



PECTEC

PEC Technology (Thailand) Co., Ltd.

การป้องกันอันตรายจาก Thermal runaway ในแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน
(Prevention hazards from Thermal runaway in energy storage batteries)



การป้องกันอันตรายจาก Thermal runaway ในแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

(Prevention hazards from Thermal runaway in energy storage batteries)

หัวข้อในการบรรยาย

1. ความรู้เกี่ยวกับแบตเตอรี่ในระบบกักเก็บพลังงาน

- I. บทบาทของแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในระบบไฟฟ้า
- II. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัยและการใช้งาน

2. ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

- I. การเกิดและการป้องกัน Thermal runaway ใน Lithium-ion batteries

3. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้

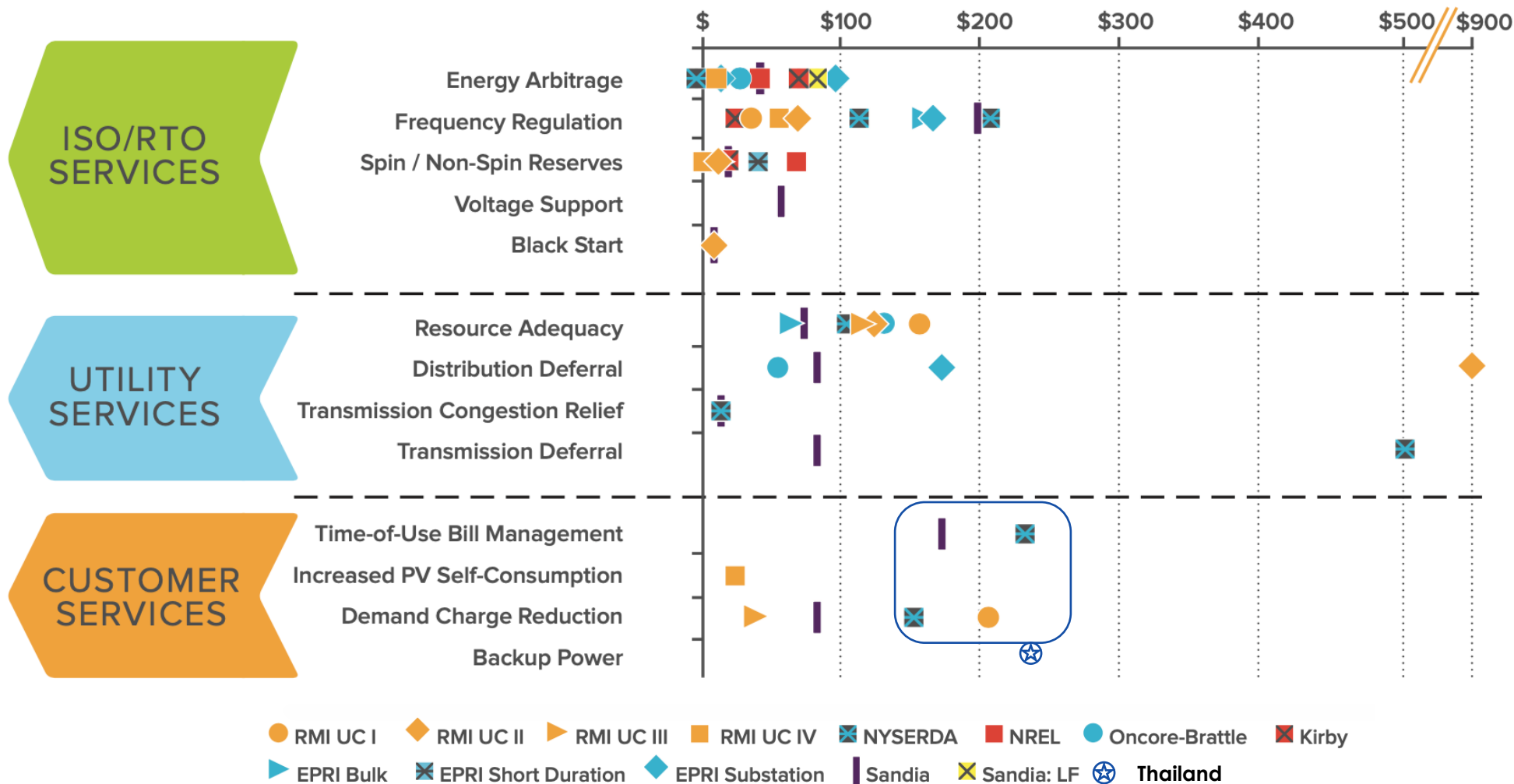
- I. สำหรับภายในบ้านพักอาศัย และโรงงานอุตสาหกรรม
- II. สำหรับระบบกักเก็บพลังงานขนาดใหญ่

4. คำแนะนำสำหรับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

Part 1

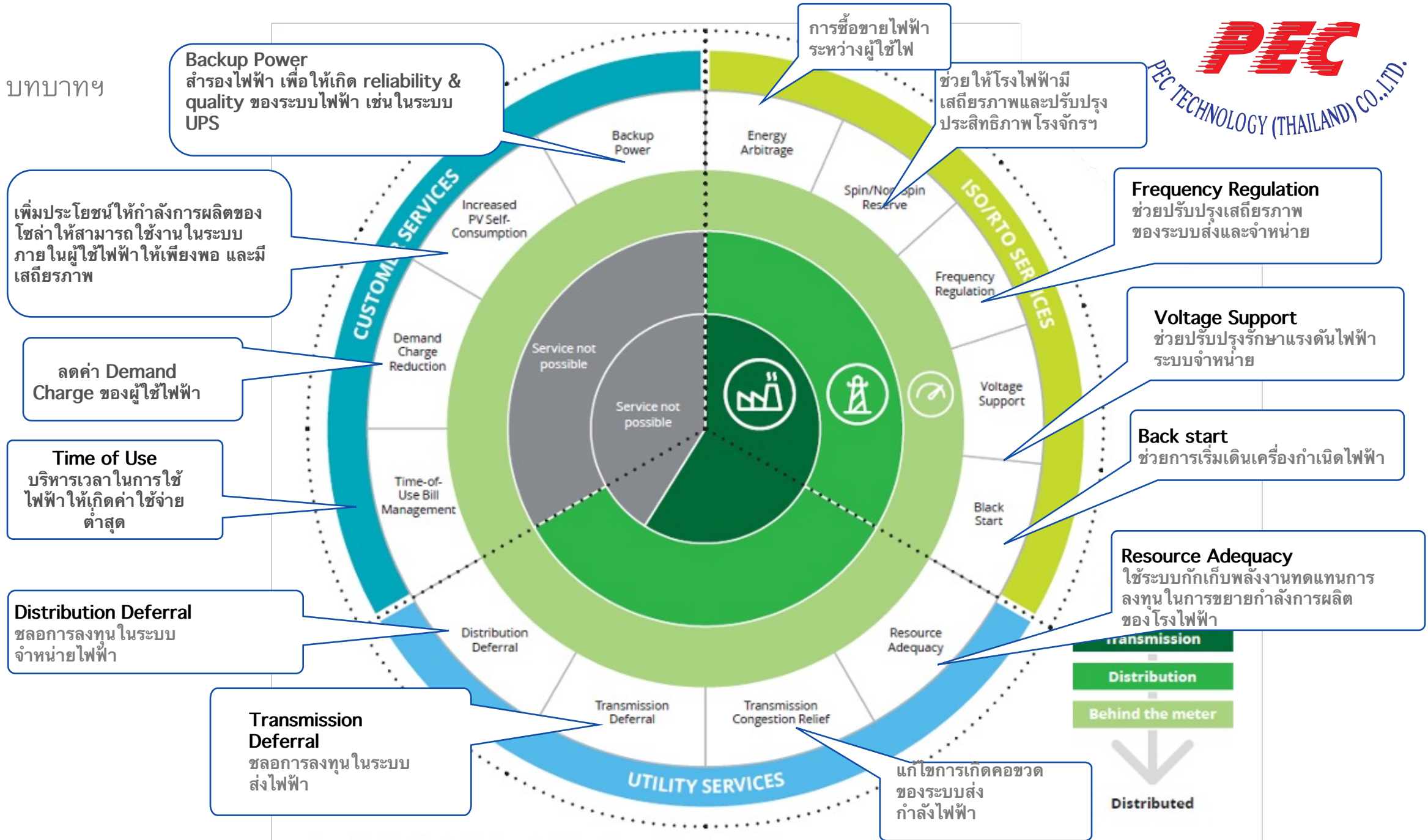
ความรู้เกี่ยวกับแบตเตอรี่ในระบบกักเก็บพลังงาน

I. บทบาทของแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในระบบไฟฟ้า



Results for both energy arbitrage and load following are shown as energy arbitrage. In the one study that considered both, from Sandia National Laboratory, both results are shown and labeled separately. Backup power was not valued in any of the reports.

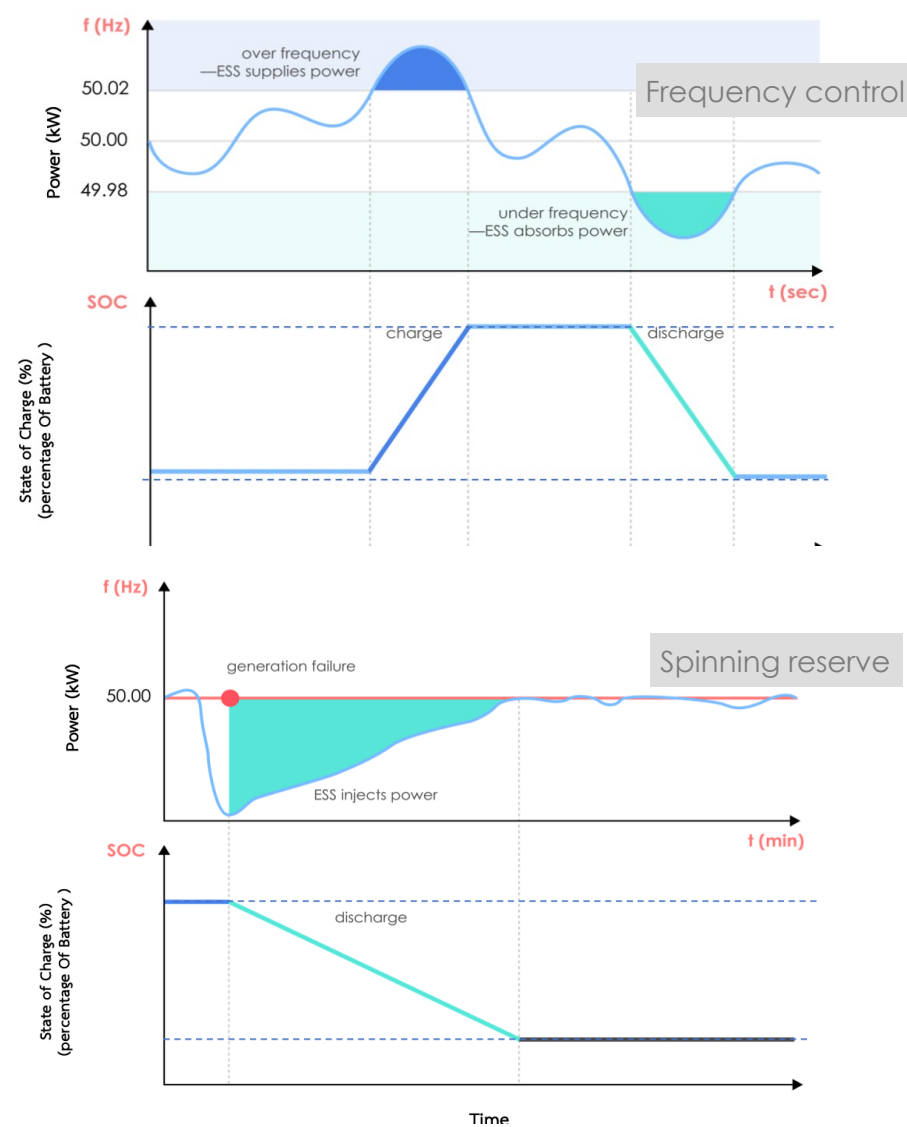
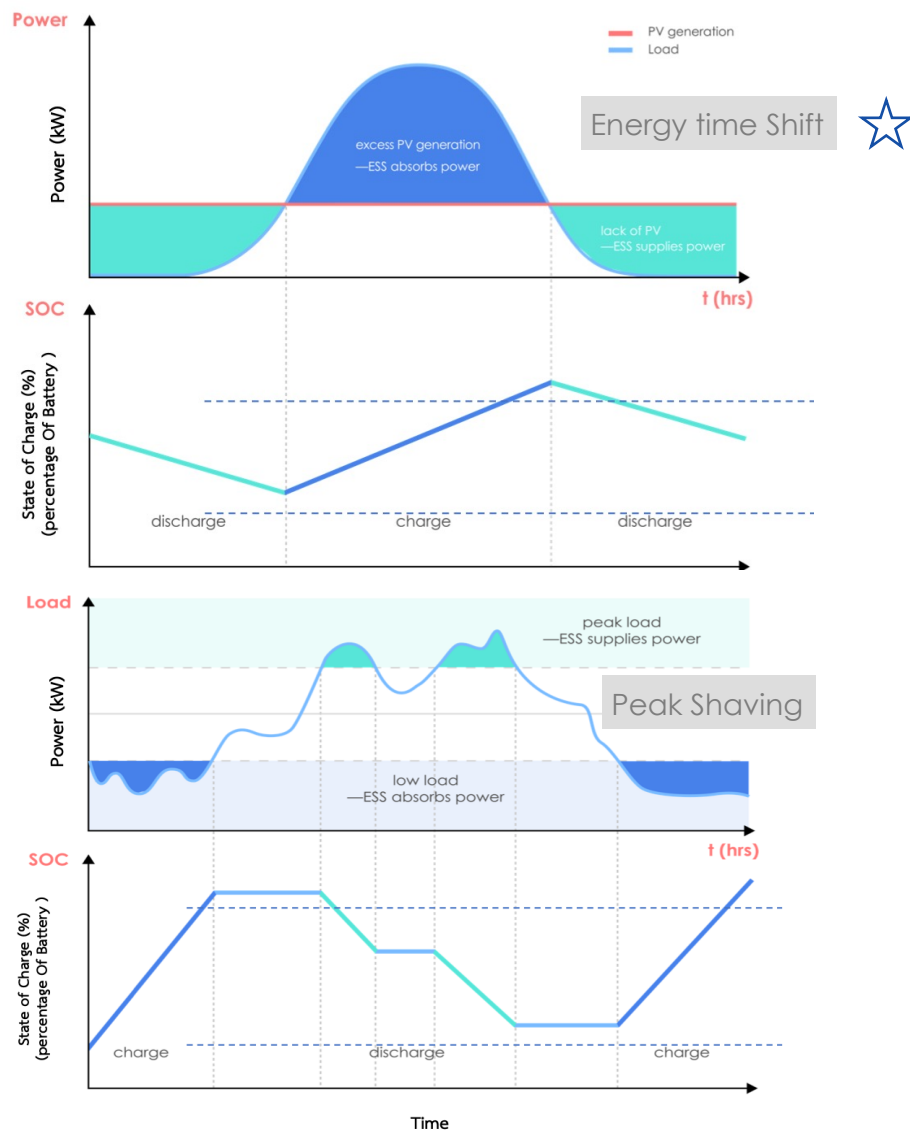
I. บทบาท



Source: Mandel and Morris, "The Economics of Battery Storage", Rocky Mountain Institute

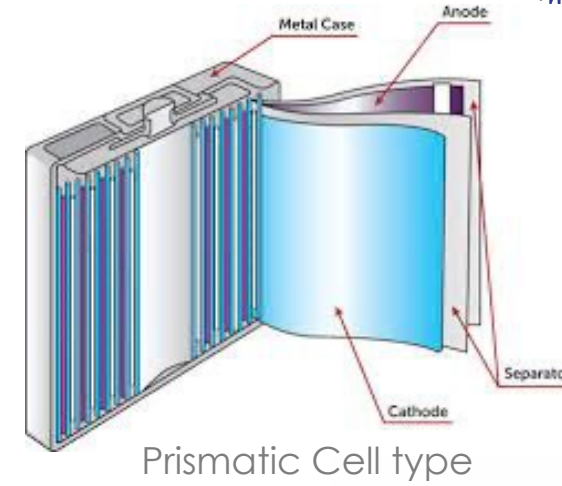
I. บทบาทของแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในระบบไฟฟ้า

ตัวอย่างการประยุกต์การทำงานของแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานแต่ละประเภท



II. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัย

- แบตเตอรี่ที่มีใช้ในปัจจุบัน (**Developing technology**)
- Lithium Base batteries
 - Lithium-iron phosphate (LFP) : ใช้แพร่หลายในรถยนต์ไฟฟ้าและระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า ที่สำคัญคือตัวทำละลายที่ใช้ทำ Electrolyte เป็นชนิด Organic solvent หรือ Flammable electrolyte มีโอกาสเกิด Thermal runaway ได้
 - Lithium - Nickel/Manganese/cobalt (NMC) : ใช้มากกับรถยนต์ไฟฟ้าและระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า ที่สำคัญคือตัวทำละลายที่ใช้ทำ Electrolyte เป็นชนิด Organic solvent หรือ Flammable electrolyte มีโอกาสเกิด Thermal runaway ได้
 - Lithium - Cobalt Oxide (LCO) : ใช้กับโทรศัพท์มือถือเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีความหนาแน่นของพลังงานมาก มี cycle life ที่จำกัด
 - Solid-State Lithium-ion battery (SSBs) : เริ่มมีการพัฒนาเพื่อนำมาใช้งานจริงที่น่าสนใจก็คือในเรื่องความปลอดภัยจากการเกิด Thermal runaway เพราะ electrolyte เป็นของแข็ง ที่ต่างจาก Lithium-ion battery เดิมที่ electrolyte เป็น flammable electrolyte คาดว่าในอีก ไม่เกิน 3-5 ปี
 - Lithium Sulphur battery



Cylindrical Cell type

II. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัย

- แบตเตอรี่ที่มีใช้ในปัจจุบัน (Mature technology)

- Stationary Lead Acid batteries

- Vented (Flooded) type : เป็นชนิดที่เติมน้ำกลั่น มีความปลอดภัยไม่เกิน Thermal runaway เนื่องจาก electrolyte เป็น Water-base (H_2SO_4) แต่ยังเกิด O_2 และ H_2 ในช่วงการประจุ จึงต้องมีการระบายอากาศ
- Valve Regulated Lead Acid (VRLA) type : เป็นชนิดที่ไม่ต้องเติมน้ำกลั่น electrolyte เป็น Water-base (H_2SO_4) ไม่เกิด O_2 และ H_2 ในสภาพการทำงานปกติ แต่จะเกิด O_2 & H_2 ในปริมาณน้อยเมื่อเกิด over Charge Charge
 - Advance VRLA Battery : เป็นแบตเตอรี่กรดตะกั่วที่มีการพัฒนา Anode ต้องการผสม Graphite/Activated carbon เข้าไปใน Anode active material ทำให้แบตเตอรี่ cycle ได้มาก ลดผลจาก partial charge และ เพิ่ม conductivity ของแบตเตอรี่
 - Pure Lead VRLA Battery : ปรับปรุงโครงสร้างของ Cathode และ Anode ด้วย Virgin Pure Lead ลดอัตราการผุกร่อนของ current corrector, Positive active material (PbO_2), Negative active material (Pb) และ ลดกระแส float ทำให้การเกิดขบวนการ oxygen recombination ลดลง ส่งผลให้ความร้อนจากขบวนการดังกล่าวลดลง

- Flow Battery

- Vanadium Radix & Zinc Bromine : มีความปลอดภัยสูงเนื่องจากไม่มีปฏิกิริยาการเกิดก๊าซในขบวนการ (ยกเว้นถ้า Non-Vanadium เป็นไปได้ที่จะเกิด H_2 ขึ้น)



II. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัยและการใช้งาน

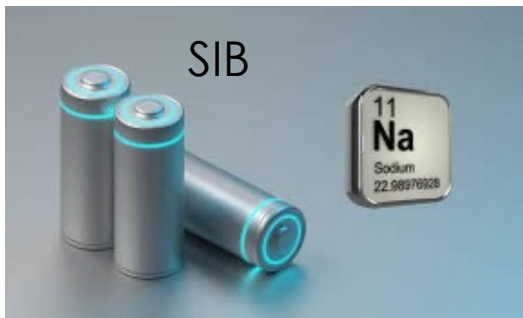
- แบตเตอรี่ที่มีใช้ในปัจจุบัน (Recent Developing Technologies)

- Nickel-Base

- **Nickel-Zinc battery** : มีการพัฒนาและนำมาใช้งานมากขึ้นโดย สำหรับ Stationary standby application เนื่องจาก มี C-rate ที่สูง และมีความปลอดภัยเนื่องจาก electrolyte เป็น Water-base alkaline ($\text{KOH} + \text{H}_2\text{O}$) และ ไม่เกิด O_2 & H_2 ในขณะที่ทำงานปกติ (แต่ต้องมีระบบ BMS เพื่อบริหารจัดการ ในการ charge และ discharge ร่วมด้วย)
- **Nickel-Cadmium** : ใช้งานสำหรับ Standby application แต่ปัจจุบันได้ไม่นิยมใช้เนื่องจาก Cadmium เป็นโลหะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง

- Sodium-base

- NAS (Sodium Sulphur Battery Energy Storage)
- Sodium-Ion Battery (SIB)



Sodium Sulphur Battery Energy Storage

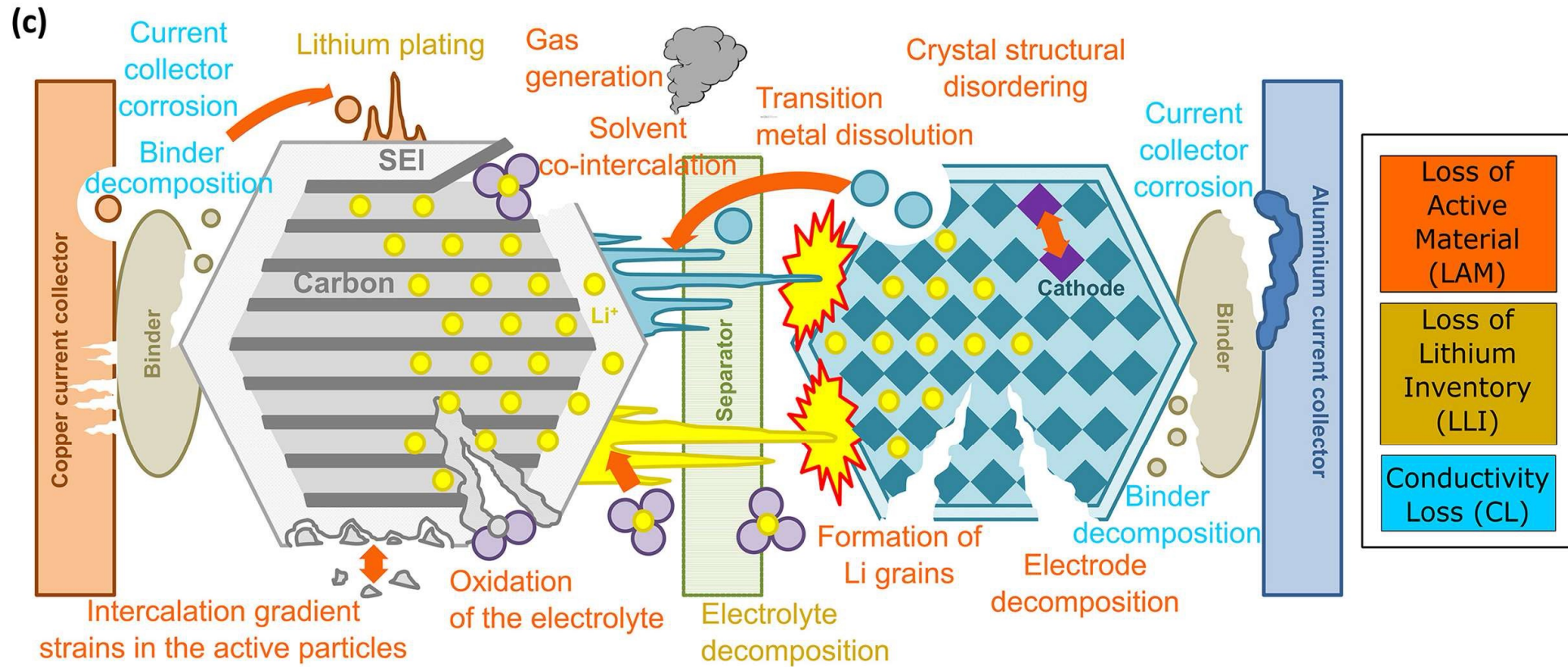


Part 2

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน
Lithium-ion Batteries

III. ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

ภาพจำลองปัจจัยของการเสื่อมสภาพภายในของ Lithium-ion cell จากการใช้งาน



ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

- การสูญเสียปริมาณ Lithium ภายในเซลล์ (Loss of lithium inventory, LLI)

ปฏิกิริยาการสลายตัวของ lithium Decomposition reactions

- การสลายของแบตเตอรี่ (Battery Decomposition) คือกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อแบตเตอรี่มีการสังเคราะห์ทางเคมีหรือปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์ในสภาวะปกติหรือเมื่อตัวแบตเตอรี่ถูกใช้งานหรือชาร์จโดยไม่ถูกต้อง การสลายของแบตเตอรี่นี้อาจเป็นปัญหาสำคัญเนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแบตเตอรี่ ปรากฏการณ์นี้สามารถมีหลายสาเหตุและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น:
 - Overcharging หรือ Over discharging : การชาร์จและการดิสชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟสูงเกินไปหรือชาร์จเกินเวลาอาจทำให้เกิดการสลายของวัสดุภายในแบตเตอรี่และสร้างสารที่ไม่พึงประสงค์
 - Overheating (ความร้อนเกินไป): การทำงานในสภาวะที่อุณหภูมิสูงเกินไปอาจส่งผลให้เกิดการสลายของวัสดุภายในแบตเตอรี่และการสร้างสารอื่นๆ ที่ไม่พึงประสงค์

- Short-circuit : การลัดวงจรภายในภายในแบตเตอรี่สามารถเป็นสาเหตุให้เกิดความร้อนและการสลายของวัสดุ ซึ่งอาจทำให้เกิดการเผาไหม้ เราจึงมักเห็นแบตเตอรี่ที่ไม่มีการชาร์จและดิสชาร์จเกิดเพลิงไหม้ได้
- Ageing (การเสื่อมสภาพ): แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานและจะเสื่อมสภาพตามเวลา การใช้งานแบตเตอรี่ในระยะเวลาอันยาวนานอาจทำให้เกิดการสลายของวัสดุภายในและลดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่
- Impurities (สารตกค้าง): สารตกค้างในแบตเตอรี่อาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์และการสลายของวัสดุ นี่อาจเกิดจากสารตกค้างจากกระบวนการผลิตหรือการใช้งานแบตเตอรี่ ดังนั้นกระบวนการผลิตจึงต้องมีการควบคุมความสะอาดในทุกกระบวนการผลิต และ ตลอดจน Material supply chain (เช่น electrolyte, active material)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

- การสูญเสียปริมาณ Lithium ภายในเซลล์ (Loss of lithium inventory, LLI)

- การเกิดตกตะกอนลิเทียมบนอิเล็กโทรด (Electrode Lithium Plating)

Lithium plating เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ lithium-ion เมื่อมีการตกตะกอนของลิเทียม (lithium) บนผิวของ anode ขณะที่แบตเตอรี่ถูกชาร์จ ปัจจัยที่สามารถทำให้เกิดการตกตะกอนลิเทียม (lithium plating) ได้รวมถึง:

- การชาร์จเกิน (Overcharging): การชาร์จแบตเตอรี่ lithium-ion โดยใช้กระแสไฟเกินไปหรือชาร์จเกินเวลาอาจทำให้เกิดการตกตะกอนลิเทียมบนผิวของอะโนด การตกตะกอนลิเทียมนี้สามารถทำให้เพิ่มขนาดและมวลของอะโนดได้ ซึ่งอาจเป็นปัญหาเนื่องจากสามารถทำให้แบตเตอรี่ที่ชาร์จเกินกว่าไปทำงานผิดปกติหรือเสียหายได้
- อุณหภูมิที่ต่ำ: การใช้งานแบตเตอรี่ในสถานะอุณหภูมิต่ำอาจสร้างเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนลิเทียม ลิเทียม

มักมีความสมบูรณ์เมื่ออุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำให้มีความเสี่ยงในการตกตะกอนบนผิวของอะโนด

- อัตรา C-rate สูง: การใช้งานแบตเตอรี่ในอัตรา C-rate สูงอาจทำให้เกิดการตกตะกอนลิเทียมเนื่องจากกระบวนการชาร์จและสะสมลิเทียมในอะโนดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อัตรา C-rate สูงอาจสร้างความดันและอุณหภูมิสูงในอะโนดซึ่งส่งผลให้เกิดการตกตะกอน
- การใช้งานในสถานะที่ไม่เหมาะสม: การใช้งานแบตเตอรี่ในสถานะที่ไม่เหมาะสม เช่น การใช้งานแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิต่ำหรือสถานะที่ไม่ได้รับการควบคุมอาจเพิ่มความเสี่ยงในการตกตะกอนลิเทียม

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

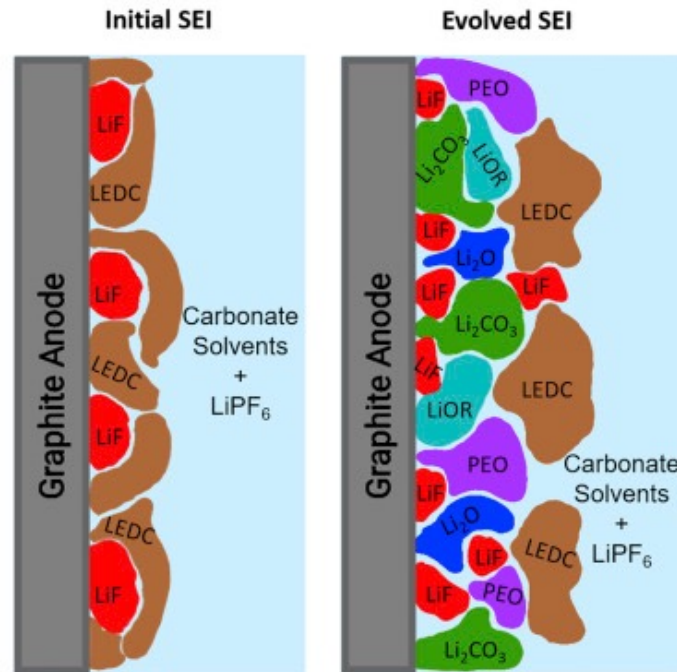
- การสูญเสียปริมาณ Lithium ภายในเซลล์ (Loss of lithium inventory, LLI)
- การสูญเสียปริมาณ lithium ภายนอกประกอบของเซลล์ โดย parasitic reaction เช่น
 - การก่อตัวของ Solid Electrolyte Interface (SEI)
 - SEI surface film เกิดขึ้นในขบวนการ formation
 - SEI growth เกิดจาก วัฏจักรการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ (Cycles) หรือการใช้งานที่ผิดไปจากข้อกำหนดของผู้ผลิต
- ปฏิกิริยาการสลายตัวของ Lithium Decomposition reactions
- การเกิดเกาะติดของลิเทียมบน Electrode lithium plating

หมายเหตุ : เหตุการณ์ดังกล่าวเป็นอุปสรรคในการแลกเปลี่ยนไอออนของลิเทียมระหว่างขั้วบวกและขั้วลบได้สะดวก ส่งผลให้
ความจุลดลง

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

• การก่อตัวของ Solid Electrolyte Interface (SEI)

- การก่อตัวของ Solid Electrolyte Interface (SEI)
 - SEI surface film เกิดขึ้นในขบวนการ formation เรียกว่า Initial SEI
 - SEI growth เกิดจากการประจุและคายประจุ ของแบตเตอรี่ เรียกว่า Evolved SEI
- ปัจจัย evolved SEI คือ
 - อุณหภูมิ
 - อัตราการคายประจุที่สูง*
 - สารประกอบในเซลล์แบตเตอรี่ lithium-ion



• ข้อดี

- ป้องกันการกัดกร่อนครับ ทำให้ขั้นตอนผลิต Li-ion cell รอบแรกจึงต้องมีขั้นตอนการทำ formation cell ที่เหมาะสมก่อนในการผลิตช่วยป้องกันพื้นผิวของ anode ไม่ให้เกิดการกัดกร่อน ทำให้ cycle ได้ยาวนาน

• ข้อเสีย

- ถ้าเกิดการละลายหรือหลุดไประหว่าง cycle SEI จะฟอร์มตัวใหม่ ทำให้ electrolyte จะเกิดปฏิกิริยาไปเรื่อยๆ สุดท้ายทำให้แบตเตอรี่ อายุ ลดลงครับ
- SEI จะไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้ากับอ็อกไซด์ของลิเทียม จึงไม่เป็นประโยชน์ในการนำไฟฟ้าแต่อย่างใดและจะเป็นอุปสรรคในการนำไฟฟ้าของ electrolyte ด้วยหากมีปริมาณมากขึ้น

*การใช้งานแบตเตอรี่ในอัตรา C-rate สูงอาจทำให้เกิดการสร้างความร้อนมากขึ้นและเพิ่มความเร็วในกระบวนการสังเคราะห์ของ SEI ซึ่งอาจส่งผลต่อความแข็งแรงและประสิทธิภาพของ SEI โดยการปกป้องและควบคุมกระบวนการไฟฟ้าในเซลล์ แต่ควรระมัดระวังและเลือกใช้อัตรา C-rate ที่เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่และแอปพลิเคชันที่ใช้งานอยู่ เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของ SEI และรักษาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในระยะยาว.

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

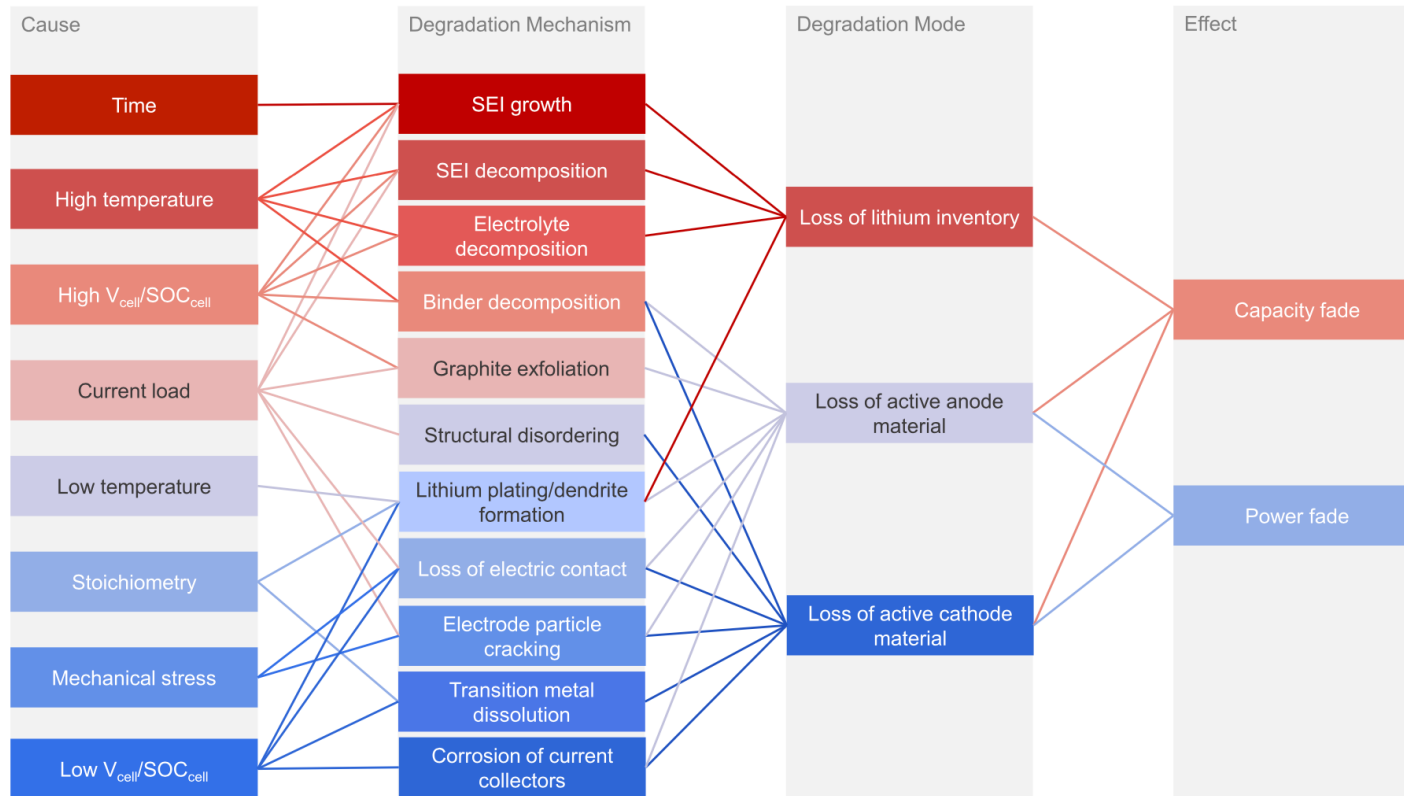


Fig. 3. Cause and effect of degradation mechanisms and associated degradation modes.

1) การสูญเสียปริมาณ Lithium ภายในเซลล์ (Loss of lithium inventory, LLI)

2) การสูญเสียไปของ active material บนแผ่นธาตุลบ Loss of active material of the NE (LAMNE): เนื่องจากการแตกตัวของอนุภาคและการสูญเสียการสัมผัสทางไฟฟ้า หรือการปิดกั้นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาโดยชั้นพื้นผิวของตัวต้านทาน กระบวนการเหล่านี้อาจทำให้ทั้งความจุและพลังงานลดลง

3) การสูญเสียไปของ active material บนแผ่นธาตุบวก Loss of active material of the PE (LAMPE): เนื่องจากการแตกตัวของอนุภาคและการสูญเสียการสัมผัสทางไฟฟ้า หรือการปิดกั้นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาโดยชั้นพื้นผิวของตัวต้านทาน กระบวนการเหล่านี้อาจทำให้ทั้งความจุและพลังงานลดลง

ปัจจัยที่ทำให้เกิด Thermal runaway ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

- **Thermal runaway คืออะไร**

- Thermal runaway ใน lithium-ion battery เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ lithium-ion เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและไม่สามารถควบคุมได้ เมื่อกระบวนการนี้เกิดขึ้น อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดที่สามารถทำให้เซลล์แบตเตอรี่เปิดตัวและสร้างความร้อนอย่างมาก นี่เป็นกระบวนการรุนแรงที่สามารถทำให้เกิดการระเบิดและการเผาไหม้ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อคนและสิ่งของรอบข้าง นอกจากนี้ยังเป็นปัญหาสำคัญในอุตสาหกรรมที่ใช้ lithium-ion battery เช่น รถยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์พกพา เนื่องจากมีความเสี่ยงในการเกิด thermal runaway ขึ้นในสถานะที่ไม่เหมาะสมหรือสาเหตุที่ต่างๆ อาจทำให้เกิดการระเบิดและการเผาไหม้ของอุปกรณ์เหล่านั้นได้.

- Thermal runaway เริ่มต้นจากปัจจัยที่สร้างความร้อนภายในแบตเตอรี่ เช่น การชาร์จไม่ถูกต้องหรือการใช้งานในสถานะที่อุณหภูมิสูง การเพิ่มอุณหภูมินี้จะเพิ่มความเร็วในกระบวนการสร้างความร้อนและการสร้างแรงเคลื่อนที่ภายในแบตเตอรี่ ทำให้เกิดลูกโซ่การสร้างความร้อนและความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ถ้าไม่มีการควบคุมและระบายความร้อนที่เพิ่มขึ้นนี้ได้อย่างรวดเร็ว อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องและอาจส่งผลให้เกิดการระเบิดและการเผาไหม้ นั่นคือ thermal runaway ใน lithium-ion battery.
- Thermal runaway ที่เกิดจากขบวนการผลิตที่ขาดการควบคุมคุณภาพอย่างเข้มงวดตั้งแต่ ตั้งแต่ Supply chain ของ Raw material, electrolyte, manufacturing processes เป็นต้น

ปัจจัยที่ทำให้เกิด Thermal runaway ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

• Thermal runaway เกิดจากสาเหตุใดได้บ้าง

- ขบวนการเกิด thermal runaway ใน lithium-ion battery เกิดจากสาเหตุหลายประการ โดยสาเหตุหลักๆ ได้แก่:

- ปฏิกิริยาไม่นำไฟฟ้าในบางส่วนของ electrolyte ที่เรียกว่า Solid Electrolyte Interface (SEI): ถ้าเซลล์ lithium-ion battery ถูกชนกันหรือถูกทำลายในกรณีใดๆ ทั้งที่เป็นการชนระดับสูงหรือการเสียดสีที่แรงมากพอ อาจทำให้เกิดการทำลายของเม็ดกระสุนภายในเซลล์ ซึ่งอาจเปิดตัวไอออนและกระบวนการสร้างความร้อนอย่างรวดเร็ว
- การชาร์จไม่ถูกต้อง: การชาร์จ lithium-ion battery ด้วยกระแสไฟสูงเกินไปหรือมากเกินไป หรือการใช้อุปกรณ์ชาร์จที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดความร้อนมากขึ้น และเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นเร็วมาก อาจสร้างเงื่อนไขให้เกิด thermal runaway
- การใช้งานนอกเหนือจากเงื่อนไขที่เหมาะสม: การใช้งาน lithium-ion battery ในสถานะอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป หรือในสถานะที่ความดันและ

ความชื้นไม่เหมาะสมอาจเป็นสาเหตุให้เกิด thermal runaway

- การชำรุดของอุปกรณ์ในเซลล์: อุปกรณ์ภายในเซลล์ lithium-ion มีการสั่นสะเทือนและกัดกร่อนตามเวลา หากมีการชำรุดในอุปกรณ์เหล่านี้ อาจทำให้เกิดการสั่นสะเทือนความร้อนอย่างรวดเร็ว

การเกิด thermal runaway ใน lithium-ion battery เป็นปัญหาที่ต้องระวังอย่างมาก เนื่องจากมันอาจทำให้เกิดการระเบิดและเป็นอันตรายต่อคนและทรัพย์สิน ดังนั้นควรรักษาและใช้งาน lithium-ion battery อย่างระมัดระวังและเลือกใช้ชาร์จและอุปกรณ์ที่มีคุณภาพเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิด thermal runaway และเงื่อนไขใช้งานที่ถูกต้องด้วยความสม่ำเสมอในเวลาที่กำหนด.

ปัจจัยที่ทำให้เกิด Thermal runaway ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

• Thermal runaway เกิดจากสาเหตุใดบ้าง

- **การชาร์จเกิน (Over charge) :** การชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยใช้กระแสไฟเกินไปหรือชาร์จเกินเวลาอาจทำให้เกิดการสะสมพลังงานความร้อนในแบตเตอรี่ ทำให้อุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นและเป็นต้นเหตุของ thermal runaway ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการประจุกระแสในปริมาณสูง
- **การใช้งานในอุณหภูมิสูง:** สามารถเพิ่มความร้อนภายในแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นสาเหตุที่เสี่ยงต่อการเกิด thermal runaway ตัวอย่างเช่น เมื่อแบตเตอรี่คายประจุแล้วควรให้แบตเตอรี่ลดอุณหภูมิลงก่อนที่จะประจุไฟฟ้ากลับเข้าไป หรือ ต้องให้แบตเตอรี่หยุดการใช้งานอย่างน้อย 4 ชั่วโมง*
- **การคายประจุอย่างรุนแรง:** สามารถทำให้เกิดแข็งตัวของ SEI (Solid Electrolyte Interphase) ซึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงในการเกิด thermal runaway ได้เมื่อมีการใช้งานแบบนี้บ่อยครั้ง
- **ความเสียหายจากอุณหภูมิแวดล้อม:** การปล่อยให้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนติดตั้งภายใต้อุณหภูมิแวดล้อมสูงจากแหล่งร้อนภายนอก เช่น แดดจ้ามมากหรือไฟไหม้ใกล้เคียง อาจเพิ่มความเสี่ยงในการเกิด thermal runaway
- **ความเสียหายทางกายภาพ:** ความเสียหายทางกลของแบตเตอรี่เช่นการกระแทกอย่าง

รุนแรง ความเสียหายอาจเป็นสาเหตุของ thermal runaway ได้

- **การผลิตที่ไม่ได้คุณภาพ:** ความผิดพลาดในกระบวนการผลิต เช่นมีการปนเปื้อน (contamination) ในการเติม electrolyte , การประเมินคุณภาพวัสดุ, การคัดเลือกวัสดุ และขบวนการอื่นๆ อาจทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ในเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงในการเกิด thermal runaway ผู้ใช้จึงควรเลือกใช้แบตเตอรี่จากผู้ผลิตที่มีความเชื่อถือ ไม่ควรพิจารณาเพียงแค่ราคาเป็นปัจจัยในการเลือกใช้

* คำแนะนำจากคู่มือการใช้งานของ Samsung SDI

ปัจจัยที่ทำให้เกิด Thermal runaway ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

• การเกิดก๊าซจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าใน *Lithium-ion battery* ในขณะ *state of charge* ที่ต่างกัน

การแตกตัวของ Electrolyte แต่ละ State Of Charge (SOC)

- เมื่อเก็บประจุแบตเตอรี่ที่ voltage สูงเป็นเวลานานๆ ยิ่งจะทำให้ ความต้านทานของแบตเตอรี่สูงขึ้นไปด้วย
- ดังนั้นทางที่ดีควรรักษา สถานะประจุ State Of Charge, SOC) ของ Lithium ion battery ไว้ที่โวลท์ต่ำๆ หรือ %SOC ต่ำๆไว้ ตลอดช่วงที่ไม่ต้องการใช้งาน
- ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวมี หลากหลายขึ้นอยู่กับ solvent และสารละลายที่ใช้ทำ electrolyte เช่น Lithium Carbonate Li_2CO_3 หรือ Lithium hexafluorophosphate (LiPF_6)
- ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน, ของเหลวที่ใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์มักจะเป็นของเหลวอินทรีย์ (organic electrolyte) หรือ Flammable electrolyte ประกอบด้วย:
 - Solvents (ตัวทำละลาย): เป็นส่วนใหญ่ของอิเล็กโทรไลต์, บางตัวทำละลายที่เป็นที่นิยมในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนได้แก่:
 - ✓ Ethylene carbonate (EC) สูตรเคมี $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$
 - ✓ Dimethyl carbonate (DMC). สูตรเคมี $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$
 - ✓ Diethyl carbonate (DEC)
 - ✓ Propylene carbonate (PC)
 - Lithium Salts (เกลือลิเทียม) : เป็นตัวที่ให้ประจุลิเทียมเพื่อความนำไฟฟ้า, บางตัวที่เป็นที่นิยมได้แก่:
 - ✓ *Lithium hexafluorophosphate (LiPF_6)*
 - Lithium tetrafluoroborate (LiBF_4)
 - Lithium hexa fluoroarsenate (LiAsF_6)
 - Lithium triflate (LiCF_3SO_3)

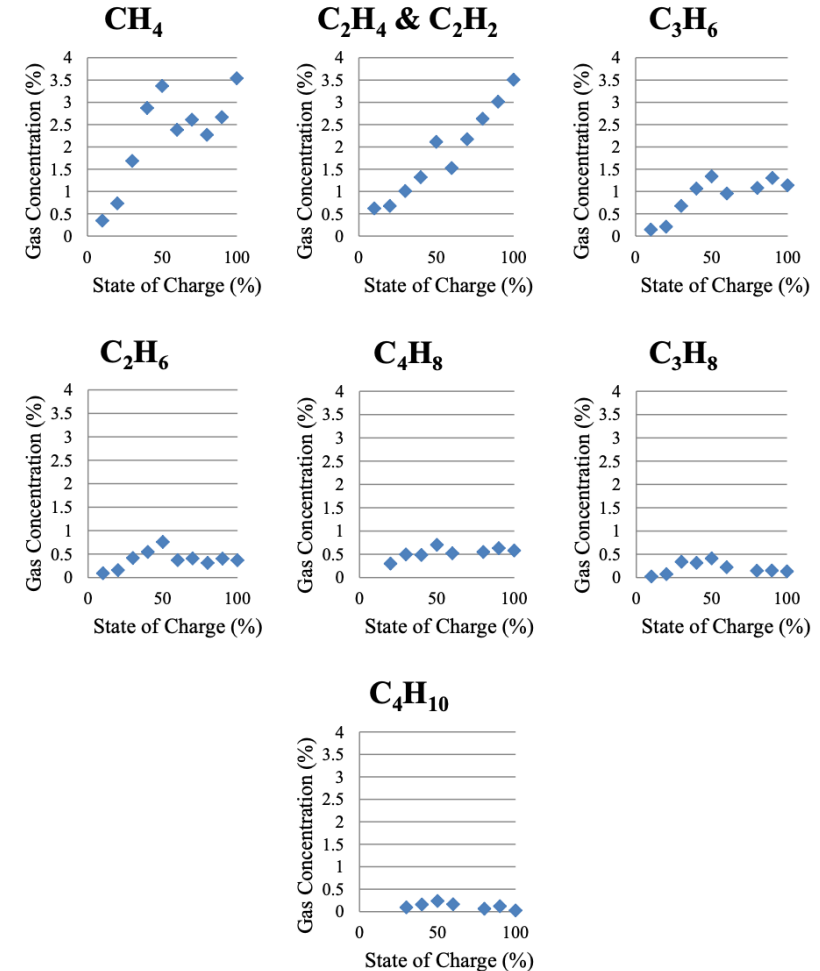


Figure 11. Individual gas species concentrations for LiCoO_2 18650 cells

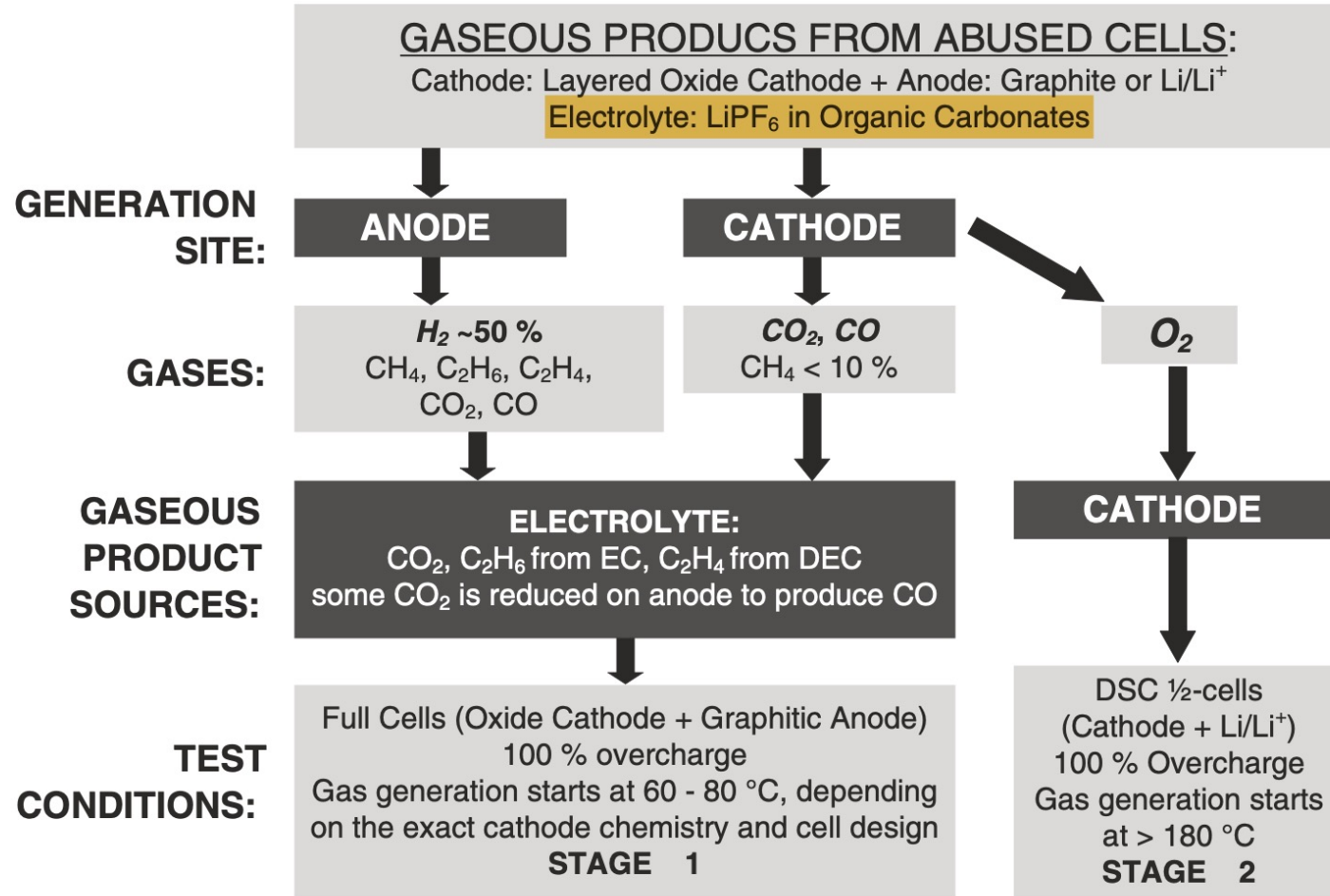
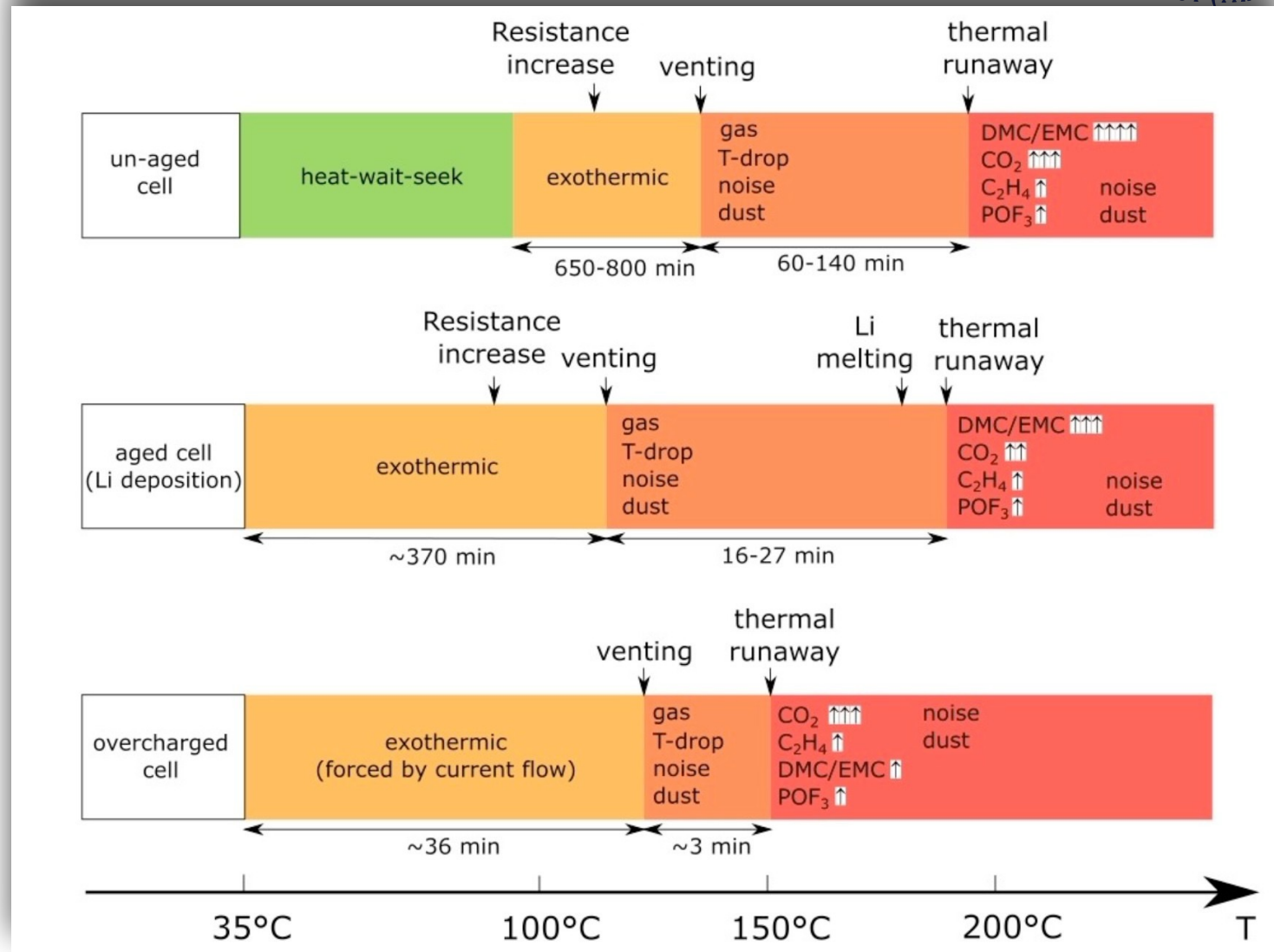


Fig. 5.8 Gaseous products of electrolyte decomposition [1, 2, 4]

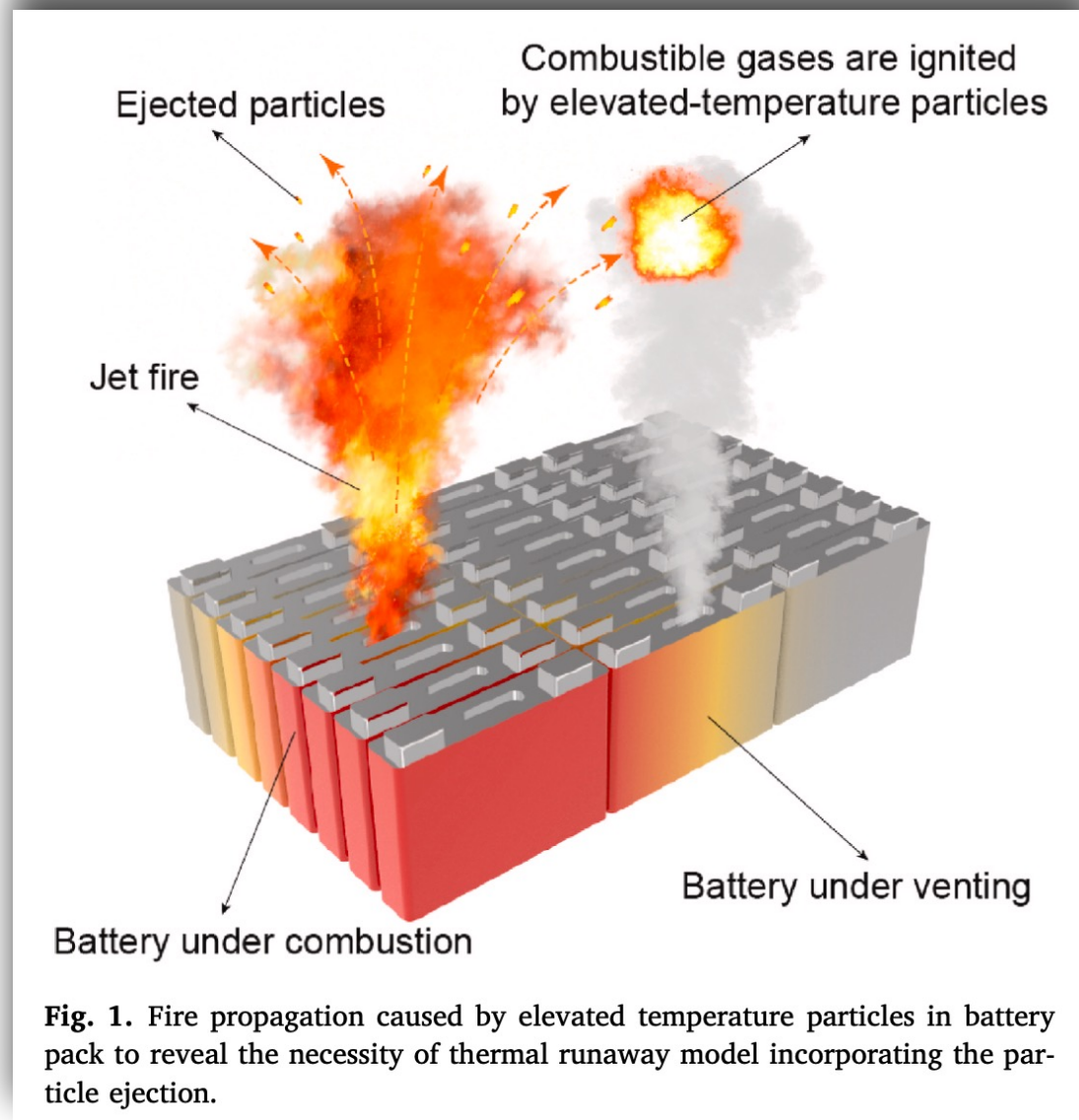
IV. ปัจจัยที่ทำให้เกิด Thermal runaway ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

Chart ที่แสดงช่วงเวลาจะนำไปสู่การเกิด Thermal runaway ของแบตเตอรี่แต่ละช่วงอายุ และภายใต้ปัจจัยการกระตุ้นจากการ over charged cell



ปฏิกิริยาหลังจากการเกิด Thermal runaway ใน Lithium-ion batteries

ภาพจำลองแสดงให้เห็น
การระบายของก๊าซของ
แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน
ระหว่างการระบายความร้อน



A multi-scale model toward
multiphase process
Gongquan Wang, Depeng
Kong, c., Ping Ping b., Jennifer Wen c,
Xiaoqin He a, Hengle Zhao a, Xu He a,
Rongqi Peng a, Yue Zhang a, Xinyi Dai
a

การเกิดก๊าซภายใน Lithium hexafluorophosphate (LiPF₆) ของ Organic Electrolyte

- แบตเตอรี่จะไม่มีแก๊สออกมาจากแบตเตอรี่ในการทำงานปกติ* (normal operation conditions)
ในการทำงานปกติ หมายถึง การประจุไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงที่ผู้ผลิตแนะนำ
- เมื่อเกิดการ over charge voltage ที่ 7 V / cell แก๊สจะถูกปลดปล่อยออกมาเนื่องจาก
Oxidation reaction ของ Electrolyte ทำให้เกิด CO, CO₂
การสลายตัวของโครงสร้างชั้นวัสดุแคโทด Decomposition of cathode active material

Result	Battery Capacity		Tested Condition	Gas Component								
	(Ah)	(Wh)		H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₆	Others	HF	Total
Grams	60	216	Overcharge (32A@7V)	0.05	0.83	5.88	0.07	0.28	0.06	0.35	0.021	7.5
Liters				0.59	0.66	2.99	0.1	0.22	0.046	0.18	0.023	4.8
Volume %				12.3	13.7	62.2	2.1	4.6	1.0	3.7	0.5	100

Note: Hydrogen gas (H₂) > 4 Vol %, Methane gas (CH₄) > 5 Vol %

• CO : Carbon monoxide

- เป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี เกิดจากการเผาไหม้คาร์บอนที่ไม่สมบูรณ์ในเชื้อเพลิงต่างๆ เช่น ฟอสซิล การเผาถ่าน เต้าเผา ไฟไหม้เครื่องยนต์ สารเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีบางชนิด ในแบตเตอรี่ เป็นต้น
- อันตราย
 - ปกติแล้วอากาศที่เราใช้ในการหายใจระหว่างดำเนินชีวิตประจำวันนั้น มี CO ปะปนอยู่เป็นปกติ แต่เนื่องจากมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากๆ จึงไม่ส่งผลเสียต่อร่างกายและระบบทางเดินหายใจ โดยหน่วยวัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เรียกว่า Part Per Million (ppm) มีความหมายคือ ปริมาณหนึ่งในล้านส่วน (1 ใน 1,000,00) ยกตัวอย่างเช่น CO ในที่อยู่อาศัยจะมีปริมาณ 0.5-5 ppm หรือในห้องครัว 5-15 ppm ซึ่งค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ในพื้นที่อุตสาหกรรมนั้นจะอยู่ที่ 200 ppm หรือค่าเฉลี่ย 8 ชม./วัน อยู่ที่ 35 ppm

- CO₂ : คาร์บอนไดออกไซด์ (อังกฤษ: carbon dioxide) หรือ CO₂
 - เป็นก๊าซไม่มีสี ซึ่งหากหายใจเอาก๊าซนี้เข้าไปในปริมาณมาก ๆ จะรู้สึกเปรี้ยวที่ปาก เกิดการระคายเคืองที่จมูกและคอ เนื่องจากอาจเกิดการละลายของแก๊สนี้ในเมือกในอวัยวะ ก่อให้เกิดกรดคาร์บอนิกอย่างอ่อน
 - คาร์บอนไดออกไซด์มีความหนาแน่น 1.98 kg/m³ ซึ่งเป็นประมาณ 1.5 เท่าของอากาศไม่ติดไฟและไม่ทำปฏิกิริยา
 - คาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำได้ 1 เปอร์เซ็นต์ของสารละลายนั้นจะกลายเป็นกรดคาร์บอนิกซึ่งจะเปลี่ยนรูปเป็นไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในภายหลัง
- อันตราย
 - การรักษาภาวะได้รับคาร์บอนไดออกไซด์เกิน (ร่วมกับภาวะขาดออกซิเจน) ต้องนำผู้ป่วยออกจากสภาวะขาดอากาศ หรือ บริเวณที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่มากออกมาให้เร็วที่สุดก่อน
 - ตรวจดูทางเดินหายใจ ถ้าหมดสติและไม่หายใจแล้ว ต้องรีบทำการช่วยหายใจ หน่วยกู้ชีพอาจพิจารณาใส่ท่อช่วยหายใจเพื่อรักษาชีวิต และรีบให้ออกซิเจนเสริมด้วยความรวดเร็ว จากนั้นรีบนำส่งพบแพทย์

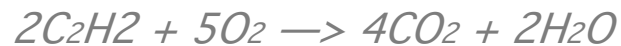
CH₄. : ก๊าซมีเทน (CH₄) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (O₂) จะเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจน (H₂), ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), และน้ำ (H₂O) ที่อุณหภูมิมากกว่า 27,600 °K

สมการเคมีของการเผาไหม้อะเซทิลีนในออกซิเจนสมบูรณ์คือ



C₂H₂ : แก๊สอะเซทิลีน (Acetylene) เป็นสารประกอบ C₂H₂ เป็นแก๊สที่ติดไฟเมื่อรวมตัวกับออกซิเจนจะให้เปลวไฟที่มีความร้อนสูง ถึง 3,482 °C

สมการเคมีของการเผาไหม้อะเซทิลีนในออกซิเจนสมบูรณ์คือ



C₂H₆ : ก๊าซที่มีสูตรเคมี C₂H₆ เรียกว่า “อีเทน” เป็นก๊าซไวไฟ ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนหนึ่งประเภท และเป็นส่วนประกอบหลักที่พบในก๊าซธรรมชาติ เอทานเป็นอัลเคน หมายความว่า เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะคาร์บอน-คาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยว ทำให้เป็นไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว

ชนิดของแก๊ส	ความร้อนสูงสุดโดยประมาณ
ออกซิเจน + อะเซทิลีน	6,300 °F หรือประมาณ 3,482 °C
ออกซิเจน + โพรเพน	5,300 °F หรือประมาณ 2,926 °C
ออกซิเจน + ไฮโดรเจน	5,400 °F หรือประมาณ 1,982 °C
ออกซิเจน + มีเทน	5,000 °F หรือ 27602 °C
อากาศ + อะเซทิลีน	4,532 °F หรือ 2,500 °C
อากาศ + โพรเพน	3,182 °F หรือ 1,750 °C

• HF (hydrogen fluoride)

• ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ เป็นสารประกอบเคมีที่มีสูตรเคมีคือ HF ลักษณะเป็นแก๊สหรือของเหลวไม่มีสี ไฮโดรเจนฟลูออไรด์เป็นแหล่งฟลูออรีนหลักในทางอุตสาหกรรม มักใช้ในรูปแบบสารละลายในน้ำคือกรดไฮโดรฟลูออริก ไฮโดรเจนฟลูออไรด์เป็นวัตถุดิบสำคัญในการเตรียมสารประกอบหลายชนิดที่ใช้ในเภสัชอุตสาหกรรมและพอลิเมอร์ เช่น พอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (PTFE) และเป็นส่วนประกอบหนึ่งของกรดยวดยิ่ง (superacid) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

• ไฮโดรเจนฟลูออไรด์เป็นแก๊สอันตรายอย่างยิ่ง เมื่อสัมผัสกับความชื้นจะแปรสภาพเป็น กรดไฮโดรฟลูออริก ที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ระคายเคืองต่อดวงตาเพราะสามารถกัดกร่อนกระจกตาอย่างรวดเร็ว

• การกำจัด Hydro fluoride (HF)

• โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K₂CO₃) สามารถทำให้ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) เป็นกลางได้ เนื่องจากคุณสมบัติพื้นฐานของมัน นี่เป็นคำอธิบายง่ายๆ:

- HF เป็นสารประกอบที่เป็นกรด ซึ่งหมายความว่าสามารถปล่อยไอออนไฮโดรเจน (H⁺) ได้เมื่อละลายในน้ำ
- โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K₂CO₃) เป็นสารประกอบพื้นฐานที่สามารถปล่อยไอออนไฮดรอกไซด์ (OH⁻) เมื่อละลายในน้ำ
- เมื่อคุณผสม HF กับ K₂CO₃ ในน้ำ ไฮดรอกไซด์ไอออนจาก K₂CO₃ จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนจาก HF ในปฏิกิริยาการทำให้เป็นกลาง:
$$\text{HF} + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{F}^-$$
- ปฏิกิริยานี้ส่งผลให้เกิดการก่อตัวของน้ำ (H₂O) และฟลูออไรด์ไอออน (F⁻) จากนั้นฟลูออไรด์ไอออนจะรวมกับโพแทสเซียมไอออน (K⁺) จาก K₂CO₃ เพื่อสร้างโพแทสเซียมฟลูออไรด์ที่เสถียร (KF):
$$\text{F}^- + \text{K}^+ \rightarrow \text{KF}$$
- โพแทสเซียมไอออนที่เหลือยังสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุล HF ได้มากขึ้นเพื่อสร้างโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟลูออไรด์ที่เสถียร (2KHF):
$$2\text{HF} + 2\text{K}^+ \rightarrow 2\text{KHF}$$
- ดังนั้น K₂CO₃ จะทำให้ HF เป็นกลางได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เสถียร ได้แก่ KF และ 2KHF ในขณะที่ใช้ HF ที่เป็นกรดและสร้างน้ำในกระบวนการปฏิกิริยาการทำให้เป็นกลางนี้จะช่วยลดความเป็นกรด และทำให้ระบบมีเสถียรภาพ

Part 3

คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจาก
เพลิงไหม้

Thermal Runaways compliance from NFPA 855

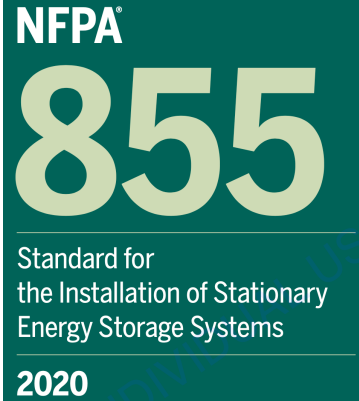


Table 9.2 Electrochemical ESS Technology-Specific Requirements

Compliance Required	Battery Technology					Other Electrochemical ESS and Battery Technologies ^b	Reference
	Lead-Acid	Nickel ^a	Lithium-Ion	Flow	Sodium Nickel Chloride		
Exhaust ventilation	Yes	Yes ^c	No	Yes	No	Yes	Section 4.9
Spill control	Yes ^d	Yes ^d	No	Yes	No	Yes	Section 4.14
Neutralization	Yes ^d	Yes ^d	No	Yes	No	Yes	Section 4.15
Safety caps	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Section 9.4
Thermal runaway	Yes ^e	Yes	Yes ^f	No	Yes ^f	Yes ^f	Section 9.3
Explosion control	Yes ^g	Yes ^g	Yes	No	Yes	Yes	Section 4.12
Size and separation	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Section 4.6

^aNickel battery technologies covered in this column include nickel cadmium (Ni-Cad), nickel metal hydride (Ni-MH), and nickel zinc (Ni-Zn).

^bThe protection in this column is not required if documentation acceptable to the AHJ, including a hazard mitigation analysis complying with 4.1.4, provides justification that the protection is not necessary based on the technology used.

^cExhaust ventilation is not required for nickel metal hydride batteries.

^dApplicable only to vented- (i.e., flooded-) type nickel and lead-acid batteries.

^eThermal runaway protection is not required for vented (e.g., flooded) lead-acid batteries.

^fThe thermal runaway protection is permitted to be part of a battery management system that has been evaluated with the battery as part of the evaluation to UL 1973 or UL 9540.

^gExplosion control is not required for the following:

- (1) Lead-acid and nickel-cadmium battery systems less than 50 V ac, 60 V dc in telecommunications facilities for installations of communications equipment under the exclusive control of communications utilities located in building spaces or walk-in units used exclusively for such installations that are in compliance with NFPA 76
- (2) Lead-acid and nickel-cadmium battery systems designed in accordance with IEEE C2 and used for dc power for control of substations and control or safe shutdown of generating stations under the exclusive control of the electric utility located in building spaces or walk-in units used exclusively for such installations
- (3) Lead-acid battery systems in uninterruptable power supplies listed and labeled in accordance with UL 1778, utilized for standby power applications, and housed in a single cabinet in a single fire area in buildings or walk-in units

ปัจจัยที่ทำให้เกิด Thermal runaway ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

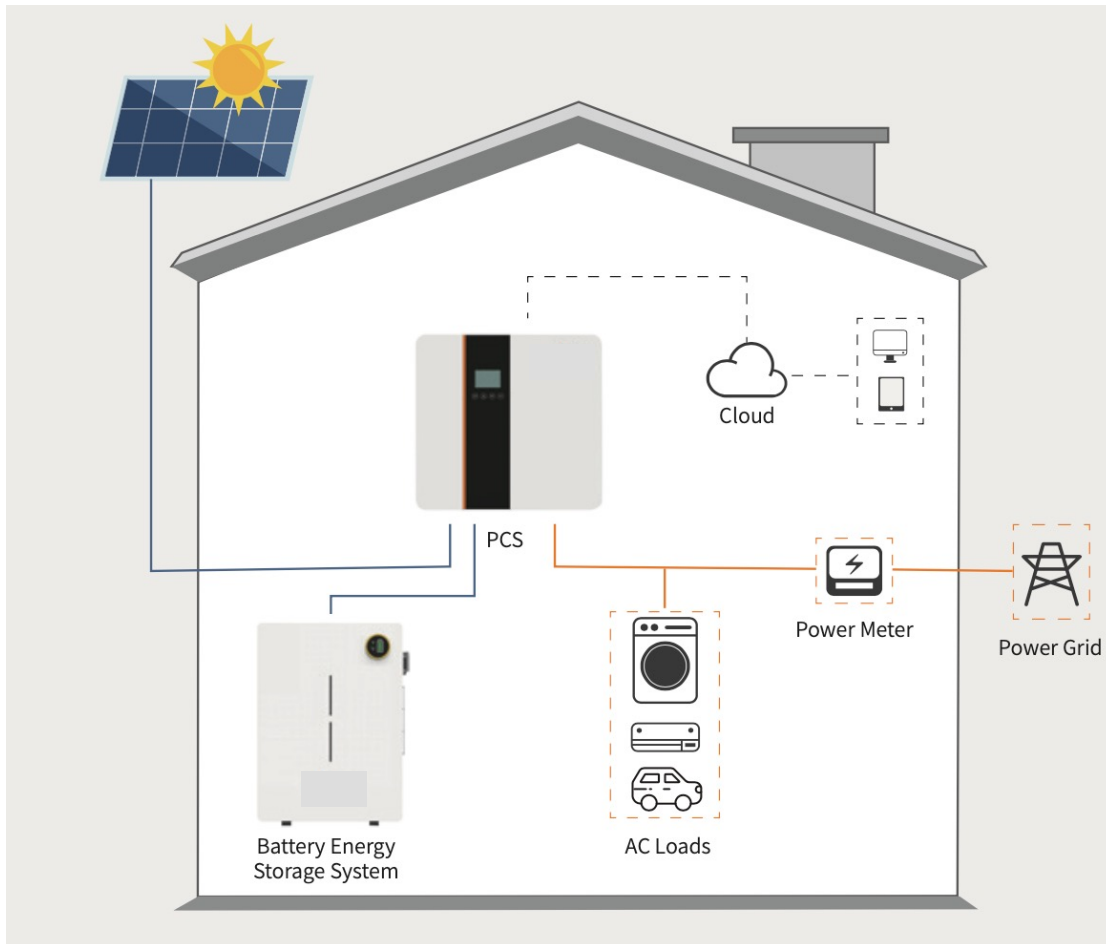
- Thermal runaway เกิดขึ้นได้อย่างไร
 - ขบวนการเกิด thermal runaway ใน lithium-ion battery เกิดจากสาเหตุหลายประการ โดยสาเหตุหลักๆ ได้แก่:
 - ปฏิกริยาไม่นำไฟฟ้าในบางส่วนของ electrolyte ที่เรียกว่า Solid Electrolyte Interface (SEI): ถ้าเซลล์ lithium-ion battery ถูกชนกันหรือถูกทำลายในกรณีใดๆ ทั้งที่เป็นการชนระดับสูงหรือการสะเทือนที่แรงมากพอ อาจทำให้เกิดการทำลายของเม็ดกระสุนภายในเซลล์ ซึ่งอาจเปิดตัวไอออนและกระบวนการสร้างความร้อนอย่างรวดเร็ว

คำแนะนำ: การเกิด thermal runaway ใน lithium-ion battery เป็นปัญหาที่ต้องระวังอย่างมาก เนื่องจากมันอาจทำให้เกิดการระเบิดและเป็นอันตรายต่อคนและทรัพย์สิน ดังนั้นควรรักษาและใช้งาน lithium-ion battery อย่างระมัดระวังและเลือกใช้ชาร์จและอุปกรณ์ที่มีคุณภาพเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิด thermal runaway ลงมาเยียมตามความร้อนและเงื่อนไขใช้งานที่ถูกต้องด้วยความสม่ำเสมอในเวลาที่กำหนด.

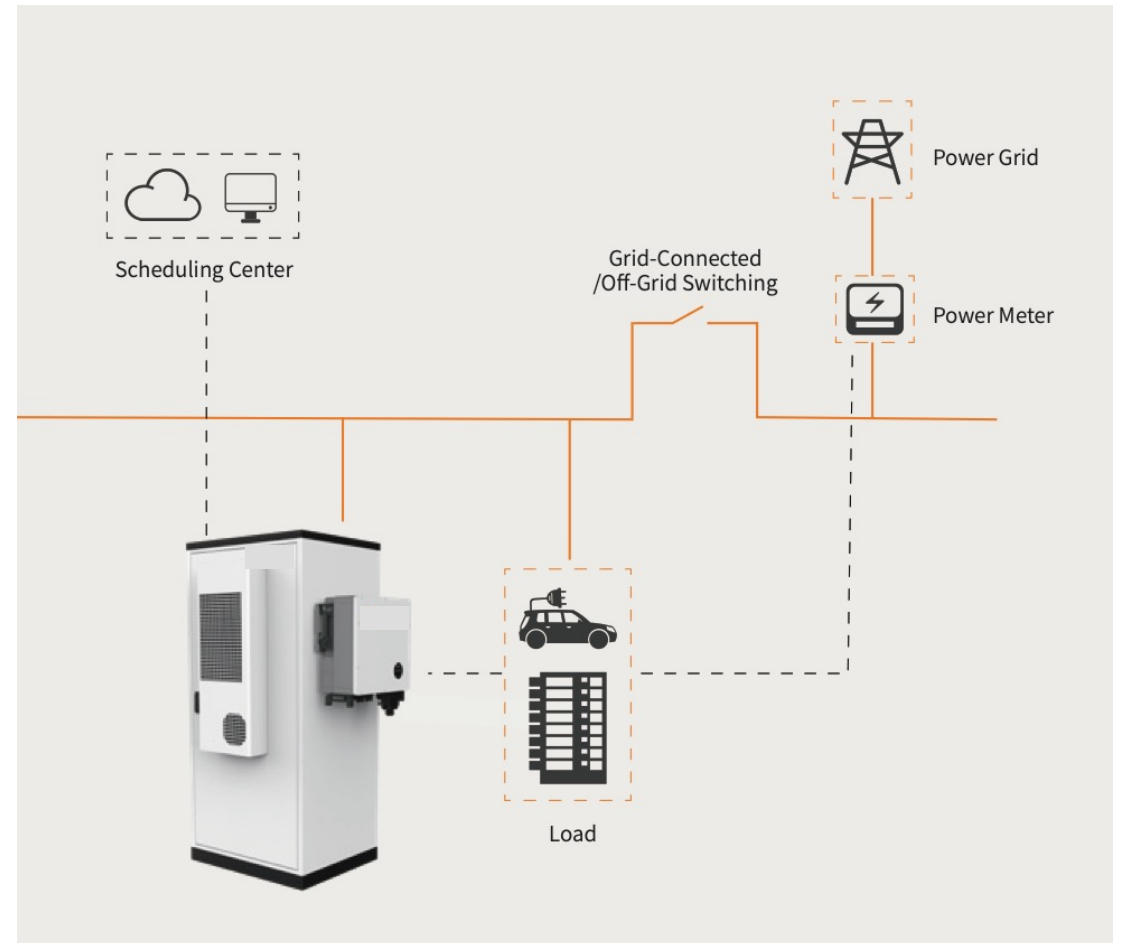
ประเภทของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงาน

- รูปแบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในปัจจุบัน

สำหรับบ้านพักอาศัย



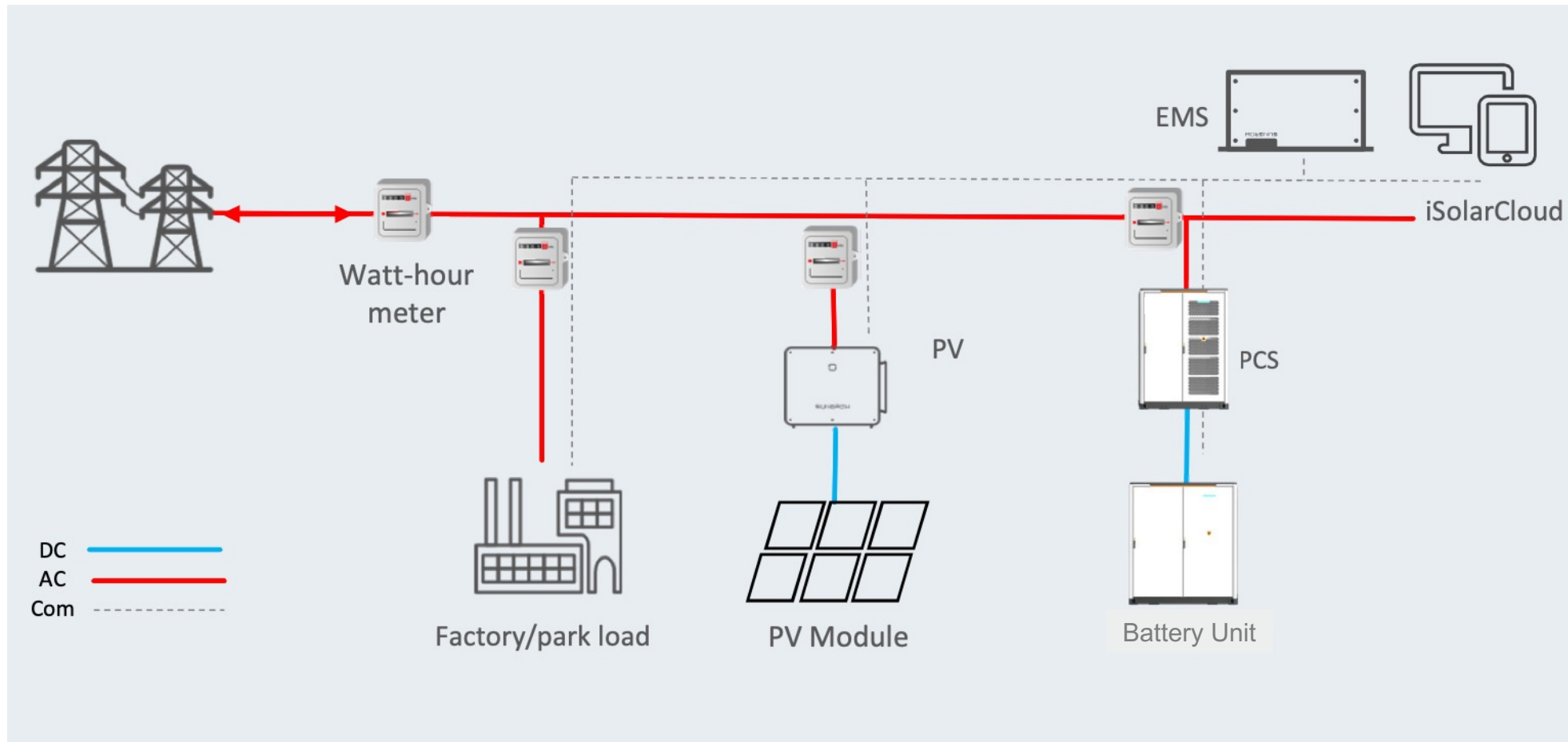
สำหรับธุรกิจและโรงงานอุตสาหกรรม

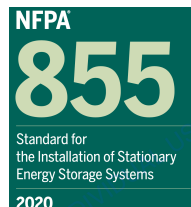


ประเภทของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงาน

- รูปแบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในปัจจุบัน

สำหรับธุรกิจและโรงงานอุตสาหกรรม
(Commercial & Industrial)





**NATIONAL
ELECTRICAL CODE**



• Thermal Runaway จาก NFPA 855

- แม้ว่าการระงับอัคคีภัยแบบไม่ใช้น้ำแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในการระงับไฟประเภท B และประเภท C ในตู้ ESS แต่สารระงับกระแสไฟทั้งแบบแบบน้ำและแบบไม่มีน้ำ อาจไม่สามารถหยุดการระบายความร้อนที่เกิดจากความร้อนได้ ยังไม่มีกรณีศึกษา รายงานการทดสอบ หรือข้อมูลที่สร้างขึ้นจนถึงปัจจุบันที่เผยแพร่ใด ๆ ที่แสดงเป็นอย่างอื่น

• Increasing ESS compliance requirements

- UL 9540 : 2023
- NEC Sect. 706
- NFPA 855
- UL 9540A
- Developing IEC standards
 - IEC 62932 - Flow
 - IEC 62933 - ESS
- UL 1974 : Repurposing of batteries

UL 9540 = UL 1741 standard for inverters + UL 1973 standard for stationary batteries

Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage Systems IFC 2018 and NFPA 855

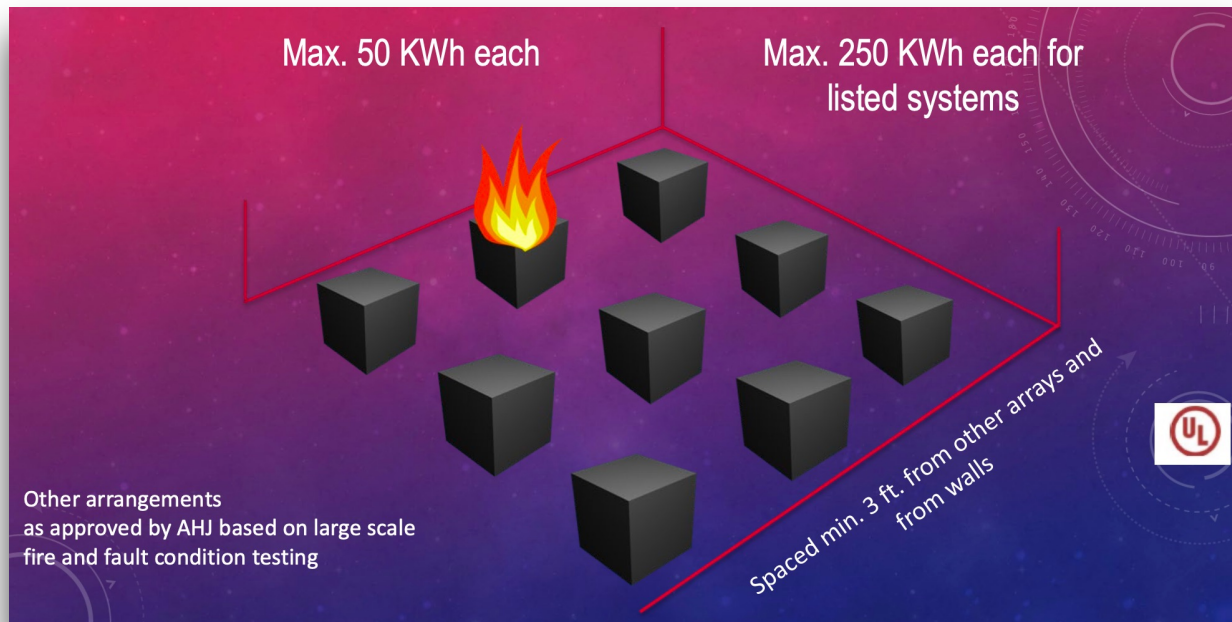


Table 4.8 Maximum Stored Energy

ESS Type	Maximum Stored Energy ^a (kWh)
Lead-acid batteries, all types	Unlimited
Nickel batteries ^b	Unlimited
Lithium-ion batteries, all types	600
Sodium nickel chloride batteries	600
Flow batteries ^c	600
Other battery technologies	200
Storage capacitors	20

^aFor ratings in amp-hrs, kWh should equal maximum rated voltage multiplied by amp-hr rating divided by 1000.

^bNickel battery technologies include nickel cadmium (Ni-Cad), nickel metal hydride (Ni-MH), and nickel zinc (Ni-Zn).

^cIncludes vanadium, zinc-bromine, polysulfide, bromide, and other flowing electrolyte-type technologies.

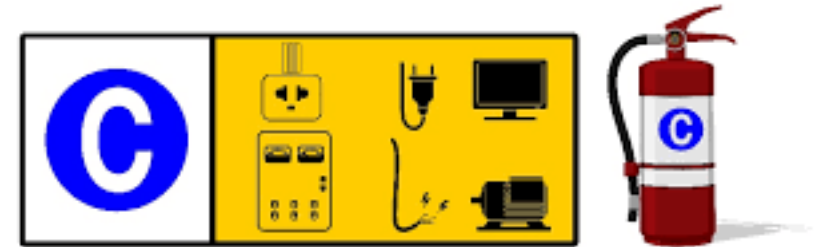
คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

น้ำยาดับเพลิง เหมาะสำหรับ แบตเตอรี่



- ไฟประเภท B เป็นเพลิงไหม้ที่เกิดจากของเหลวติดไฟชนิดต่างๆ (Flammable Liquids) เช่น สารเคมี, น้ำมันเชื้อเพลิง, ก๊าซหุงต้ม, แก๊ส

- เครื่องดับเพลิงที่เหมาะสมสำหรับไฟประเภท B
- ถังดับเพลิงชนิดผงเคมีแห้ง (Dry Chemical) ฉลากเขียว
- ถังดับเพลิงสูตรน้ำ Low Pressure Water Mist (ABFFC) ฉลากเขียว
- ถังดับเพลิงชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Co2)
- น้ำยาดับเพลิงโฟม (Fire Fighting Concentrate Foam)



- ไฟประเภท C เป็นเพลิงไหม้ที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกระแสไฟ (Live Electrical Equipment) เช่น ไฟฟ้ารั่ววงจร, สายไฟรั่ววงจร

- เครื่องดับเพลิงที่เหมาะสมสำหรับไฟประเภท C
- ถังดับเพลิงชนิดผงเคมีแห้ง (Dry Chemical) ฉลากเขียว
- ถังดับเพลิงสูตรน้ำ Low Pressure Water Mist (ABFFC) ฉลากเขียว
- ถังดับเพลิงชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Co2)

ESS System Design in the Container

- 1.Fire Alarm and Extinguishing Panel
- 2.System Abort Switch
- 3.Disconnect Switch
- 4.Gas Release Sign
- 5.1st Stage Sounder (Bell)
- 6.2nd Stage Sounder/Beacon (Horn/Strobe)
- 7.Fire protection agent
- 8.Sequential Activator
- 9.Combination of different detection technologies
 - Smoke
 - Heat
 - CO
 - Gas
 - Aspiration
 - Linear Heat
 - Flame
 - Other



Recommendation of fire extinguishing agent

Agent	Concentration (%)	Applicable Agent Amount (Kg)	Price level	Remarks
HFC-23 FE13	12.4	43	4th Expensive	- Cheap Price- Most economic with highest concentration - Long protection range- Less toxic
HFC-125	7.2	50	2nd Expensive	- Not suitable for long distance protection range
HFC-227ea FM 200	7.0	75(50)	Most Expensive	- Most expensive
HCFC-Bland	8.6	50	5th Expensive	- Freon grouped material, subject for phase reduction by 2020 - Agent material will result residue/liquid, causing secondary damage to electronic components
CO2	50.0	180	3rd Expensive	- Toxic material causing suffocation
Water Spay				A sprinkler density in excess of 0.3 gpm/ft ² (12.2 mm/min) can be necessary to provide an adequate level of protection, (30 mins)

Note : Halon Fire Extinguishing was banned.

คำแนะนำเกี่ยวกับ Fire extinguisher agent จาก NFPA 855



- น้ำถือเป็นสารที่เหมาะสมที่สุดในการระบเพลิงไหม้

จากแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน น้ำมีความสามารถในการทำความเย็นที่เหนือกว่า มีปริมาณมาก (ในหลายพื้นที่) และเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ได้ง่าย แม้ว่าน้ำอาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสม แต่การกำหนดค่าโมดูล/ตู้อาจทำให้น้ำซึมผ่านได้ยากสำหรับการระบายความร้อนบริเวณต้นทาง แต่อาจยังคงมีประสิทธิภาพสำหรับการกักเก็บ **สเปรย์น้ำถือว่า**

ปลอดภัยในฐานะตัวแทนสำหรับใช้กับระบบ

ไฟฟ้าแรงสูง ความเป็นไปได้ที่กระแสไฟรั่วกลับไปยังหัวฉีดและนักดับเพลิงในท้ายที่สุดนั้นไม่นับสำคัญ โดยพิจารณาจากข้อมูลการทดสอบที่เผยแพร่ในรายงานของมูลนิธิวิจัยการป้องกันอัคคีภัย

- แนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดสำหรับการตอบสนองฉุกเฉินต่อเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอันตรายจากแบตเตอรี่ของยานพาหนะไฟฟ้า: รายงานผลการทดสอบเต็มรูปแบบ **โฟมดับเพลิง** ไม่ถือว่ามีประสิทธิภาพสำหรับสารเคมีเหล่านี้เนื่องจากไม่สามารถระบายความร้อนได้เพียงพอและสามารถนำไฟฟ้าได้ หลักฐานแสดงให้เห็นว่าโฟมอาจกระตุ้นการลุกลามของความร้อนโดยฉนวนวัสดุที่เผาไหม้และทำให้ความร้อนเพิ่มขึ้นรุนแรงขึ้น

คำแนะนำเกี่ยวกับ Fire extinguisher agent จาก NFPA 855



- ผงเคมีแห้ง ที่ใช้ดับเพลิงสามารถขจัดเปลวไฟที่มองเห็นได้ อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถทำให้ส่วนประกอบแบตเตอรี่ที่กำลังลุกไหม้เย็นลงได้ บ่อยครั้ง แม้ว่าเปลวไฟที่มองเห็นได้จะถูกกำจัดออกไปแล้ว แต่ความร้อนที่ไหลเวียนภายในแบตเตอรี่จะยังคงดำเนินต่อไป ส่งผลให้เกิดการติดไฟอีกครั้ง
- คาร์บอนไดออกไซด์และสารระงับก๊าซเฉื่อย จะกำจัดเปลวไฟที่มองเห็นได้ **แต่มีแนวโน้มว่า จะไม่ให้ความเย็นเพียงพอที่จะขัดขวางกระบวนการระบายความร้อน ESS** ที่ติดตั้ง clean system suppression จะมีระบบระบายอากาศเชื่อมโยงกับเครื่องตรวจจับอัคคีภัยและแผงควบคุม HVAC จะปิดลงและแดมเปอร์จะปิดเพื่อให้แน่ใจว่าสารมีเวลากักเก็บเพียงพอที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อ

เป็นสารระงับที่มีประสิทธิภาพ ในระบบระงับอัคคีภัยบางระบบ HVAC จะหมุนเวียน ไม่ปิดเครื่อง และช่วยกระจาย clean agent ผู้เผชิญเหตุต้องแน่ใจว่ามีเวลากักเก็บเพียงพอก่อนที่จะเข้าถึงห้องแบตเตอรี่/ภาชนะบรรจุ ควรระบุเวลาที่ผู้ผลิตแนะนำให้ชัดเจน สารเหล่านี้อาจลดการติดไฟได้โดยการลดระดับออกซิเจน อย่างไรก็ตาม ข้อมูลระบุว่าก๊าซไวไฟจะยังคงผลิตต่อไปเนื่องจากการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง และสามารถสร้างสภาพแวดล้อมที่สุกหอมสำหรับวาล์วไฟตามผิวหรือย้อนกลับเมื่อออกซิเจนถูกนำเข้าสู่ระบบอีกครั้ง

คำแนะนำเกี่ยวกับ Fire extinguisher agent จาก NFPA 855



- การตรวจจับและระงับอัคคีภัย

1. การตรวจจับอัคคีภัย ระบบการจัดการแบตเตอรี่ได้รับการออกแบบมาเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์และโมดูลเป็นหลัก สามารถออกแบบให้ปิดวงจรการชาร์จ/คายประจุที่ได้รับผลกระทบในกรณีที่สถานะไม่อยู่ในพารามิเตอร์ แต่อาจไม่สามารถระบุได้ว่าเกิดไฟไหม้จริงหรือไม่ การตรวจจับอัคคีภัยควรได้รับการออกแบบในการติดตั้ง ESS

2. Passive Fire Control คุณลักษณะการควบคุมอัคคีภัยแบบพาสซีฟควรได้รับการออกแบบมาเพื่อตอบสนองความท้าทายเฉพาะในการจัดการไฟเคมีไฟฟ้า ESS คุณลักษณะการควบคุมไฟแบบพาสซีฟควรได้รับการออกแบบเพื่อจำกัดผลกระทบที่ต่อเนื่องกันของการแพร่กระจายของไฟ ซึ่งอาจรวมถึงเซลล์สู่เซลล์ (สร้างไว้ใน module) module ต่อ module (สร้างไว้ใน rack หรือ module) rack ต่อ rack (สร้างไว้ในห้องหรือคอนเทนเนอร์ ESS) หรือแม้แต่การป้องกันจากระบบสู่ระบบ*

3. วิธีการระงับเหตุเพลิงไหม้ ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ส่วนประกอบของแบตเตอรี่มักจะอยู่ในตู้หรือโครงแบบอื่นๆ ที่สามารถทำหน้าที่ปกป้องส่วนประกอบต่างๆ และด้วยเหตุนี้จึงจำกัดความสามารถในการหัวฉีดแบบเจาะ นักผจญเพลิงไม่ควรใช้หัวฉีดแบบเจาะและเหล็กปลายแหลมเจาะทะลุ เซลล์ที่ได้รับความเสียหายทางกลไกหรือการเจาะเซลล์ที่ไม่เผาไหม้หรือไม่เสียหายอาจส่งผลให้เซลล์เหล่านั้นลุดติดไฟได้ทันที นอกจากนี้การลัดวงจรภายในตู้ อาจทำให้เกิดไฟฟ้าช็อตได้

* ศึกษารายละเอียดจาก มาตรฐาน UL 9540 A

Part 4

คำแนะนำสำหรับการบำรุงรักษา

เชิงป้องกัน

คำแนะนำ

การใช้งานแบตเตอรี่ lithium-ion อย่างถูกต้องมีความสำคัญในการรักษาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่และความปลอดภัยของผู้ใช้ นี่คือการแนะนำสำหรับการใช้งานแบตเตอรี่ lithium-ion อย่างถูกต้อง:

- **อ่านคู่มือผู้ใช้:** อ่านคู่มือผู้ใช้ที่ให้มากับอุปกรณ์หรือแบตเตอรี่เพื่อทราบข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานและการบำรุงรักษาที่ถูกต้องของแบตเตอรี่นั้นๆ
- **อุณหภูมิ:** หลีกเลี่ยงการใช้งานแบตเตอรี่ในสถานะอุณหภูมิสูงเกินไปหรือต่ำเกินไป เพราะอุณหภูมิส่งผลต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแบตเตอรี่ ควรใช้งานในอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงที่แนะนำในคู่มือผู้ใช้
- **การชาร์จ:** ใช้ชาร์จเต็มทีและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการชาร์จ ใช้ชาร์จที่ถูกต้องและรับรองสำหรับแบตเตอรี่ lithium-ion และหลีกเลี่ยงการชาร์จเกินเวลา
- **การใช้งานที่ถูกต้อง:** หลีกเลี่ยงการใช้งานแบตเตอรี่ในอัตรา C-rate สูงเกินไป และรักษาอุณหภูมิในขณะที่ใช้งานให้เหมาะสม
- **อุปกรณ์การชาร์จ:** ใช้อุปกรณ์ชาร์จที่รับรองคุณภาพและความปลอดภัย หลีกเลี่ยงการใช้ชาร์จที่ไม่เสถียรหรือไม่มีมาตรฐาน
- **การเก็บรักษา:** หลีกเลี่ยงการเก็บรักษาแบตเตอรี่ในสถานะที่ร้อนเกินไปหรือหนาวเกินไป แบตเตอรี่ควรเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิที่เหมาะสม

คำแนะนำ

การใช้งานแบตเตอรี่ lithium-ion อย่างถูกต้องมีความสำคัญในการรักษาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ และความปลอดภัยของผู้ใช้ นี่คือการคำแนะนำสำหรับการใช้งานแบตเตอรี่ lithium-ion อย่างถูกต้อง:

- **ประเภทของแบตเตอรี่:** รู้เกี่ยวกับประเภทของแบตเตอรี่ lithium-ion ที่คุณใช้งานและรักษาตามคำแนะนำของผู้ผลิต
- **การดูแลและการใช้สภาพ:** สังเกตและตรวจสอบสภาพของแบตเตอรี่อย่างเป็นประจำ เช่น การตรวจสอบว่าไม่มีการเกิดความเสียหายหรืออาการผิดปกติ ทางารภาพ เช่น ชั่วไฟฟ้า การสื่อสารระหว่างแบตเตอรี่ กับตัวแสดงผล ควรตรวจทานความถูกต้องของระบบ BMS ว่าทำงานถูกต้องครบถ้วนไหม
- **ระยะเวลาการเก็บรักษา:** หากคุณไม่ใช้งานแบตเตอรี่เป็นเวลานาน ไม่ควร ชาร์จให้เต็ม ควรให้ %SOC ประมาณ 50% หรือน้อยกว่า แต่ถ้าเก็บไว้นาน ก็ควรให้ %SOC สูงกว่า 50% แต่ไม่ควรเกิน 80%
- **การเลือกซื้อแบตเตอรี่:** ในกรณีที่ต้องการซื้อแบตเตอรี่ใหม่ ควรเลือกซื้อจากผู้ผลิตที่เชื่อถือได้และคุณภาพที่ดี **อย่ามองที่ราคาถูกเป็นปัจจัยสำคัญ**
- การปฏิบัติตามคำแนะนำนี้จะช่วยให้คุณสามารถใช้งานแบตเตอรี่ lithium-ion อย่างปลอดภัยและสามารถรักษาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้นานถึงขณะใช้งาน.

คำแนะนำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

การจัดการสถานะการชาร์จ (SOC) มีความสำคัญสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า (EV) เช่นเดียวกับระบบจัดเก็บพลังงานแบบเตอรี่ (BESS) คำแนะนำทั่วไปเกี่ยวกับการชาร์จและการคายประจุ SOC สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนใน EV มีดังนี้

1. Deep Of Discharge (DoD):

แนะนำ: สำหรับการใช้งานปกติ แนะนำให้รักษาแบตเตอรี่ให้อยู่ระหว่าง 20% ถึง 80% SOC
เหตุผล: การทำงานในช่วงนี้ช่วยลดภาระของแบตเตอรี่และยืดอายุการใช้งานได้ หลีกเลี่ยงปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่จะเร่งการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่

2. หลีกเลี่ยงการประจุเต็ม fully charge สำหรับการใช้งานรายวัน:

แนะนำ: หลีกเลี่ยงการชาร์จ SOC 100% สำหรับการขับรายวัน เหมาะที่สุดสำหรับการเดินทางระยะไกลเมื่อจำเป็นต้องใช้ระยะทางสูงสุด
เหตุผล: การชาร์จอย่างต่อเนื่องถึง 100% สามารถเพิ่มอัตราการสูญเสียความจุเมื่อเวลาผ่านไป
(SOC : State Of Charge หมายถึง สถานะของความจุแบตเตอรี่)

3. หลีกเลี่ยง SOC ต่ำเป็นเวลานาน:

- คำแนะนำ: พยายามอย่าปล่อยแบตเตอรี่ไว้ที่ SOC ต่ำมาก (ต่ำกว่า 10-20%) เป็นเวลานาน
- เหตุผล: การเก็บแบตเตอรี่ไว้ที่ SOC ที่ต่ำมากเป็นระยะเวลานานอาจทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงและอาจเสี่ยงต่อความสามารถในการรองรับการชาร์จของแบตเตอรี่ในอนาคต

4. การพิจารณาอุณหภูมิ:

- คำแนะนำ: หลีกเลี่ยงการชาร์จในอุณหภูมิที่ร้อนจัด หากเป็นไปได้ ให้ใช้ระบบจัดการระบายความร้อนหรือจอดรถในที่ที่มีอุณหภูมิปานกลางหรือที่มีหิ้งคาเมื่อชาร์จไฟ
- เหตุผล: อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจส่งผลต่อสุขภาพของแบตเตอรี่ โดยเฉพาะระหว่างการชาร์จ การชาร์จที่อุณหภูมิสูงหรือที่ SOC สูงสามารถเร่งการเสื่อมสภาพได้

คำแนะนำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

การจัดการสถานะการชาร์จ (SOC) มีความสำคัญสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า (EV) เช่นเดียวกับระบบจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (BESS) คำแนะนำทั่วไปเกี่ยวกับการชาร์จและการคายประจุ SOC สำหรับแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนใน EV มีดังนี้

5. ใช้การชาร์จที่ช้าลงเมื่อทำได้:

- **แนะนำ:** แม้ว่าเครื่องชาร์จแบบเร็วจะสะดวกสำหรับการชาร์จอย่างรวดเร็วในการเดินทางไกล แต่สำหรับการชาร์จรายวัน ควรใช้เครื่องชาร์จระดับ 1 หรือระดับ 2 ที่ช้ากว่า
- **เหตุผล:** การชาร์จเร็วบ่อยๆ อาจทำให้แบตเตอรี่มีความร้อนและความเครียดมากขึ้น ซึ่งทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วขึ้น

6. Battery cell balancing (การปรับสมดุลปกติ) และการตรวจสอบ BMS:

- **คำแนะนำ:** การชาร์จให้ใกล้ 100% เป็นระยะๆ จะเป็นประโยชน์เพื่อให้ระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS) ปรับสมดุลเซลล์
- **เหตุผล:** วิธีนี้ช่วยให้แน่ใจว่าเซลล์ทั้งหมด ในชุดแบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากัน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับประสิทธิภาพและอายุการใช้งานที่ยาวนาน พึงพา BMS เสมอเพื่อให้

แน่ใจว่าการทำงานมีความปลอดภัย

7. การเดินทางในอนาคตและความวิตกกังวล:

- **คำแนะนำ:** หากคุณมีความวิตกกังวลเกี่ยวกับระยะทางไกล หรือกำลังวางแผนการเดินทางระยะยาว คุณสามารถ quick Charge ถึง 100% เป็นครั้งคราวได้
- **เหตุผล:** EV สมัยใหม่และ BMS ได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับการชาร์จเต็มเป็นครั้งคราว โดยไม่มีอันตรายร้ายแรง

8. ตรวจสอบสภาพแบตเตอรี่:

- **คำแนะนำ:** คอยสังเกตสถานะของแบตเตอรี่ State Of Health (SoH) เมื่อเวลาผ่านไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากคุณสังเกตเห็นระยะที่ลดลง
- **เหตุผล:** ข้อมูลนี้สามารถให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับสุขภาพของแบตเตอรี่และแจ้งเตือนคุณเกี่ยวกับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นหรือความจำเป็นในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมชาร์จ

สรุป:

การจัดการ SOC ที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญในการยืดอายุแบตเตอรี่ของ EV แม้ว่าการปฏิบัติตามคำแนะนำข้างต้นโดยทั่วไปสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ แต่ควรศึกษาคำแนะนำจากผู้ผลิตรถยนต์เสมอ เนื่องจากคุณสมบัติและการออกแบบแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันอาจมีค่ากำหนดในการชาร์จและคายประจุที่เฉพาะเจาะจง

V. คำแนะนำสำหรับการบำรุงรักษาแบตเตอรี่

ตารางการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

รายละเอียดการบำรุงรักษาแบตเตอรี่			การบำรุงรักษารายวัน (Daily maintenance)	การบำรุงรักษาราย 3 เดือน (Quarterly maintenance)	การบำรุงรักษารายปี (Yearly maintenance)
แบตเตอรี่	ด้านเทคนิค	ตรวจสอบประวัติข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้โดย EMS ดังต่อไปนี้ • ข้อมูลการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ (พลังงานสะสมรายวันและทั้งหมด) • ค่าสูงสุดและต่ำสุดของ SOC และ SOH ของแบตเตอรี่แต่ละ Rack • ค่าของแบตเตอรี่ลูกที่มีอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละ Rack • ค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของแบตเตอรี่แต่ละลูก • ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดในการประจุและคายประจุไฟฟ้า • การแจ้งเตือนต่าง ๆ • ความผิดปกติอื่น ๆ			
	เปรียบเทียบ SOC	• เทียบค่า SOC ที่คำนวณได้กับค่าที่อ่านได้จาก BMU • หรือปฏิบัติตามคู่มือผู้ผลิต			
	24V AUX	• ตรวจสอบความแม่นยำของแรงดัน 24V AUX			

คำแนะนำสำหรับการบำรุงรักษาแบตเตอรี่

ตารางการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน



รายละเอียดการบำรุงรักษาแบตเตอรี่			การบำรุงรักษารายวัน (Daily maintenance)	การบำรุงรักษาราย 3 เดือน (Quarterly maintenance)	การบำรุงรักษารายปี (Yearly maintenance)
แบตเตอรี่	Self-Balancing	•ปฏิบัติตามคู่มือผู้ผลิต			
	แรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิ	•วัดค่าแรงดันและอุณหภูมิของทุก Rack ในช่วงพักการใช้งานของแบตเตอรี่			
การทำงานของ DC Contactor					
ความแม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัดทางไฟฟ้า					
ความต้านทานของฉนวน					

คำแนะนำสำหรับการบำรุงรักษาแบตเตอรี่

ตารางการบำรุงรักษาแบตเตอรี่กรดตะกั่ว ตามคำแนะนำจาก IEEE Std 1188

รายละเอียดการบำรุงรักษาแบตเตอรี่	บำรุงรักษารายเดือน (Monthly Maintenance)	บำรุงรักษาราย 3 เดือน (Quarterly Maintenance)	บำรุงรักษารายปี (Yearly Maintenance)
ตรวจสอบสภาพห้องด้วยสายตา	✓	✓	✓
ตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์เพื่อความ ปลอดภัย เช่น เครื่องดับเพลิง หรือ ระบบ เตือนอัคคีภัย	✓	✓	✓
ตรวจวัดอุณหภูมิห้อง	✓	✓	✓
ตรวจวัดค่าแรงดันและกระแส AC/DC ขา ออกของ Charger	✓	✓	✓
ตรวจวัดค่าแรงดันและกระแส AC ขาเข้า ของ Charger	✓	✓	✓
การระบายอากาศที่เหมาะสม	✓	✓	✓
ตรวจวัดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ทุก ๆ ลูก		✓	✓
ตรวจสอบรูปทรงของแบตเตอรี่ เช่น มีการ บวม หรือ บิดเบี้ยวของเปลือกแบตเตอรี่อื่น เนื่องจากความร้อน	✓	✓	✓
ตรวจสอบเปลือกและฝาแบตเตอรี่ มีการรั่ว ของ electrolyte หรือไม่	✓	✓	✓

V. คำแนะนำสำหรับการบำรุงรักษาแบตเตอรี่

ตารางการบำรุงรักษาแบตเตอรี่กรดตะกั่ว ตามคำแนะนำจาก IEEE Std 1188

รายละเอียดการบำรุงรักษาแบตเตอรี่	บำรุงรักษารายเดือน (Monthly Maintenance)	บำรุงรักษาราย 3 เดือน (Quarterly Maintenance)	บำรุงรักษารายปี (Yearly Maintenance)
ตรวจสอบขั้วมีตะกั่วบนขั้วแบตเตอรี่ และ มีการเปลี่ยนสภาพ หรือไม่	✓	✓	✓
ทำความสะอาดหากพบความสกปรก หรือ ตะกั่วที่ขั้วแบตเตอรี่โดยใช้จาระบีที่ไม่ได้ทำมาจากสารประกอบจาก Petroleum	✓	✓	✓
ตรวจวัดค่ากระแสและแรงดัน float ของ แบตเตอรี่ทุก ๆ ลูก		✓	✓
ตรวจวัดอุณหภูมิ ของแบตเตอรี่ทุก ๆ ลูก*		✓	✓
ตรวจวัดค่า Ohmic (Impedance/Resistance/Conductance) Test*		✓	✓
ตรวจสอบสายต่อระหว่างแบตเตอรี่พร้อมกับขัน ขั้วแบตเตอรี่ให้แน่น Inter-unit Connection Check / Re-torque			✓
ทำรายงานเพื่อสรุปผลการตรวจวัดและคุณภาพ ของแบตเตอรี่	✓	✓	✓

คำแนะนำสำหรับการบำรุงรักษาแบตเตอรี่

ตารางการบำรุงรักษาแบตเตอรี่กรดตะกั่ว ตามคำแนะนำจาก IEEE Std 1188



รายละเอียดการบำรุงรักษาแบตเตอรี่		การบำรุงรักษารายวัน (Daily maintenance)	การบำรุงรักษาราย 3 เดือน (Quarterly maintenance)	การบำรุงรักษารายปี (Yearly maintenance)
สภาพแวดล้อม	• ตรวจสอบสภาพห้องด้วยสายตา • ตรวจสอบสภาพอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย เช่น ระบบเตือนอัคคีภัย • ตรวจสอบอุณหภูมิห้อง • ตรวจสอบห้องแบตเตอรี่ว่ามีควันหรือกลิ่นของสารเคมีรั่วไหลหรือไม่ • ตรวจสอบสภาพสายเคเบิลทั้งสายไฟฟ้าและสายสื่อสาร เช่น สีและสภาพของสายไฟ • ตรวจสอบเช็คสภาพของอุปกรณ์ว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เช่น หัก งอ บิด หรือมีสนิม เป็นต้น			

คำแนะนำสำหรับการบำรุงรักษาแบตเตอรี่

ตารางการบำรุงรักษาแบตเตอรี่กรดตะกั่ว ตามคำแนะนำจาก IEEE Std 1188



รายละเอียดการบำรุงรักษาแบตเตอรี่			การบำรุงรักษา รายวัน (Daily maintenance)	การบำรุงรักษาราย 3 เดือน (Quarterly maintenance)	การบำรุงรักษารายปี (Yearly maintenance)
แบตเตอรี่	อุณหภูมิ	- ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ สำหรับชนิด SDI แนะนำให้ติดอย่างน้อย 2 ตำแหน่ง - อ่านค่าและบันทึกข้อมูลไว้ทำรายงาน	✓	✓	✓
	ความชื้น	- ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นภายในแบตเตอรี่อย่างน้อย 2 ตำแหน่ง - ตรวจสอบการควบแน่นเป็นหยดน้ำให้ทั่วบริเวณ - อ่านค่าและบันทึกข้อมูลเพื่อจัดทำรายงาน	✓	✓	✓

THANK YOU

PECTEC

PEC Technology (Thailand) Co., Ltd.

181, 183 Sukontasawat Rd., Ladprao, Bangkok 10230

Tel. 02-9078521 www.pectech.co.th



Appendix : A

คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจาก
เพลิงไหม้

IV. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย: ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา
Thailand Electrical Installation Standard: Solar Rooftop Power Supply Installations
(มาตรฐาน วสท. 022013-21)

• ต้องติดตั้งระบบแบตเตอรี่ในสิ่งห่อหุ้ม (Enclosure) หรือห้อง (Room) เท่านั้น

หมายเหตุ

สิ่งห่อหุ้ม คือ กล่องหรือกรอบของเครื่องสำเร็จหรือรื้อ หรือ ผนังล้อมรอบการติดตั้งเพื่อป้องกันมิให้บุคคลสัมผัสกับส่วนที่มีแรงดันไฟฟ้าหรือเพื่อป้องกันบริเวณที่ไม่ให้เสียหาย

ห้อง คือ พื้นที่ปิดที่สามารถเข้าถึงได้ด้วยประตูที่มีขนาดใหญ่มากพอให้คนเข้าไปและเดินภายในพื้นที่ได้

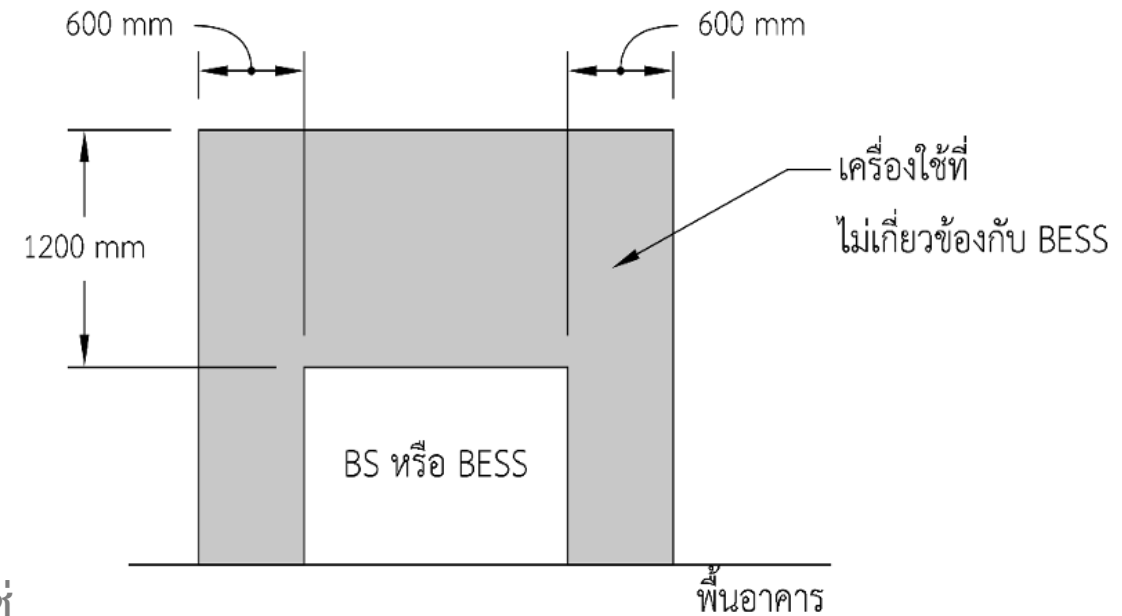
• ห้ามติดตั้งระบบแบตเตอรี่ตามสถานที่ต่อไปนี้

- บนฝ้า
- ช่องว่างผนัง
- บนหลังคา
- ใต้พื้นของห้องพักอาศัย
- ใต้บันได (ไม่รวมห้องใต้บันได) หรือ ใต้ทางเดินที่มีการใช้งาน

IV. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

• ข้อจำกัดเรื่องสถานที่

- ห้ามติดตั้ง ระบบแบตเตอรี่ (BS) หรือระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (BESS)
 - ในบริเวณอันตรายตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ วสท.
 - ในระยะ 600 มม. จากทางออก
 - ในระยะ 600 มม. จากแหล่งความร้อนที่ไม่ใช้ส่วนหนึ่งของ BS หรือ BESS
 - ในระยะ 1,200 มม. ใต้ทางออกหรือแหล่งความร้อนที่ไม่ใช้ส่วนหนึ่งของ BS หรือ BESS
 - ใต้หน้าต่างหรือช่องระบายอากาศในอาคาร



IV. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน



● สภาพแวดล้อม

- ติดตั้งในตำแหน่งที่มีอุณหภูมิและความชื้นตามที่ผู้ผลิตแนะนำ
- ไม่ควรติดตั้งใกล้วัสดุที่ติดไฟได้
- BS หรือ BESS ต้องมีระดับป้องกันไม่น้อยกว่า IP2X
- ที่ติดตั้งนอกอาคารต้องมีดัชนีการป้องกันเหมาะสมกับตำแหน่งนั้น และมีระดับป้องกันไม่น้อยกว่า IP23

IV. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

● สิ่งห่อหุ้มระบบแบตเตอรี่

- เหมาะสมสำหรับประเภทของแบตเตอรี่ และระบบแบตเตอรี่
- พื้นผิวที่เป็นตัวนำทั้งหมดของแบตเตอรี่ต้องมีฉนวนหุ้ม หรือมีการป้องกัน
- สิ่งห่อหุ้มต้องมีการระบายอากาศที่เพียงพอสำหรับการทำงานในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดจากผู้ผลิต
- ต้องไม่มีอุปกรณ์ที่สามารถหล่นลงมาได้ติดตั้งอยู่เหนือแบตเตอรี่
- พื้นที่ในสิ่งห่อหุ้มระบบแบตเตอรี่ต้องมีระยะเผื่อ (Clearance) ดังต่อไปนี้
 - ระยะห่างระหว่างแบตเตอรี่อย่างน้อย 3 มม.
 - ระยะเผื่ออย่างน้อย 25 มม. ระหว่างแบตเตอรี่และผนังสิ่งห่อหุ้ม
- แบตเตอรี่ต้องมีจุดสูงสุดไม่เกิน 2.2 เมตรจากพื้น
- ประตูของสิ่งห่อหุ้มต้องไม่มีการกีดขวางในการเข้าถึงสำหรับการติดตั้งและซ่อมบำรุง
- สิ่งห่อหุ้มของ BESS จะต้องมีย่าน้อย 2 ส่วน
- ส่วนหนึ่งห่อหุ้ม Battery System
- อีกส่วนหนึ่งห่อหุ้ม PCE
- อุปกรณ์อื่น ๆ จะอยู่ในส่วนใดส่วนหนึ่งก็ได้
- การเข้าถึงสิ่งห่อหุ้มทั้ง 2 ส่วนนั้นต้องแยกออกจากกัน (เช่น มีประตูแยกกัน)

IV. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน



● ห้องระบบแบตเตอรี่

- ห้องระบบแบตเตอรี่ต้องใช้สำหรับระบบแบตเตอรี่และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น
- ห้องต้องตั้งอยู่ในตำแหน่งที่การเข้าถึงไม่ถูกขวาง โดยโครงสร้างของอาคาร
- อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง เช่น อุปกรณ์ที่มีเครื่องจักรหมุนที่ไม่ใช่พัดลมระบายอากาศ จะต้องติดตั้งอยู่นอกห้องระบบแบตเตอรี่
- ขนาดของห้องต้องมีระยะเพื่อการเข้าถึงเพื่อติดตั้งและซ่อมบำรุง
- ประตูจะต้องเปิดออกไปนอกห้องและไม่มีสิ่งกีดขวาง
- ต้องไม่มีอุปกรณ์ที่อาจร่วงหล่นได้อยู่เหนือระบบแบตเตอรี่
- ช่องทางเดิน (Aisle Width) ต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 600 มม.
- ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงต้องไม่อยู่เหนือ BESS หรือตัวนำที่เปลือยโดยตรง

IV. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

• ห้องระบบเบตเตอร์

- ถ้าเบตเตอร์ติดตั้งอยู่ในอาคารที่มีระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ (Fire Alarm System) ควรมีการ
- ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ (Detection Device) ที่ห้องเบตเตอร์และเชื่อมต่อกับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้
- ห้องที่ใช้ติดตั้งระบบเบตเตอร์ ต้องผ่านข้อกำหนดเช่นเดียวกับห้องไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ของ วสท.



Smoke detector

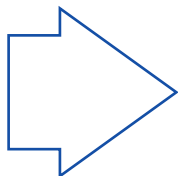
Heat Detector



Flame Detector,
Flame Checker

IV. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

- การป้องกันอันตรายทางไฟฟ้า



- ประเภทของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าสำหรับ BESS มี 2 หน้าที่สำคัญ คือ
 - ป้องกันกระแสเกิน (Over Current Protection) จาก BESS
 - ปลดวงจรระบบแบตเตอรี่ (Isolation of Battery System)

- อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน

- เป็นแบบ Non-polarity และมีค่าพิกัดสำหรับไฟฟ้ากระแสตรง (DC Rated)

- มีค่าพิกัดแรงดันสูงกว่าค่าสูงสุดของระบบแบตเตอรี่ภายใต้การทำงานทุกเงื่อนไข

- มีค่าพิกัดเพื่อป้องกันสายไฟฟ้าในระบบแบตเตอรี่

- อาจใช้ HRC Fuse หรือ Circuit Breaker ประเภทต่าง ๆ ตามความเหมาะสม

- ถ้าระบบแบตเตอรี่มีอุปกรณ์ป้องกัน (เช่น ใน BMS) ที่สามารถป้องกันกระแสเกินได้ อาจไม่ต้องติดอุปกรณ์ป้องกันเพิ่มถ้า

- มี circuit breaker หรือ HRC fuse ที่พร้อมใช้งาน

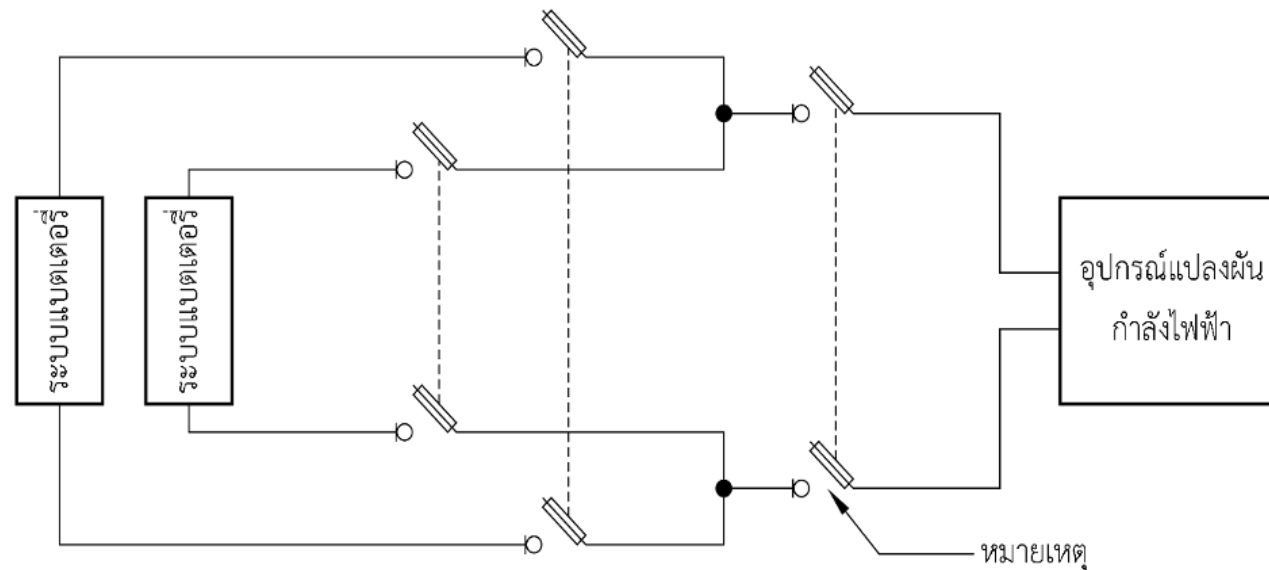
- ผู้ผลิตอนุญาตให้ใช้ในการป้องกันที่สายไฟขาออกได้ และ

- สายไฟขาออกสามารถทนกระแสได้มากกว่าพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันนั้น

IV. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

• BESS ที่มีระบบแบตเตอรี่ต่อขนานกัน

- ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันแยกสำหรับแต่ละระบบ
- สายไฟที่ออกจากระบบแบตเตอรี่แต่ละระบบไปยังจุดเชื่อมต่อ (เช่น PCE หรือ ตู้/กล่องรวมสาย) ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน



หมายเหตุ : ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินที่สายที่ต่อกับอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า
เมื่อสายมีขนาดทนกระแสต่ำกว่าผลรวมของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินของระบบแบตเตอรี่แต่ละตัว

IV. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

• การปลดวงจรระบบแบตเตอรี่ (Isolation of Battery System)

- ระบบแบตเตอรี่ทุกระบบต้องสามารถปลดวงจรออกจากอุปกรณ์อื่น ๆ (เช่น PCE) ได้อย่างปลอดภัย ขาออก
- อุปกรณ์ปลดวงจรต้องทำงานพร้อมกันในทุกตัวนำ
- อุปกรณ์ปลดวงจรต้องสามารถตัดวงจรขณะจ่ายไฟฟ้าได้ (Load Breaking)
- ถ้าระบบแบตเตอรี่มีอุปกรณ์ปลดวงจรภายใน อาจไม่ต้องใช้อุปกรณ์ปลดวงจรเพิ่มถ้าอุปกรณ์นั้นสามารถทำงานได้เช่นเดียวกับอุปกรณ์ภายนอก
- ต้องติดตั้งอุปกรณ์ปลดวงจรในระยะที่มองเห็น (In Sight) จากตัว

ตัวอย่าง : ถ้าระบบแบตเตอรี่มี BMS ที่สามารถทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกินและปลดวงจรได้อย่างปลอดภัยแล้วตามข้อกำหนดที่กล่าวมาแล้ว ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันภายนอกเพิ่มเติม

IV. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

• สวิตช์ปลดวงจร (Switch Disconnect)

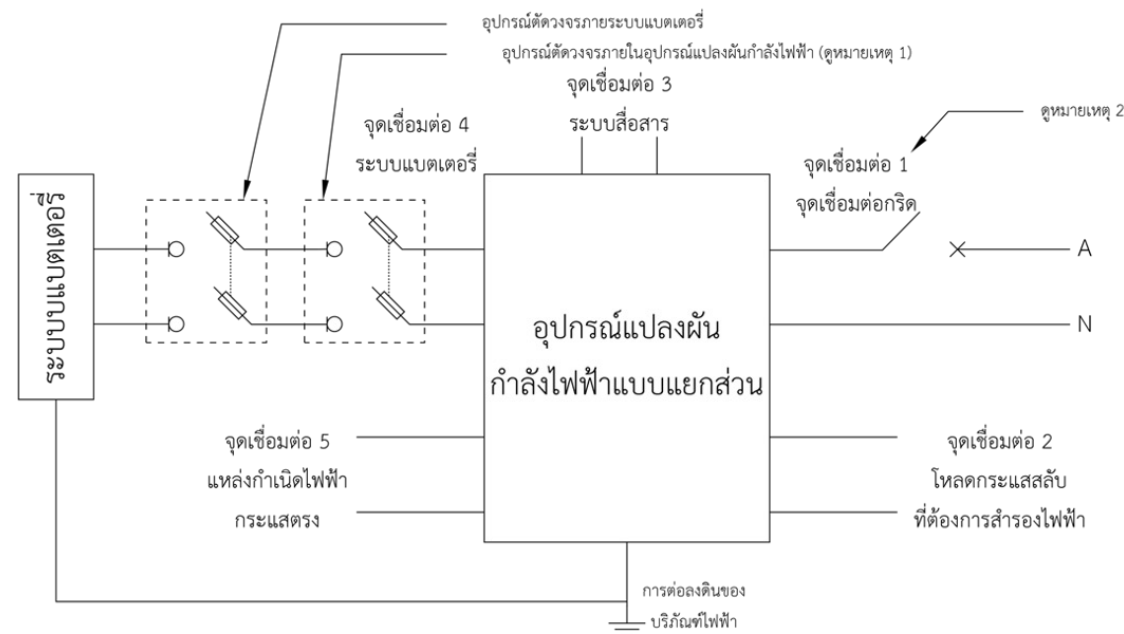
- เป็นไปตามข้อกำหนดการปลดวงจรสำหรับอุปกรณ์ปลดวงจร
- มี Utilisation Category อย่างน้อย DC21B
- ตัวตัดวงจรที่ใช้ในอาคาร
- ติดตั้งในสิ่งห่อหุ้มที่มีระดับการป้องกันอย่างน้อย IP23
- ตัวตัดวงจรที่ใช้กลางแจ้ง
- ติดตั้งในสิ่งห่อหุ้มที่มีระดับการป้องกันอย่างน้อย IP56 และมีพิกัดเหมาะสมสำหรับอุณหภูมิ

40 องศาเซลเซียส

IV. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

• การต่อลงดินสำหรับระบบแบตเตอรี่

- ระบบแบตเตอรี่แบบลอย (Floating Battery System) และอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าก็บวจรใช้งาน
- ไม่จำเป็นต้องมีการต่อสายดินเพิ่มเติม ยกเว้นการตรวจวัดความผิดปกติของดิน (earth fault monitoring)
- ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าสำหรับระบบแบตเตอรี่ต้องสามารถทนกระแสลัดวงจรของแบตเตอรี่ได้และต้องเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ วสท.



หมายเหตุ

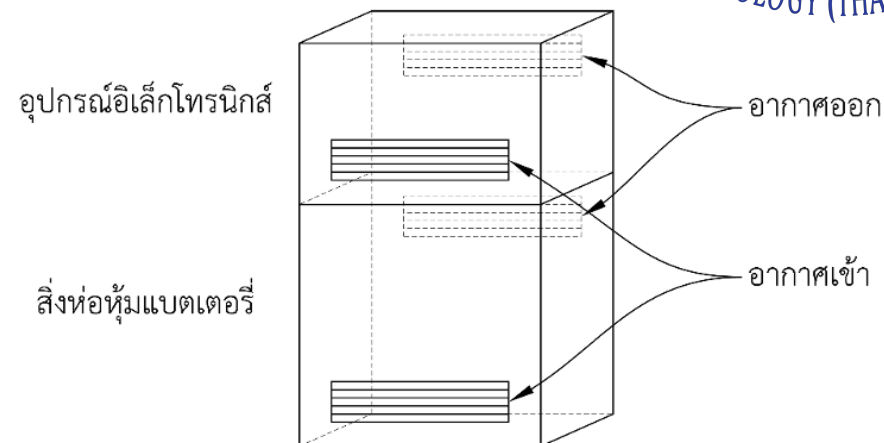
1. จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตัดวงจรของอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า ถ้าอุปกรณ์ตัดวงจรของระบบแบตเตอรี่ไม่ได้อยู่ใกล้เคียง
2. จุดเชื่อมต่อที่ 1 ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับกริด สามารถใช้เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้

IV. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

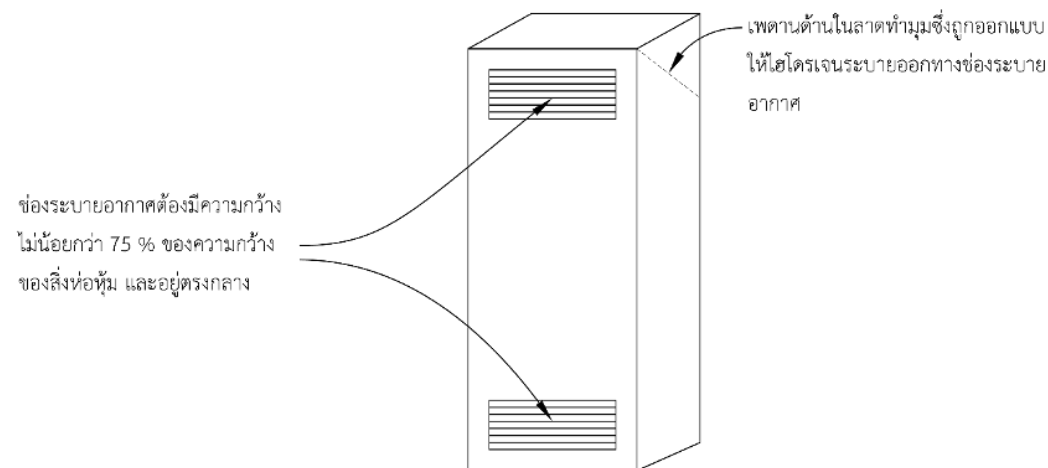
• การป้องกันภัยจากแก๊สระเบิด

- อันตรายจากแก๊สระเบิดทุกชนิดจะปล่อยแก๊สไฮโดรเจนและออกซิเจน ในระหว่างการชาร์จด้วยกระแสสูง ๆ
- ติดตั้งระบบระบายอากาศ
- แบบธรรมชาติ (Conventional Ventilation)
- แบบเครื่องระบายอากาศทางกล (Mechanical Ventilation)

PEC
PEC TECHNOLOGY (THAILAND) CO., LTD.



ตัวอย่างสิ่งก่อหุ้มระบบแบตเตอรี่ที่มีช่องระบายอากาศเข้าและออกตรงข้ามกัน



ตัวอย่างสิ่งก่อหุ้มระบบแบตเตอรี่ที่มีช่องระบายอากาศเข้าและออกด้านเดียวกัน

Appendix : B

เทคโนโลยีแบตเตอรี่ทางเลือก

(Alternative Battery
Technologies)

PECTEC

II. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัยและการใช้งาน

- เทคโนโลยีแบตเตอรี่ทางเลือก (Alternative Battery Technologies)

- **Metal ions (Me-ion)**

- Sodium-ion batteries (SIBs)
 - Sodium Ion Salt Water Batteries (SIBs Salt)
 - Magnesium-ion batteries (MIBs)
 - Zinc-ion batteries (ZIBs)
 - Aluminium-ion batteries (AIBs)

- Lithium-sulfur (Li-S)

- Sodium-sulfur room temperature (Na-S RT)
 - Sodium-sulfur high temperature (Na-S HT)

- **Metal-air (Me-air)**

- Lithium-air (Li-air)
 - Zinc-air (Zn-air)

- **Redox flow batteries (RFBs)**

- **Metal-sulfur (Me-S)**

II. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัยและการใช้งาน

- เทคโนโลยีแบตเตอรี่ทางเลือก (Alternative battery Technologies)

		Today & Short term	2025	Medium-/long term	2035	Vision
Me-ion	LIB	200–300 Wh/kg, 600–750 Wh/l 90–175 €/kWh		Continuous improvement	320–360 Wh/kg, 800–960 Wh/l 45–90 €/kWh	
	SIB	140–160 Wh/kg, 250–300 Wh/l 80–120 €/kWh		Optimizing material combinations	> 200 Wh/kg, > 400 Wh/l < 40 €/kWh	
	SIB–Salt	< 150 Wh/kg, 10–25 Wh/l 700–1000 €/kWh*		Increasing operating voltage and reducing costs	< 200 €/kWh*	
	MIB	50–150 Wh/kg, 150–300 Wh/l		Stable cathode-electrolyte combination	> 300 Wh/kg, > 400 Wh/l < 40 €/kWh	
	ZIB	30–60 Wh/kg, 40–100 Wh/l		Stability of electrodes and electrolyte	50–120 Wh/kg, 80–200 Wh/l	
	AIB	30–35 Wh/kg, 35–50 Wh/l, but 9,000 W/kg and > 20,000 cycles		Highly corrosive electrolyte	45–50 Wh/kg, 45–80 Wh/l, but > 10,000 W/kg and > 50,000 cycles; 10–20 % cost saving compared to LIBs	
Me-S	Li-S	> 300 Wh/kg, 300–450 Wh/l		Cycling stability and power density	550 Wh/kg, 700 Wh/l 50 €/kWh	
	Na-S RT	> 300 Wh/kg		Multiple challenges especially on cathode and anode side	> 350 Wh/kg	
	Na-S HT	180–268 Wh/kg, 300–414 Wh/l, long calendar and cycle lives 300–450 €/kWh*		Cost reduction and safety improvements	220–300 Wh/kg, 320–440 Wh/l, long calendar and cycle lives < 300 €/kWh*	
Me-air	Li-air	<= 500 Wh/kg, but with a very low cycling stability		Safety, energy efficiency, unhealthy side reactions	theoretical: 3500 Wh/kg practical: 1230 Wh/kg	
	Zn-air	100–200 Wh/kg, only flow design with pot. high cycling stability 100–150 €/kWh		No stable planar cell design, low power performance	200–300 Wh/kg, 2000–14000 cycles 10–100 €/kWh	
V-RFB		22–30 Wh/kg, > 10 000 cycles, 20 years calendar life		Improved operational temperature and automated cell stacking	> 35 Wh/kg, > 10 000 cycles, 20 years calendar life	

* Cost on system level

เทคโนโลยีแบตเตอรี่ทางเลือกที่ชัดเจนอันที่จะกลายเป็นความจริงได้ ซึ่งพิจารณาจากวัสดุที่มีอยู่มาก มีราคาที่สามารถเข้าถึงได้ และไม่มีพิษ มีศักยภาพในการบรรเทาปัญหาเรื่องความพร้อมที่เหมาะสมในการใช้งานของวัสดุชนิดที่สำคัญและลดความเสี่ยงทางภูมิศาสตร์ในการพึ่งพาในเชิงการเมือง

Prof. Dr. Maximilian Fichtner,
Helmholtz Institute Ulm & Spokesman of
the POLIS Cluster of Excellence

III. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัยและการใช้งาน

• Sodium-ion batteries (SIBs)

Note: The total cost of CATL's first generation of cells is estimated at ~ 80 USD/kWh. Once higher scales are reached, this price may drop further to ~ 40 USD/kWh.

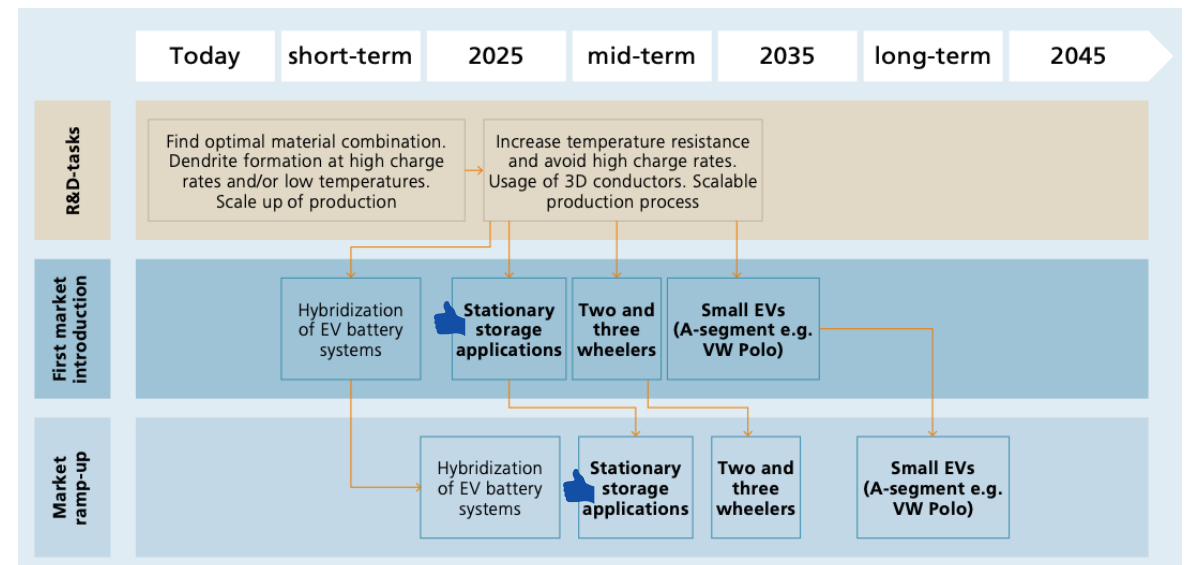
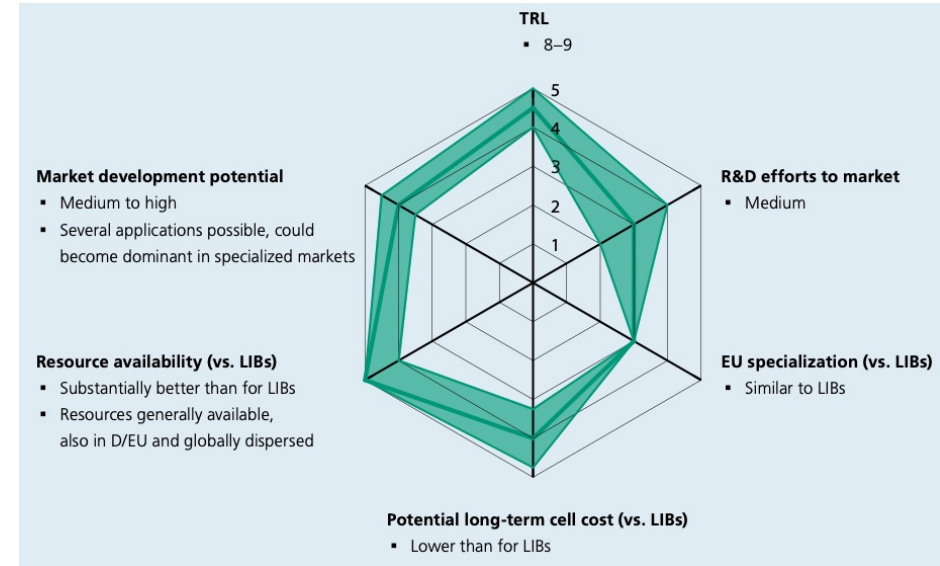
KPI*	Value (today)	Value (longterm)
Cell-level KPI	140–160 Wh/kg	> 200 Wh/kg
Vol. energy density	200–300 Wh/l	> 300 Wh/l
Power density	100–300 W/kg	> 300 W/kg
Cycle life	100–1,000 cycles	500–4,000 cycles
Calendar life	15 years	> 15 years
C-Rate	~ up to 4 C	> 4 C
Energy efficiency	> 90 %	> 95 %
Safety aspects	Thermally more stable than LIB 0 V cell discharge	

* Strongly depending on cell chemistry

เหมาะสำหรับ Standby Power application (UPS) ที่ไม่ต้องการ energy efficiency สูงมาก

SIB มีประสิทธิภาพดูลดลงเล็กน้อยกับ LIB และประสิทธิภาพไปกลับ/โดยมีค่ามากกว่า 90 % เทียบได้กับเซลล์ลิเทียมเหล็กฟอสเฟต (LFP) (97 %) และลิเทียมนิกเกิลเกิดแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC) (95 %)

การเลือกใช้อิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่ Na-ion มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความปลอดภัย เช่นเดียวกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน อิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่โซเดียมไอออนสามารถติดไฟได้ และการสลายตัวของอิเล็กโทรไลต์อาจทำให้เกิดก๊าซและ Thermal runaway นักวิจัยกำลังทำงานเพื่อพัฒนาอิเล็กโทรไลต์ที่เสถียรและไม่ติดไฟสำหรับแบตเตอรี่ Na-ion



III. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัยและการใช้งาน

• Sodium-Ion Saltwater Batteries

Table 5: Estimated KPIs of saltwater* SIBs today and in the long-term future

KPI	Value (today)	Value (longterm)
Cell-level KPI	< 150 Wh/kg	> 400 Wh/kg
Vol. energy density	12–24 Wh/l	100 Wh/l
Cycle life	> 3,000 cycles	> 10,000 cycles
Calendar life	10 years	> 10 years
C-Rate	~ 0.25C (0.1–1C)	> 1C
Energy efficiency	75–98 %	> 98 %
Safety aspects	Water based, thus lower risk of thermal runaway	

*Saltwater battery, KPIs on battery level

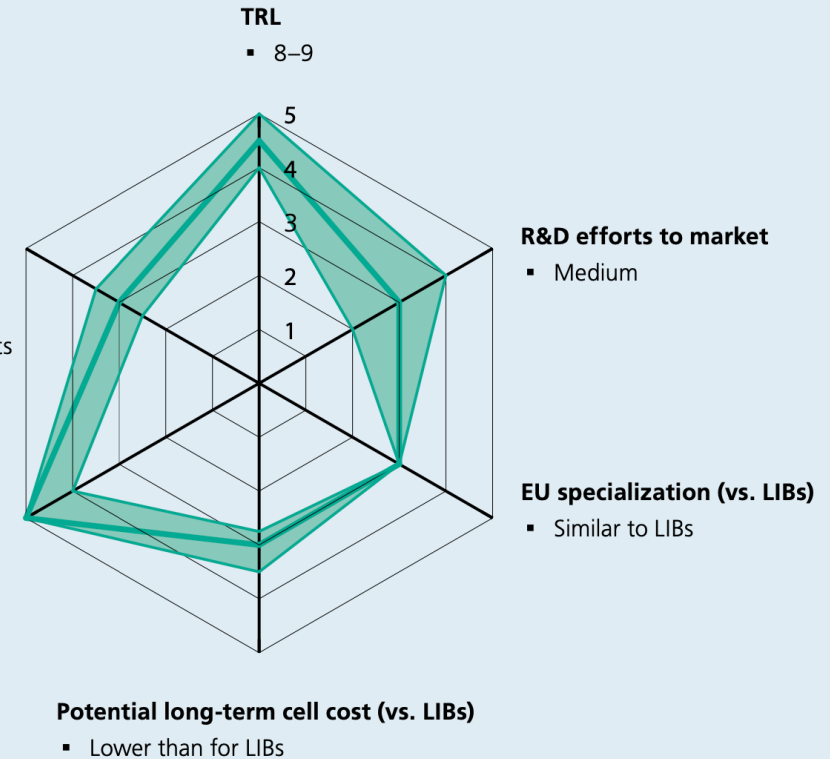
มีความปลอดภัยสูงเนื่องจาก electrolyte มีน้ำเป็นตัวทำละลายเกลือ

Market development potential

- Medium to high
- Several applications possible, could become dominant in specialized markets

Resource availability (vs. LIBs)

- Substantially better than for LIBs
- Resources generally available, also in D/EU and globally dispersed

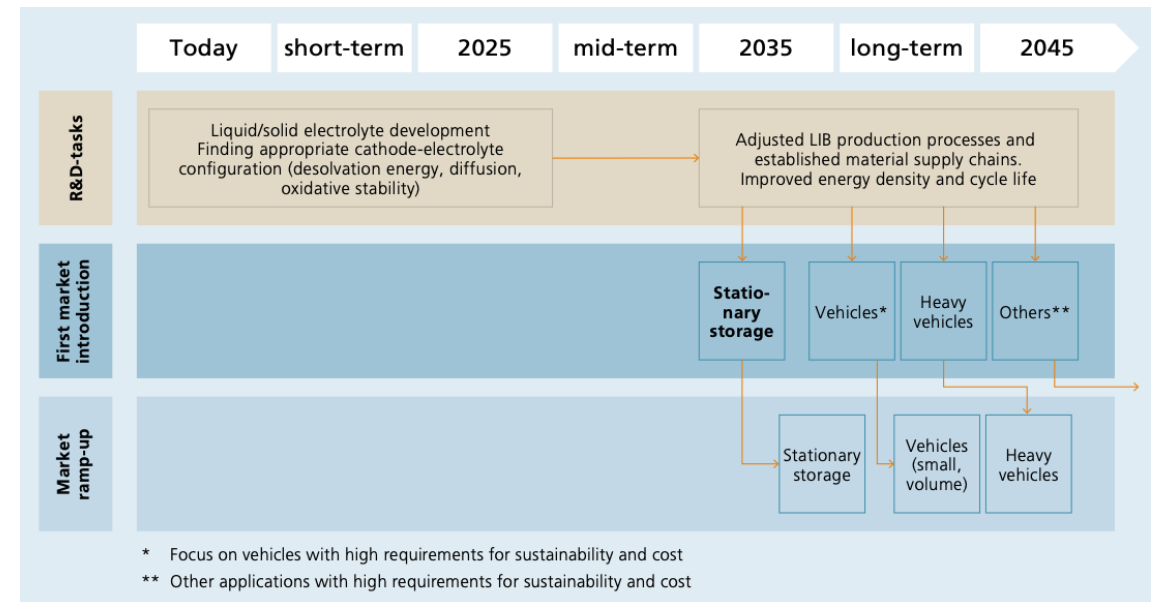
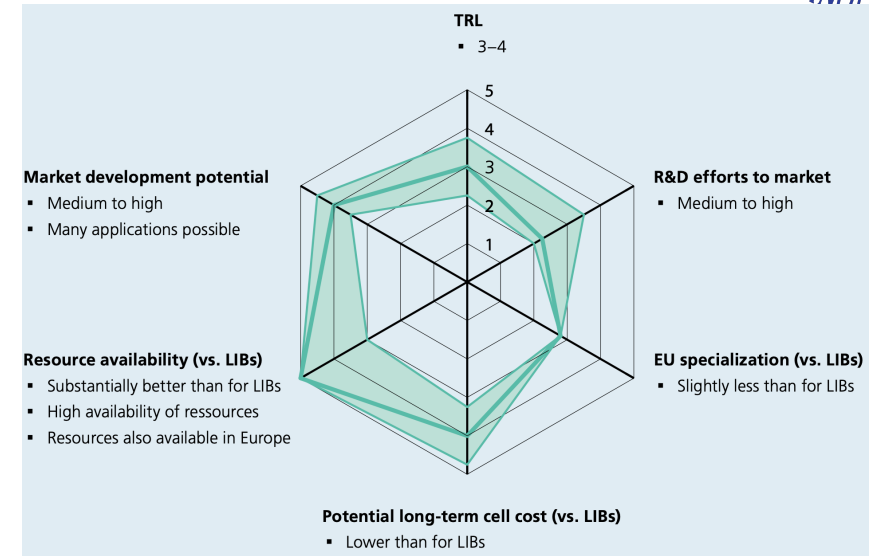


* A more detailed description of the dimensions and levels can be found in the Appendix.

III. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัยและการใช้งาน

• Magnesium-Ion Batteries

KPI	Value (today)	Value (longterm)
Cell-level KPI	50–150 Wh/kg	300–600 Wh/kg
Vol. energy density	150–300 Wh/l	400–750 Wh/l
Power density	~ LIB	> LIB
Power per electrode area	~ LIB	> LIB
Cycle life	150–750 cycles	>> 1,000 cycles
Calendar life	LIB level	LIB level
C-Rate	LIB level	LIB level
Energy efficiency	unknown	unknown
Safety aspects	unknown	unknown



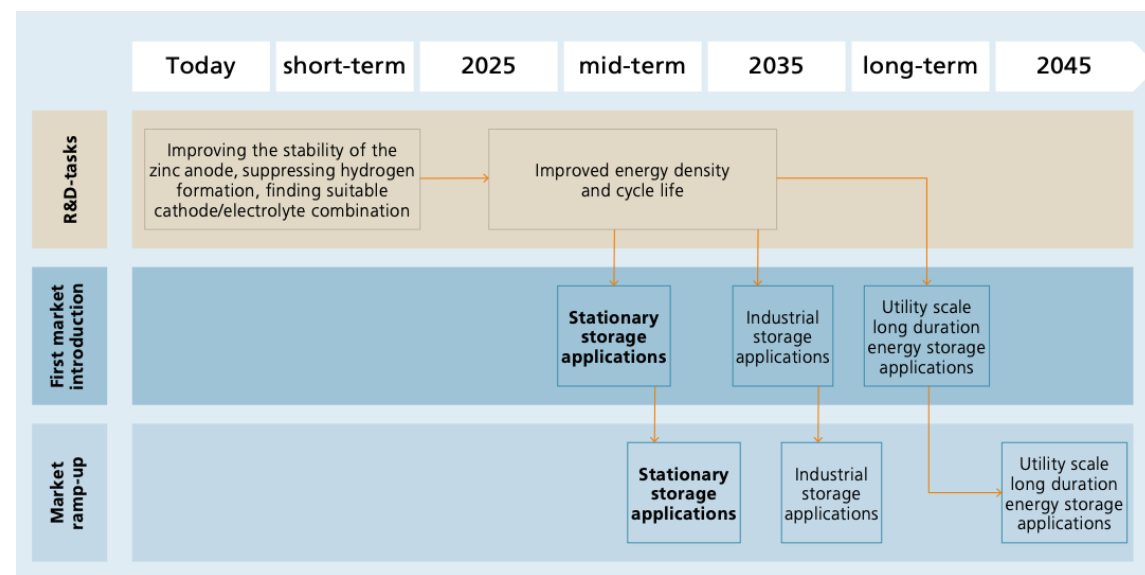
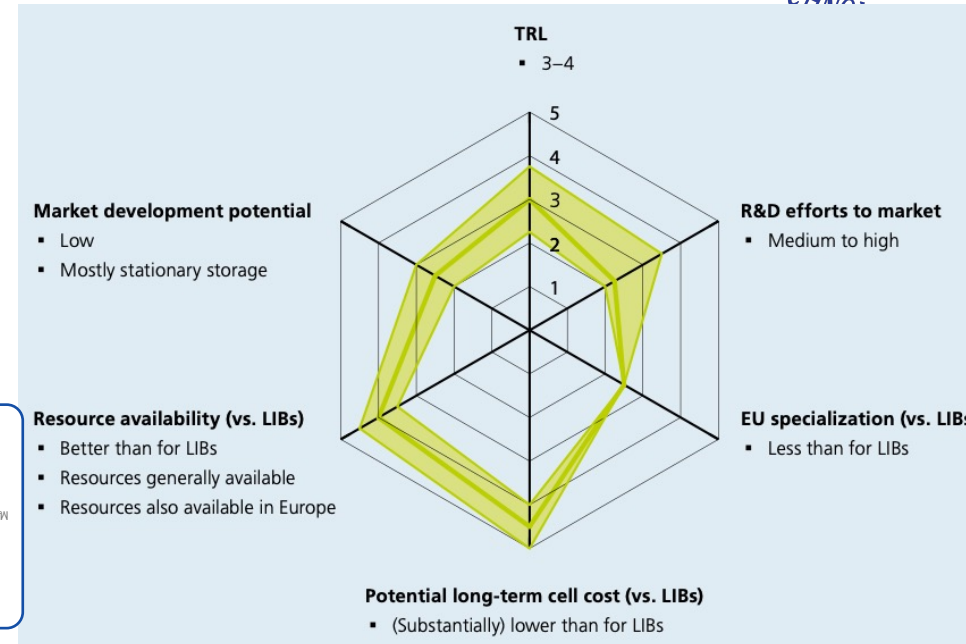
III. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัยและการใช้งาน

• Zinc-Ion Batteries (ZIB)

KPI	Value (today) on lab-scale (coin cell)*	Value (longterm) on, e.g., pouch/prismatic/round cell*
Cell-level KPI	30–60 Wh/kg	50–120 Wh/kg
Vol. energy density	40–100 Wh/l	80–200 Wh/l
Power density	10–100 W/kg	30–150 W/kg
Power per electrode area	2–35 W/m ²	15–100 W/m ²
Cycle life	600–800 cycles	300–3,000 cycles
Calendar life		
C-Rate	0.05–1C	0.2–5C
Energy efficiency	> 80 % [80–82]	80–90 %
Safety aspects	High safety due to water-based electrolyte (non-flammable)	High safety due to water-based electrolyte (non-flammable)

มีความปลอดภัยสูงเนื่องจาก electrolyte มีน้ำเป็นตัวทำละลายเกลือ (water-based electrolyte)

เหมาะสำหรับ Standby Power application เนื่องจาก C-rate สูง และไม่ต้องการประสิทธิภาพสูงในการกักเก็บพลังงานเนื่องจากใช้งานในคุณสมบัติของกำลังไฟฟ้า



III. คุณสมบัติของแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในด้านความปลอดภัยระบบ

Material Base			Safety aspects
	LIB	Lithium-ion battery (LFP , LMO, NCM, LCO NCA)	Due to organic solvent of electrolyte, thermal runaway can be triggered by factors like overcharging, over discharging, short circuits, physical damage, or manufacturing defects.
Me-ion	SIB	Sodium-ion Batteries	Thermally more stable than Lithium-Ion Battery & 0 V cell discharge
	SIB – Salt	Sodium-Ion Saltwater Batteries	Water based, thus lower risk of thermal runaway *Saltwater battery, KPIs on battery level
	MIB	Magnesium-Ion Batteries	แมกนีเซียมเป็นสารไวไฟสูง ซึ่งเป็นข้อกังวลในเรื่องความปลอดภัยของแบตเตอรี่ ความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้หรือการระเบิดได้
	ZIB	Zinc-Ion Batteries	High safety due to water-based electrolyte (non-flammable)
	AIB	Aluminum-Ion Batteries	Flammable electrolyte
Me-S	Li-S	Lithium-Sulfur Batteries	Flammable electrolyte
	Na-S RT	Sodium-Sulfur Room Temperature Batteries	Flammable electrolyte
	Na-S HT	Sodium-Sulfur High Temperature Batteries	Flammable electrolyte
Me-air	Li-air	Lithium-Air Batteries	Flammable electrolyte
	Zn-air	Zinc-Air Batteries	Flammable electrolyte
	V-RFB	Redox Flow Batteries	Flammable electrolyte

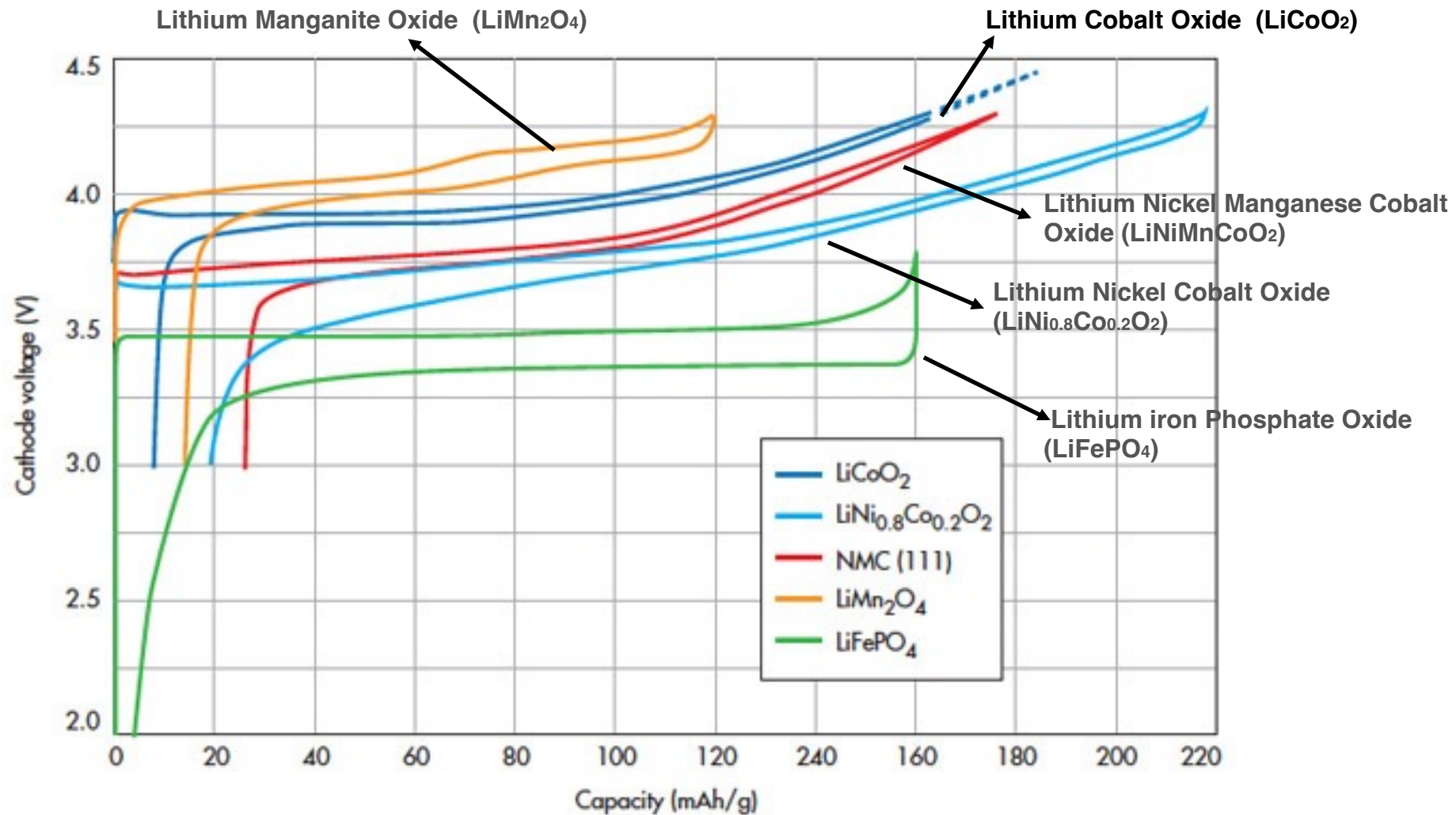
KPI: Key performance indicator

Appendix : C

Lithium-ion Battery Technical data

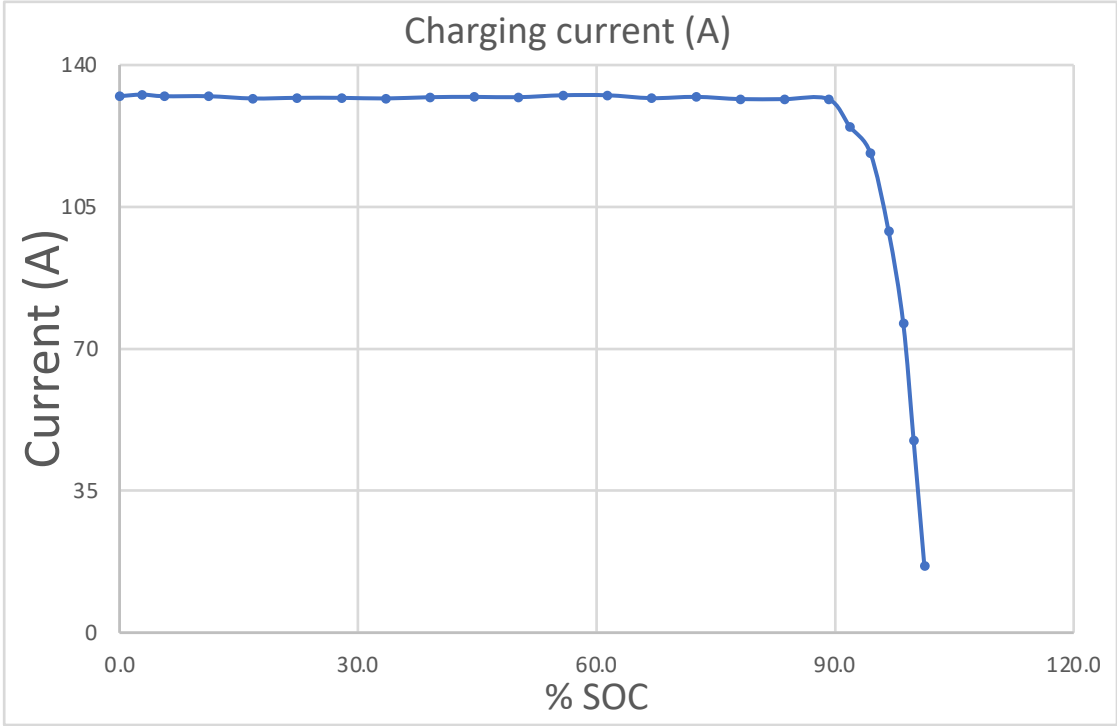
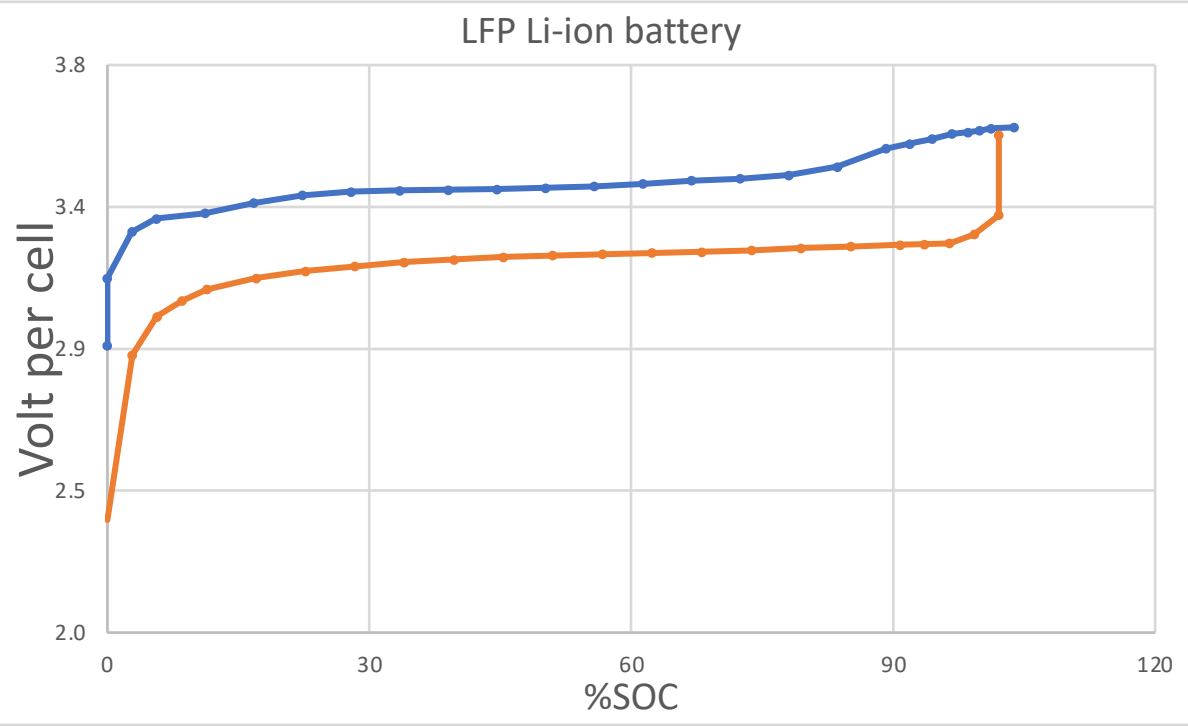
PECTEC

Different types of Lithium-ion battery Voltage profile



Charging characteristic of Lithium Ion

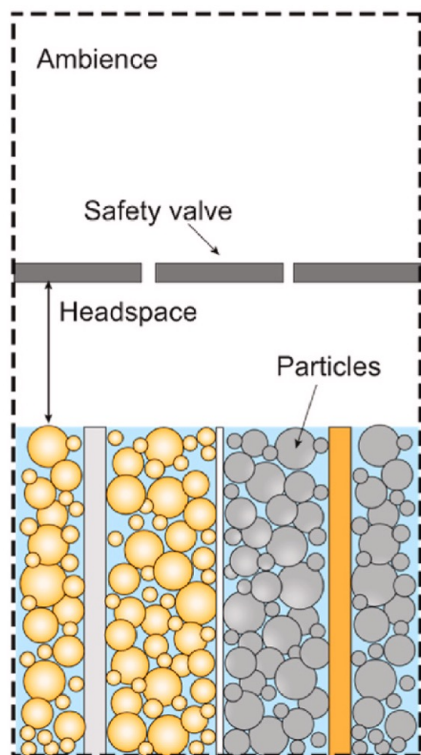
Charge/Discharge profile of LFP Battery



Appendix D

ชนวนการเกิดก๊าซของ
electrolyte ใน Lithium-
Ion battery

ขนาดการเกิดก๊าซของ electrolyte ใน Lithium-Ion battery



Stage I

ระยะ I : แบตเตอรี่อยู่ในสถานะเริ่มต้น electrolyte และวาล์วนิรภัยยังคงอยู่

Stage II

Stage III

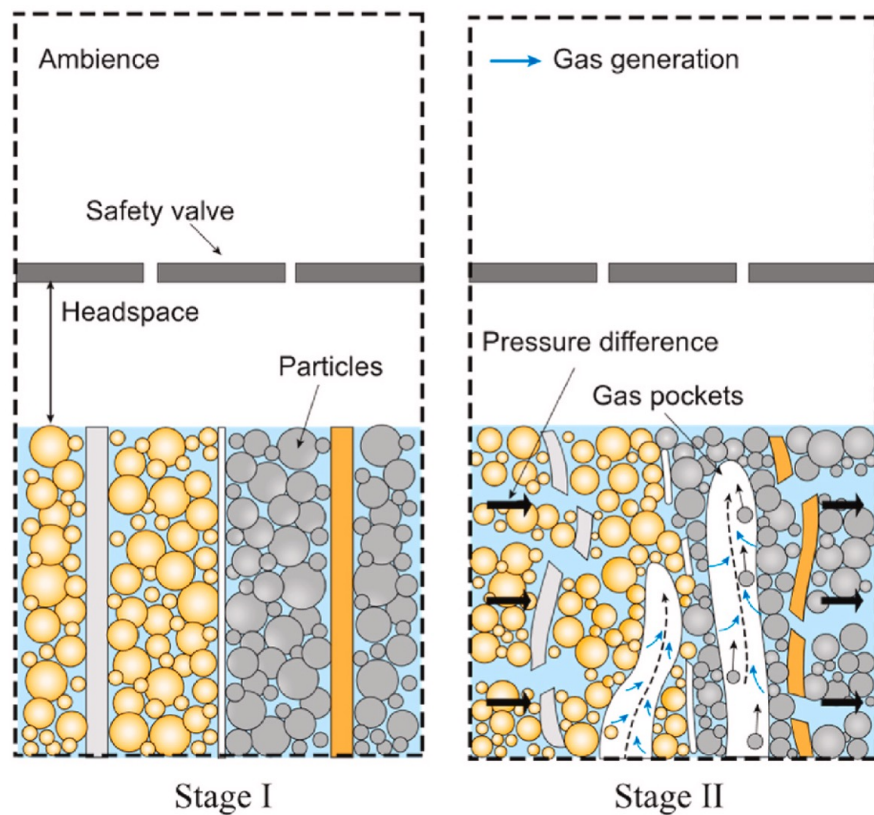
Stage IV

ชิ้นส่วนของวัสดุเล็กโตรดออกจากเยลลี่โรลแล้วถูกขับออกมาในรูปของอนุภาคได้อย่างไร ดังแสดงในรูป กระบวนการทั้งหมดสามารถแบ่งออกเป็นสี่ขั้นตอน

การกักกันของอนุภาคที่เป็นของแข็ง

นอกจากไอระเหยของอิเล็กโตรไลต์และก๊าซที่เกิดขึ้นแล้ว อนุภาคของแข็งยังเป็นองค์ประกอบหลักที่ปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่ TR แผนภาพตามการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ของเซลล์ TR ที่รายงานโดย Finegan และคณะ

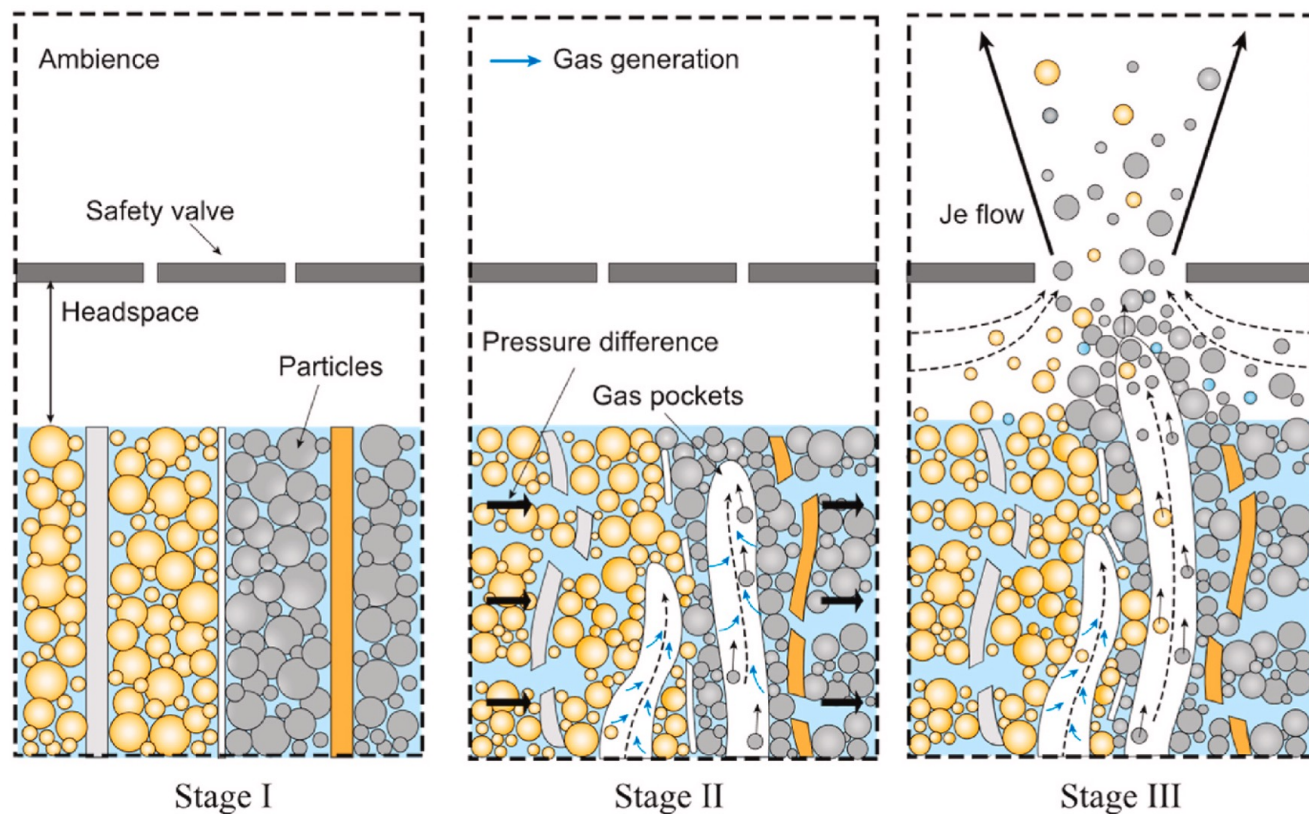
ขนาดการเกิดก๊าซของ electrolyte ใน Lithium-Ion battery



- ขั้นที่ 2: ปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยความร้อนจะปล่อยก๊าซจำนวนมากออกมาเป็นอุณหภูมิของเซลล์สูงขึ้น

การกักกันของอนุภาคที่เป็นของแข็ง
นอกจากไอระเหยของอิเล็กโทรไลต์และก๊าซที่เกิดขึ้นแล้ว อนุภาคของแข็งยังเป็นองค์ประกอบหลักที่ปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่ TR แผนภาพตาม
การถ่ายภาพเอ็กซ์เรย์ของเซลล์ TR ที่รายงานโดย Finegan และคณะ

ชวนการเกิดก๊าซของ electrolyte ใน Lithium-Ion battery



ขั้นที่ 3: วัสดุอิเล็กโทรดที่กระจายจะเกิดการเคลื่อนที่ของกระเปาะแก๊ส เมื่อช่องแก๊สเข้าใกล้อินเทอร์เฟซ

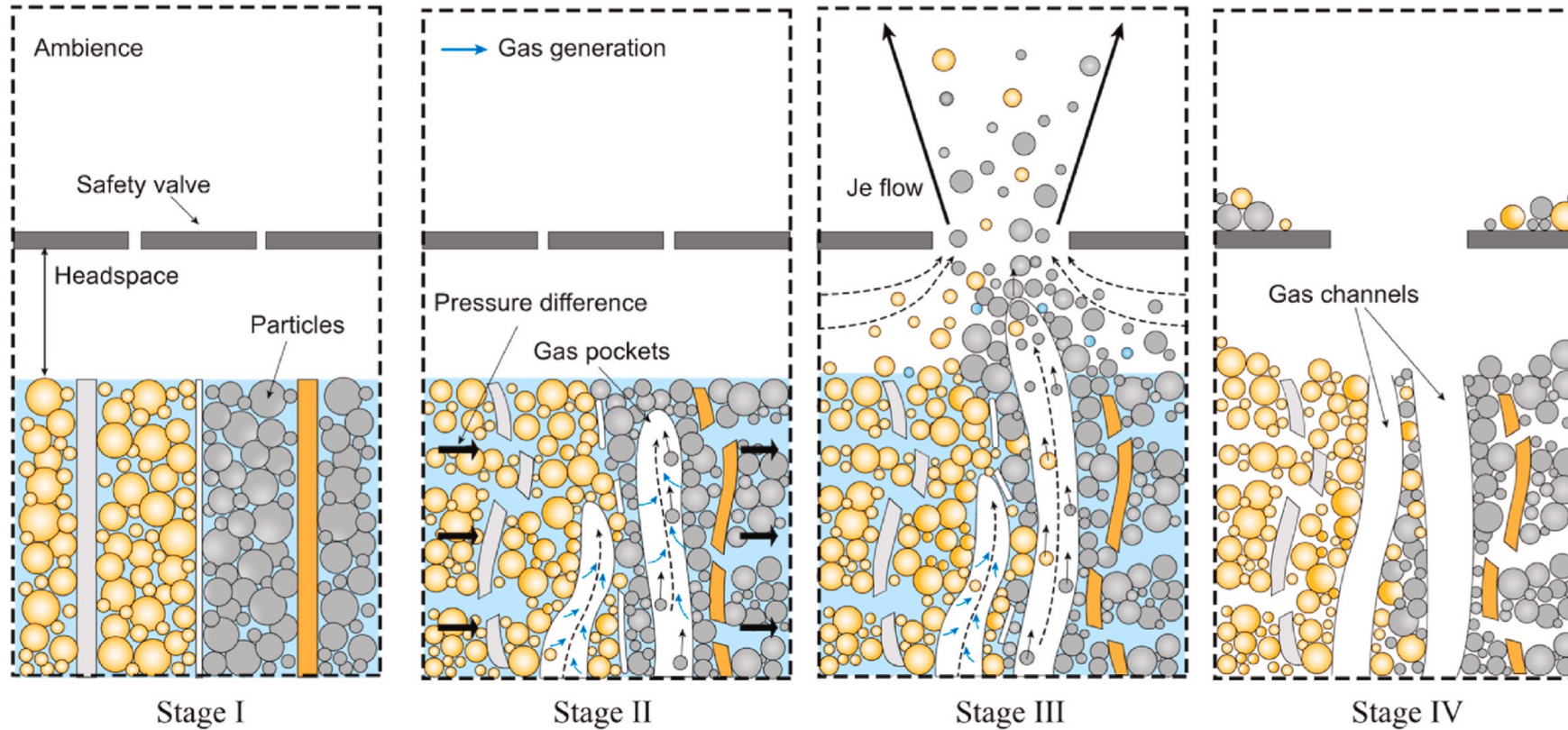
อนุภาคบางส่วนสามารถล้าเลียงออกมาจากภายในได้ electrolyte ไปที่เฮดสเปซ มีอนุภาคบางส่วนอยู่ใกล้ช่องก๊าซ ก็จะเคลื่อนตัวขึ้นผ่านช่องทางที่ถูกลากตามการไหลของก๊าซจนกระทั่งพวกมันจะถูกดีดออกสู่พื้นที่ว่าง เมื่ออนุภาคที่ไหลออกมาเข้ามาใกล้เซฟตี้วาล์วก็จะเร่งความเร็วขึ้นเนื่องจาก เพิ่มโมเมนตัมที่หัวฉีดแล้วพุ่งเข้าใส่

สภาพภายนอกเซลล์

การกักกันของอนุภาคที่เป็นของแข็ง

นอกจากไอระเหยของอิเล็กโทรไลต์และก๊าซที่เกิดขึ้นแล้ว อนุภาคของแข็งยังเป็นองค์ประกอบหลักที่ปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่ TR แผนภาพตามการถ่ายภาพเอ็กซ์เรย์ของเซลล์ TR ที่รายงานโดย Finegan และคณะ

ขั้นตอนการเกิดก๊าซของ electrolyte ใน Lithium-Ion battery



ขั้นที่ 4: การปล่อยอนุภาคออกจากช่องก๊าซหลายช่องทางตามรูป
ไปยังกระเปาะซึ่งอธิบายการล่มสลายในโครงสร้างของ Electrolyte ภายในเซลล์