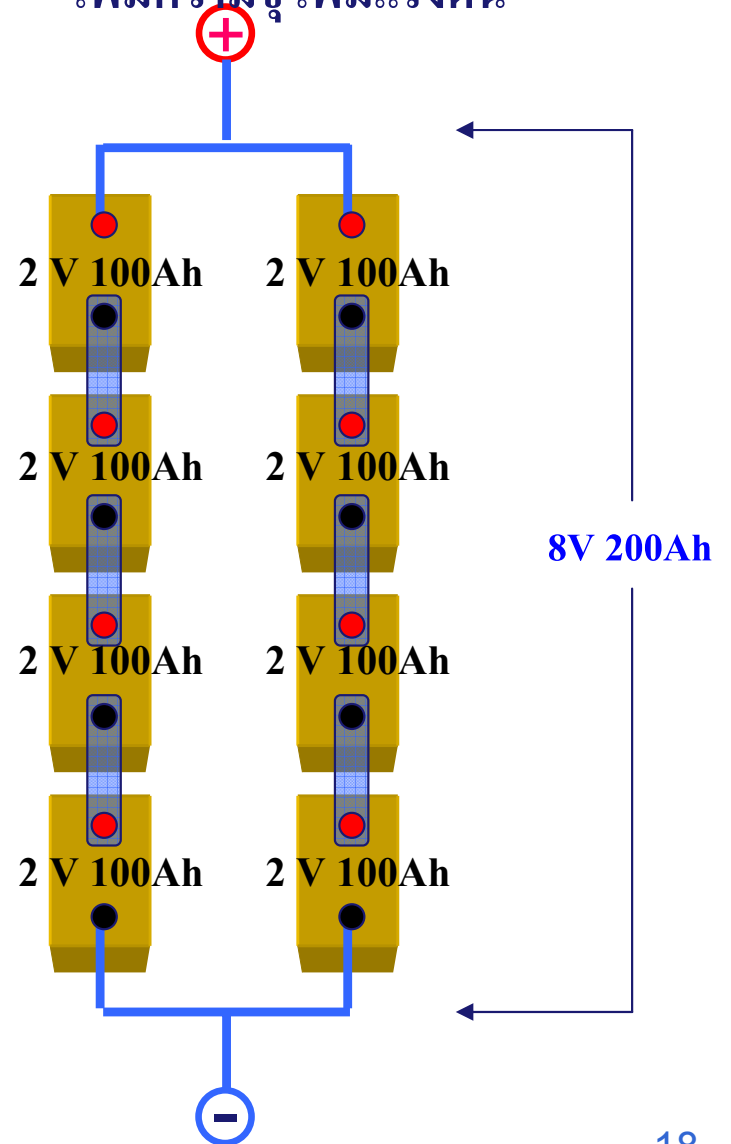
- ✓ เพิ่มความจุ
- ✓ แรงดันเท่าเดิม

2V 400Ah

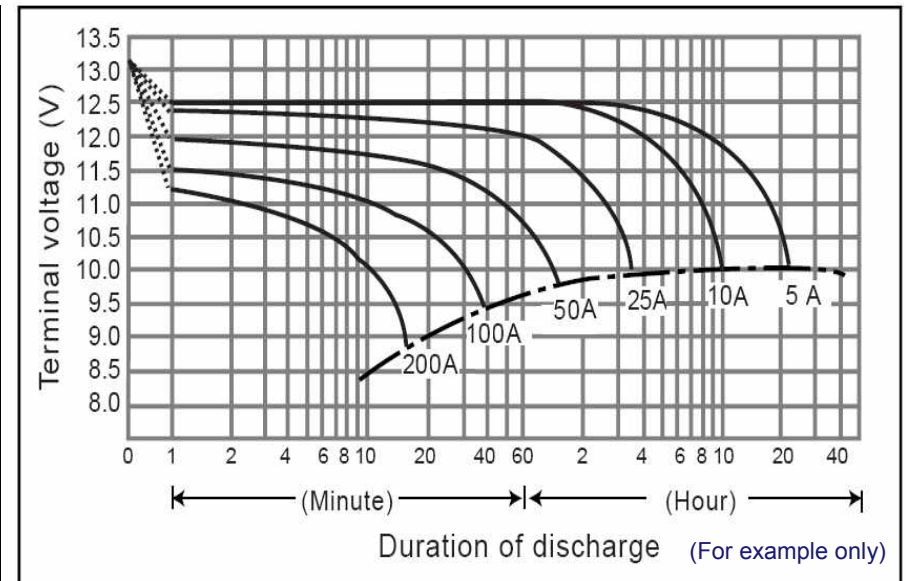
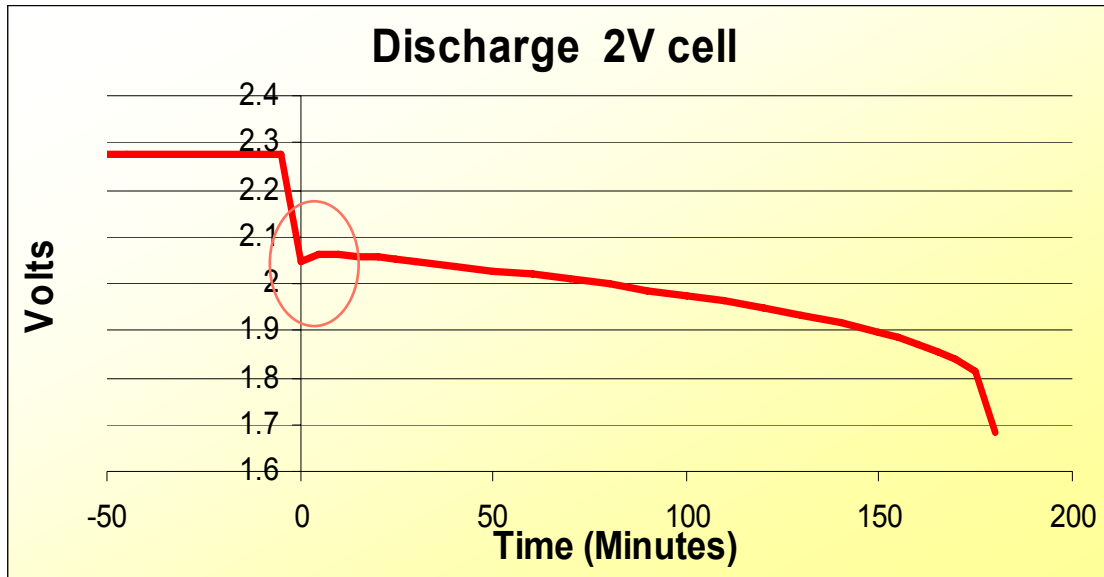


➤อนุกรม-ขนาน

- ✓ เพิ่มความจุ เพิ่มแรงดัน



Discharge curve



- ☞ ในขณะที่คายประจุแบตเตอรี่จะมีแรงดันประมาณ 2 Volt และจะลดลงเรื่อยๆ
- ☞ เมื่อแบตเตอรี่ใกล้หมดประจุ แรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงอย่างรวดเร็ว
- ☞ ถ้าปล่อยให้แบตเตอรี่คายประจุจนแรงดันต่ำมาก ($< 1.60V$) แบตเตอรี่จะเสียเร็ว

ความจุของแบตเตอรี่ (Capacity)

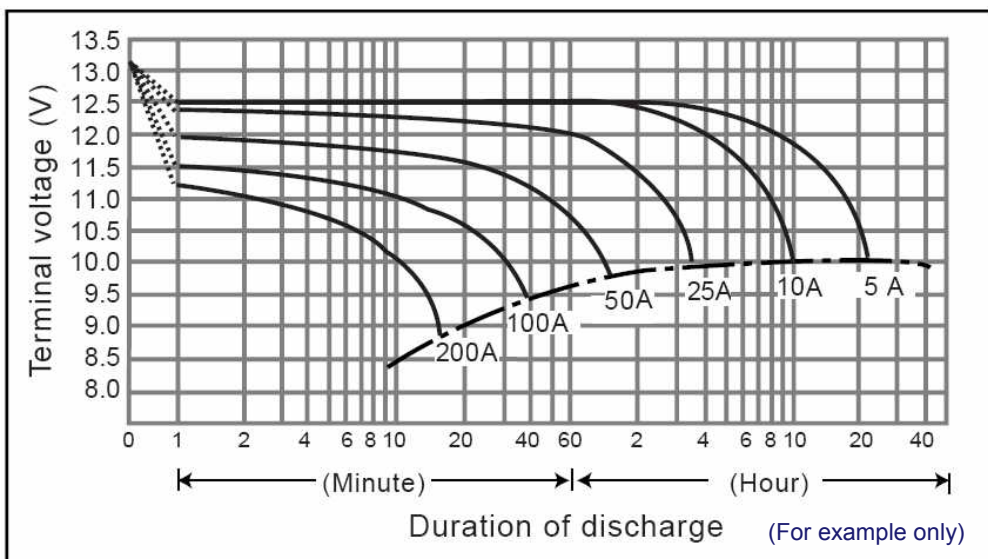
- ความจุของแบตเตอรี่หรือ Capacity โดยส่วนใหญ่ จะบอกมาเป็น Ampere-hour ; Ah
- Ampere-hour ; Ah คือประจุไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ เมื่อแบตเตอรี่จ่ายด้วยกระแสคงที่ (Constant current discharge)

$$\text{Ah} = \text{กระแส (Ampere)} \times \text{เวลา (hours)}$$

- ความจุของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย คือ อัตราการคายประจุ, แรงดันสุดท้าย และอุณหภูมิ ดังนั้น เมื่อต้องการระบุความจุของแบตเตอรี่ จะต้องระบุค่าเหล่านี้มาด้วย
- ความจุของแบตเตอรี่มักจะแสดงเป็น C_r เช่น C_{10} คือ ความจุที่อัตราการคายประจุ 10 ชั่วโมง

ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ขนาด 2V, 1000Ah @10h 1.8V 25°C หรือ 1000 Ah C_{10} 1.8FV 25°C
เป็น แบตเตอรี่ขนาด 2V ที่สามารถจ่ายกระแส ได้ $I_{10} = 100\text{A}$ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ที่แรงดันสุดท้าย 1.8V ที่อุณหภูมิ 25°C

ผลของอัตราคายประจุกับความจุของแบตเตอรี่



ตัวอย่างการคายประจุของแบตเตอรี่ขนาด 100Ah

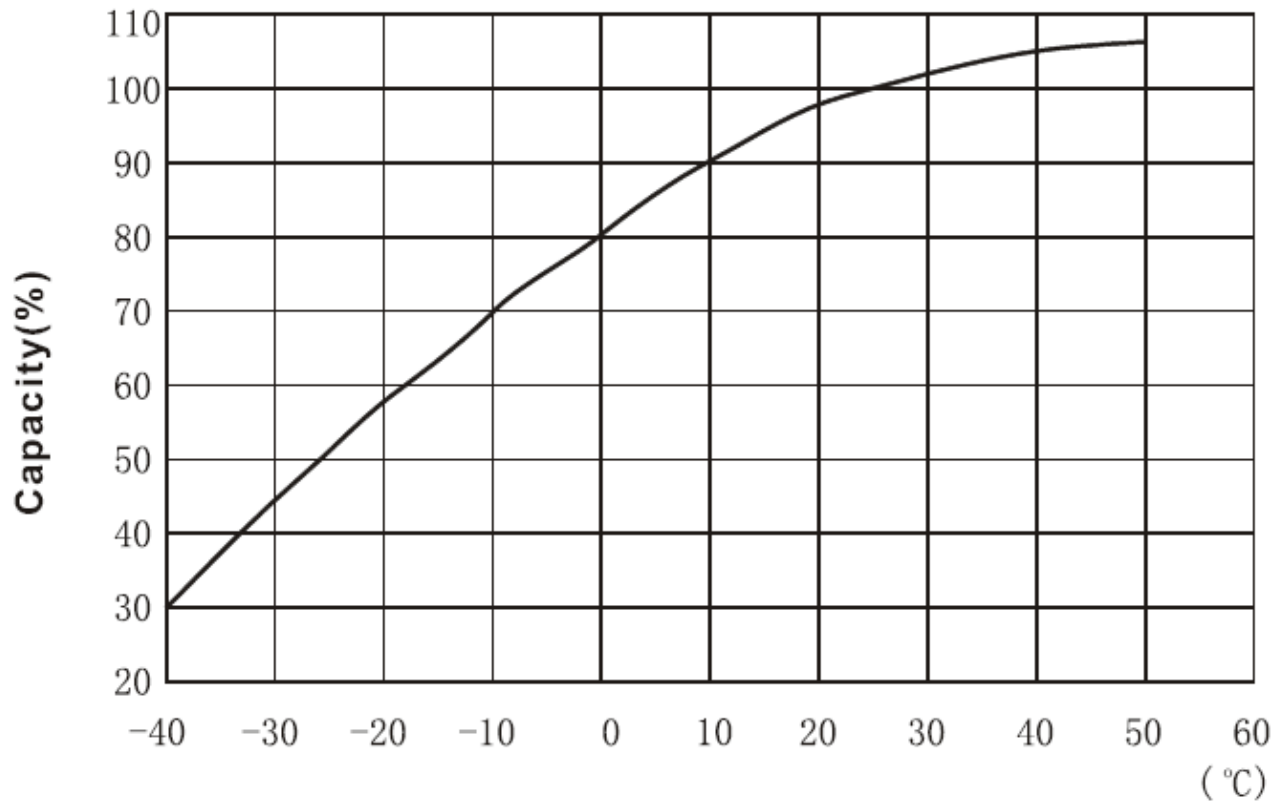
กระแส (A)	เวลา	ความจุ (Ah@1.75V)
162 A	15 นาที	40.5 Ah
105 A	30 นาที	52.5 Ah
61.5 A	1 ชั่วโมง	61.5 Ah
16.2 A	5 ชั่วโมง	81 Ah
9.08 A	10 ชั่วโมง	90.8 Ah
5 A	20 ชั่วโมง	100 Ah

Constant Current Discharge Ratings – Amperes @ 77°F (25°C)

End Point Volts/Cell	Operating Time to End Point Voltage (in hours)											
	.083	.25	.50	.75	1	2	3	5	8	10	12	20
1.90	156	110	75.0	61.0	47.0	28.9	21.0	14.0	9.50	7.90	6.73	4.34
1.85	203	136	92.0	73.5	55.0	31.4	22.8	15.0	10.1	8.44	7.23	4.67
1.80	240	151	99.0	79.5	60.1	34.0	24.2	15.8	10.7	8.80	7.58	4.89
1.75	274	162	105	83.2	61.5	34.8	25.0	16.2	11.0	9.08	7.79	5.00

ผลของอุณหภูมิกับความจุของแบตเตอรี่

Temperature Effects on Capacity



- ความจุของแบตเตอรี่มักจะระบุมาที่อุณหภูมิ 25 °C

- อุณหภูมิสูงขึ้นแบตเตอรี่จะสามารถจ่ายประจุได้มากขึ้น

- อุณหภูมิต่ำลงแบตเตอรี่จะสามารถจ่ายประจุได้ลดลง

อายุของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่จะถือว่าหมดอายุเมื่อมีความจุต่ำกว่า 80% จากค่าพิกัด

- โดยปกติผู้ผลิตจะบอกอายุของแบตเตอรี่เป็น **Design life** โดยอยู่ในช่วง 5 – 20 ปี ขึ้นกับการออกแบบ
- ค่า **Design life** จะระบุมาดังนี้ เช่น 10 ปี @ 25°C นั่นคือ ผู้ผลิตคาดว่าแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ 10 ปี ที่อุณหภูมิ 25°C
- ค่า **Design life** ได้มาจากการทดสอบที่เรียกว่า Accelerated Life Test
- อายุการใช้งานจริงของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ การดูแลรักษา การใช้งาน จำนวนรอบการคายประจุ ฯลฯ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ อายุการใช้งานจริงน้อยกว่าค่า Design life

ผลของอุณหภูมิกับอายุของแบตเตอรี่

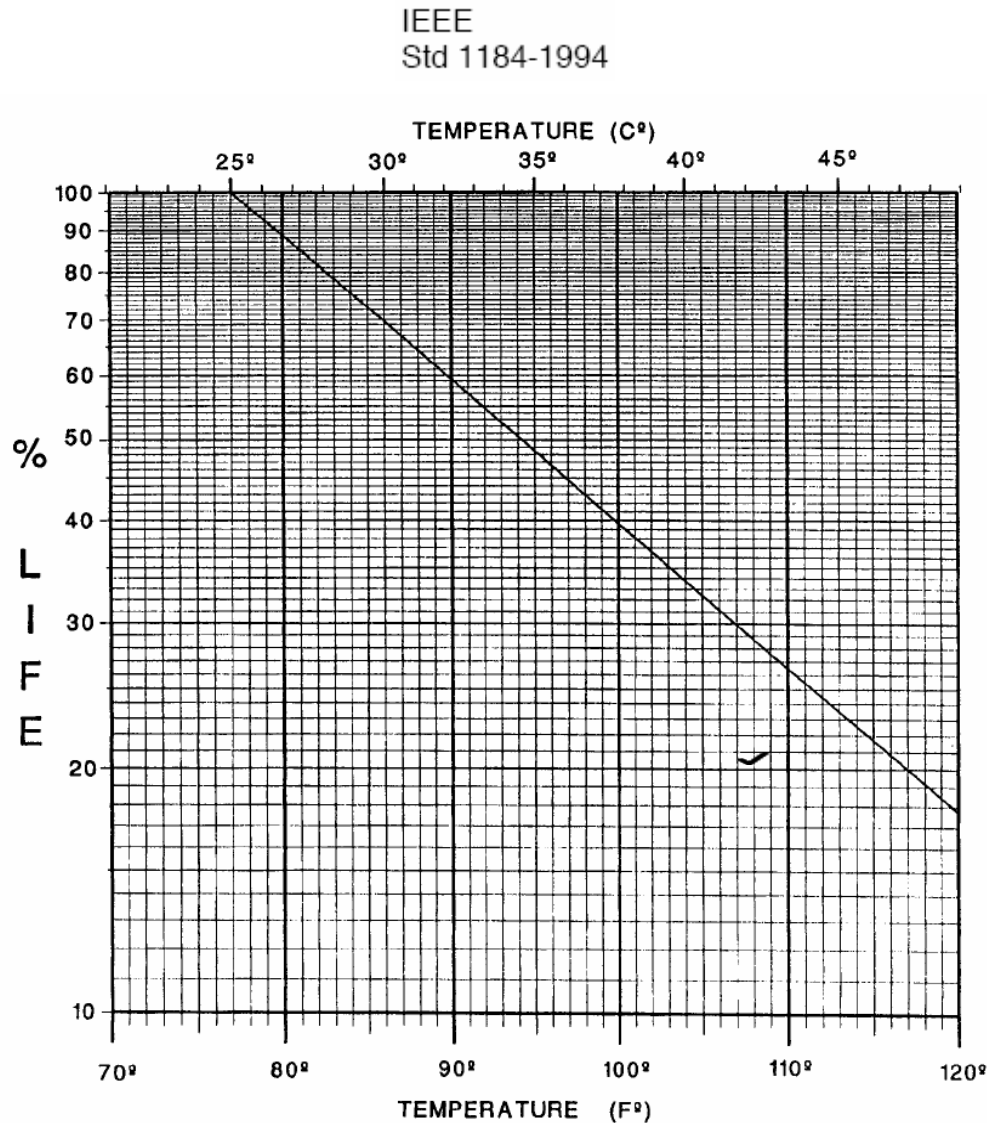


Figure A.1—Effects of temperature on battery life

- อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่ที่สุดคือ 20 -25 °C
- อุณหภูมิสูงขึ้น 8.3 °C อายุจะสั้นลงครึ่งหนึ่ง
- สมมุติ แบตเตอรี่มี Design life 10ปี ที่ 25°C ถ้านำไปใช้งานที่อุณหภูมิ 33 °C (33 – 25 = 8) อายุการใช้งานจะเหลือไม่เกิน 5 ปี
- อุณหภูมิที่สูงจะเร่งปฏิกิริยาการผุกร่อนของแผ่นธาตุ ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็วขึ้น

การทดสอบเร่งอายุ

- การเสื่อมของแบตเตอรี่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างแผ่นธาตุกับน้ำกรด ซึ่งจะทำให้แผ่นธาตุสึกกร่อน
- อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับอุณหภูมิ สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด อัตราการเกิดปฏิกิริยาสึกกร่อนจะเกิดเร็วขึ้น 2 เท่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น $8-10^{\circ}\text{C}$
- เมื่อแผ่นธาตุสึกกร่อนมาก จะทำให้แบตเตอรี่มีความจุลดลง จนเมื่อแบตเตอรี่มีความจุต่ำกว่า 80% เมื่อเทียบกับความจุที่พิกัดจะถือว่าแบตเตอรี่เสีย
- Design life ของแบตเตอรี่ได้มาจากการทดสอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 71°C เพื่อเร่งให้ปฏิกิริยาสึกกร่อนเกิดเร็วขึ้น
- 1 วันที่ 71°C เท่ากับ 26.5 วันที่ 25°C

Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Aging Factor Relative To 25°C
10	0.27
20	0.66
25	1.00
30	1.50
40	3.23
50	6.64
60	13.08
71	26.5

ตัวอย่าง

- ทดสอบแบตเตอรี่ในตู้อบที่ 71°C พบว่าหลังจาก 150 วัน แบตเตอรี่มีความจุเหลือ 80%
- ดังนั้นแบตเตอรี่จะมีอายุการใช้งานที่ 25°C เท่ากับ $150 \times 26.5 = 3975$ วัน หรือ Design life เท่ากับ 10 ปี

วิธีคำนวณผลของอุณหภูมิกับอายุของแบตเตอรี่

$$L_A = L_D \times 2^{\frac{(T_D - T_A)}{8.3}}$$

L_A = อายุที่อุณหภูมิ T_A (ปี)

T_A = อุณหภูมิใช้งานจริง ($^{\circ}\text{C}$)

L_D = Design life ที่อุณหภูมิ T_D (ปี)

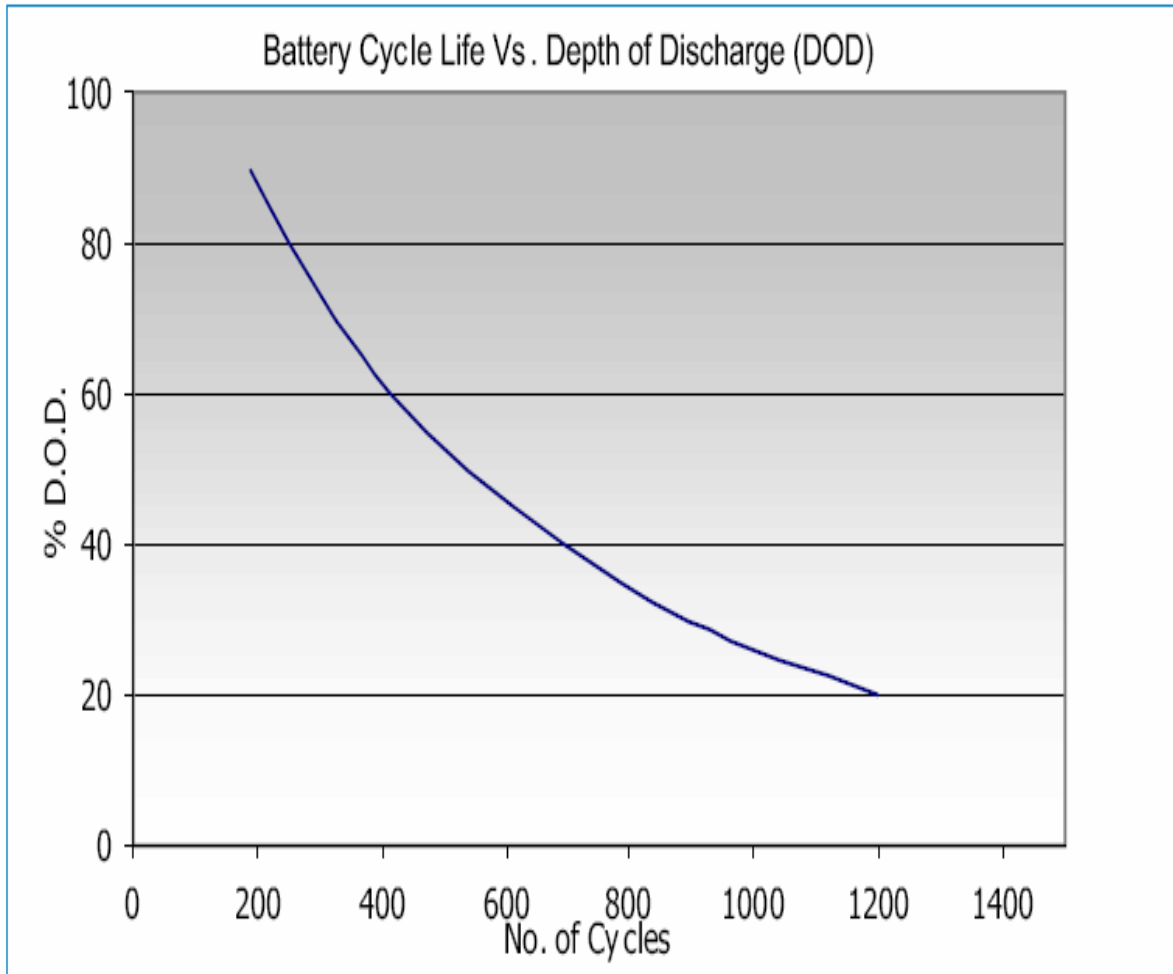
T_D = อุณหภูมิ Design life ($^{\circ}\text{C}$)

- ตัวอย่าง แบตเตอรี่มี Design life 10 ปี ที่ 25°C ถ้านำไปใช้งานที่อุณหภูมิ 30°C

$$L_A = 10 \times 2^{\frac{(25-30)}{8.3}} = 10 \times 0.65 = 6.5 \text{ Yrs}$$

Life factor	
Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Life factor
25	1
26	0.91
27	0.84
28	0.77
29	0.71
30	0.65
31	0.6
32	0.55
33	0.51
34	0.47
35	0.43
36	0.39
37	0.36
38	0.33
39	0.31
40	0.28

จำนวนรอบการประจุ/คายประจุ (Cycle)



$$\% \text{ DOD} = (\text{Ah ที่ใช้} / \text{Ah พิกัด}) \times 100$$

- จำนวนรอบการประจุ/คายประจุมีผล
ต่ออายุของแบตเตอรี่

- %DOD ขึ้นอยู่กับกระแสที่แบตเตอรี่
จ่าย กับ เวลาที่แบตเตอรี่จ่ายกระแส

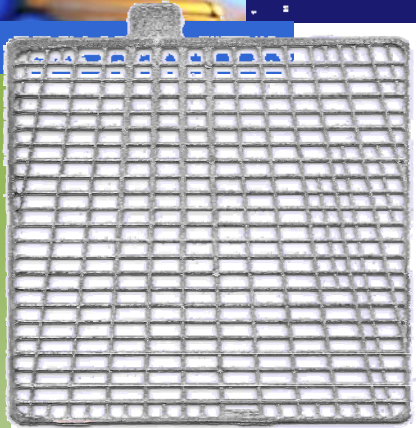
- สมมติ แบตเตอรี่ขนาด 50Ah จ่าย
กระแส 10A เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

$$\text{Ah ที่ใช้} = 10\text{A} \times 2\text{h} = 20\text{Ah}$$

$$\text{Ah พิกัด} = 50\text{Ah}$$

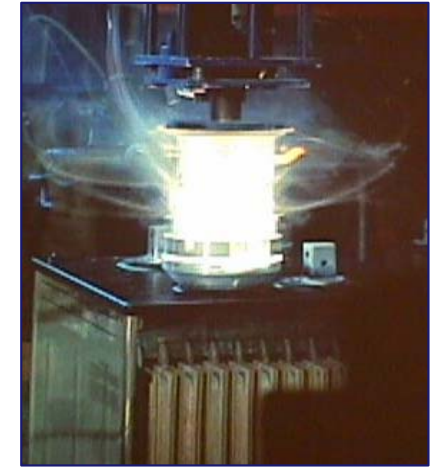
$$\% \text{DOD} = (20\text{Ah} / 50\text{Ah}) \times 100 = 40\%$$

ปัจจัยที่มีผลต่ออายุของแบตเตอรี่



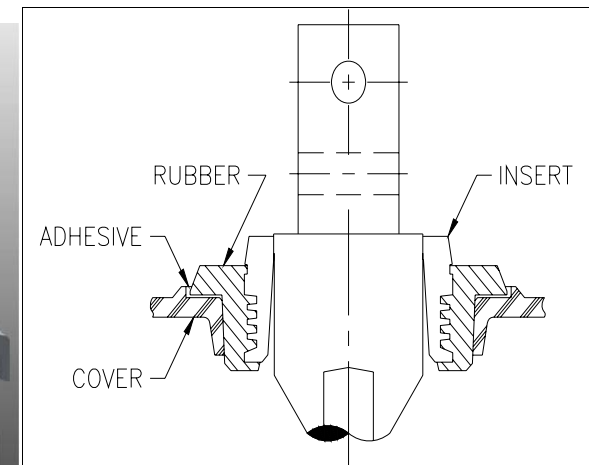
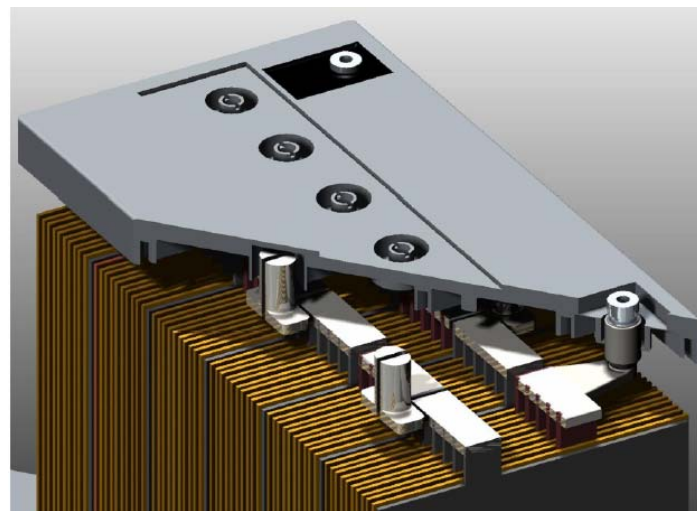
โครงสร้างของแบตเตอรี่

- ชนิดของ Grid alloy
- ความหนาของแผ่นธาตุ (Plate/Grid thickness)
- Technology Flooded, AGM, Gelled
- Separator/Retainer/AGM
- วาล์วระบายความดัน (สำหรับ VRLA)
- เปลือกของแบตเตอรี่
- โครงสร้างพิเศษ เช่น Support รองรับแผ่นธาตุ



ปัจจัยภายนอก

- อุณหภูมิ
- ความถี่ของการดิสชาร์จ
- แรงดันและกระแสชาร์จแบตเตอรี่
- กระแสรีปเปิล
- การบำรุงรักษา





คำถาม