PECTEC

PEC Technology (Thailand) Co., Ltd.

การป้องกันอันตรายจาก Thermal runaway ในแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

(Prevention hazards from Thermal runaway in energy storage batteries)

PECTEC

การป้องกันอันตรายจาก Thermal runaway ในแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

(Prevention hazards from Thermal runaway in energy storage batteries)

หัวข้อในการบรรยาย

PECTEC

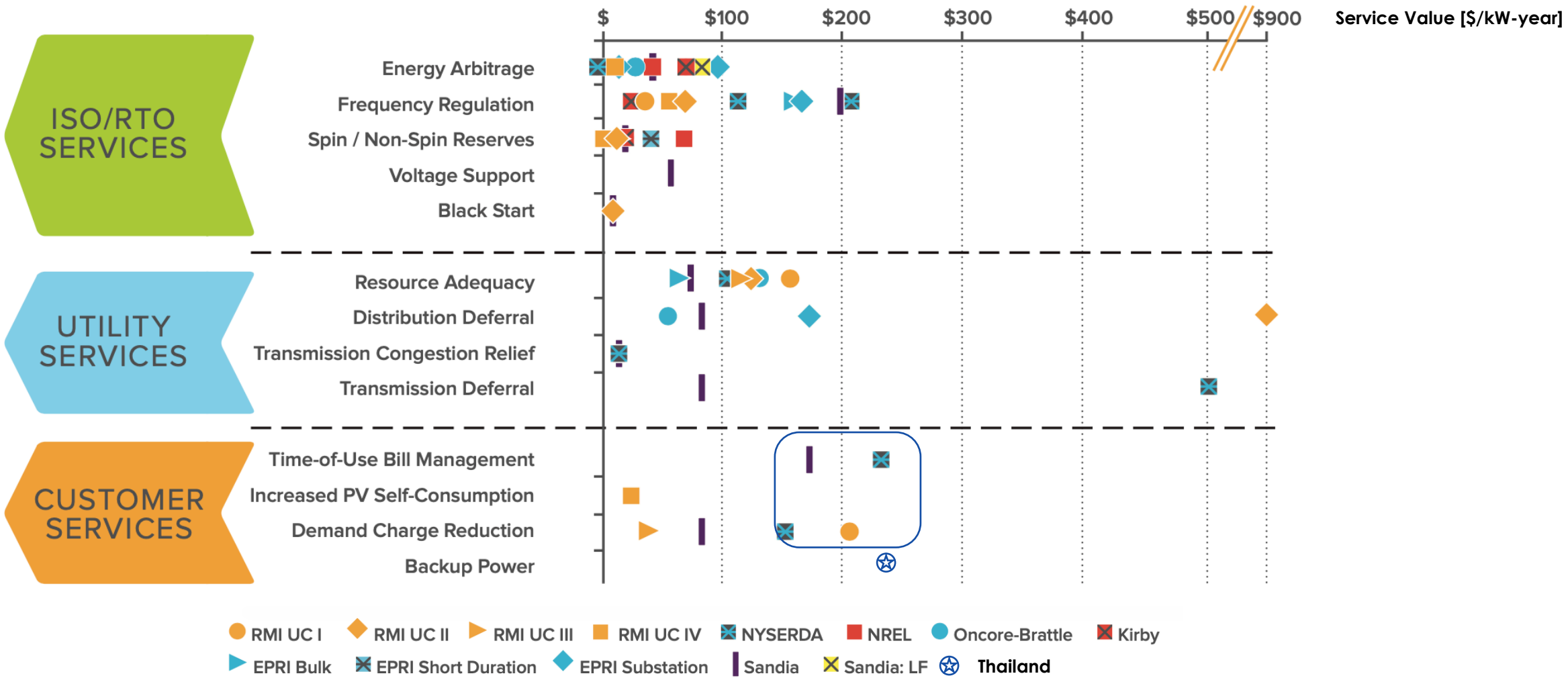
1. ความรู้เกี่ยวกับแบตเตอรี่ฯ ในระบบกักเก็บพลังงาน
    I. บทบาทของแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในระบบไฟฟ้า
    II. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัยและการใช้งาน
2. ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries
    I. การเกิดและการป้องกัน Thermal runaway ใน Lithium-ion batteries
3. คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้
        I. สำหรับภายในบ้านพักอาศัย และโรงงานอุตสาหกรรม
        II. สำหรับระบบกักเก็บพลังงานขนาดใหญ่
4. คำแนะนำสำหรับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

Part 1

ความรู้เกี่ยวกับแบตเตอรี่ฯ ในระบบกักเก็บพลังงาน

I. บทบาทของแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในระบบไฟฟ้า

PECTEC



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.

https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/03/RMI-TheEconomicsOfBatteryEnergyStorage-FullReport-FINAL.pdf

I. บทบาทฯ

PECTEC

Backup Power
สำรองไฟฟ้า เพื่อให้เกิด reliability & quality ของระบบไฟฟ้า เช่นในระบบ UPS

เพิ่มประโยชน์ให้กำลังการผลิตของโซล่าให้สามารถใช้งานในระบบภายในผู้ใช้ไฟฟ้าให้เพียงพอ และมีเสถียรภาพ

ลดค่า Demand Charge ของผู้ใช้ไฟฟ้า

Time of Use
บริหารเวลาในการใช้ไฟฟ้าให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำสุด

Distribution Deferral
ชลอการลงทุนในระบบ จำหน่ายไฟฟ้า

Transmission Deferral
ชลอการลงทุนในระบบ ส่งไฟฟ้า

การซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ใช้ไฟ

ช่วยให้โรงไฟฟ้ามีเสถียรภาพและปรับปรุงประสิทธิภาพโรงจักรฯ

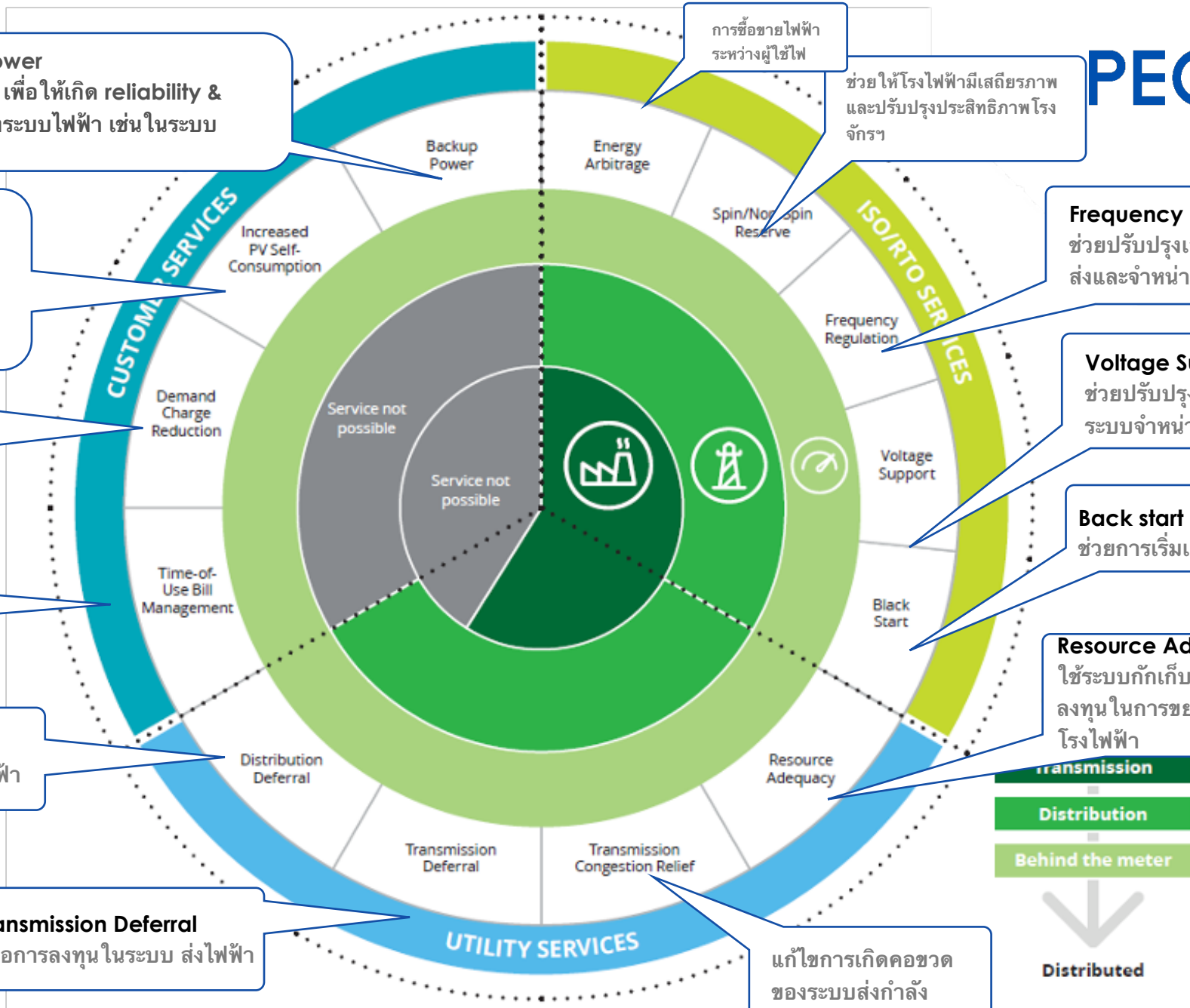
Frequency Regulation
ช่วยปรับปรุงเสถียรภาพของระบบส่งและจำหน่าย

Voltage Support
ช่วยปรับปรุงรักษาแรงดันไฟฟ้าระบบจำหน่าย

Back start
ช่วยการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Resource Adequacy
ใช้ระบบกักเก็บพลังงานทดแทนการลงทุนในการขยายกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า

แก้ไขการเกิดคอขวดของระบบส่งกำลังไฟฟ้า

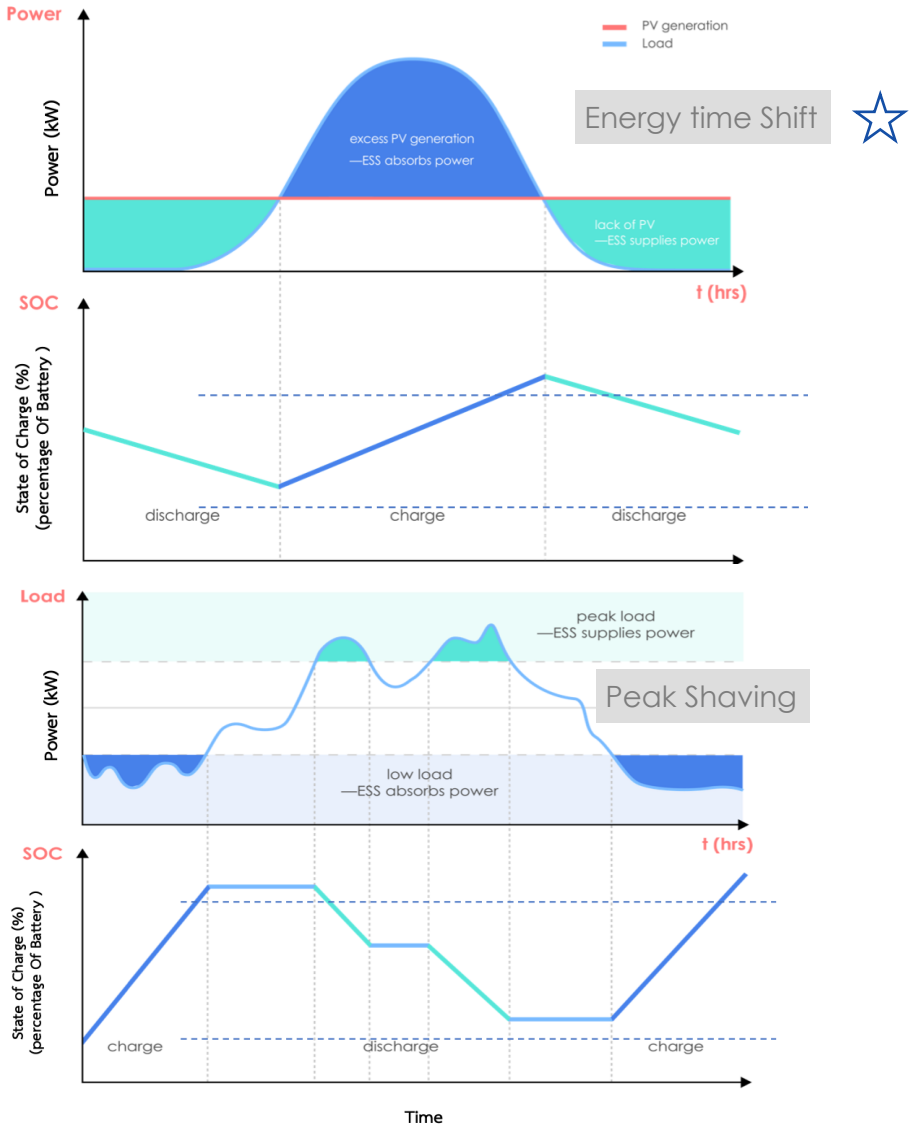


Source: Mandel and Morris, "The Economics of Battery Storage", Rocky Mountain Institute

I. บทบาทของแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในระบบไฟฟ้า

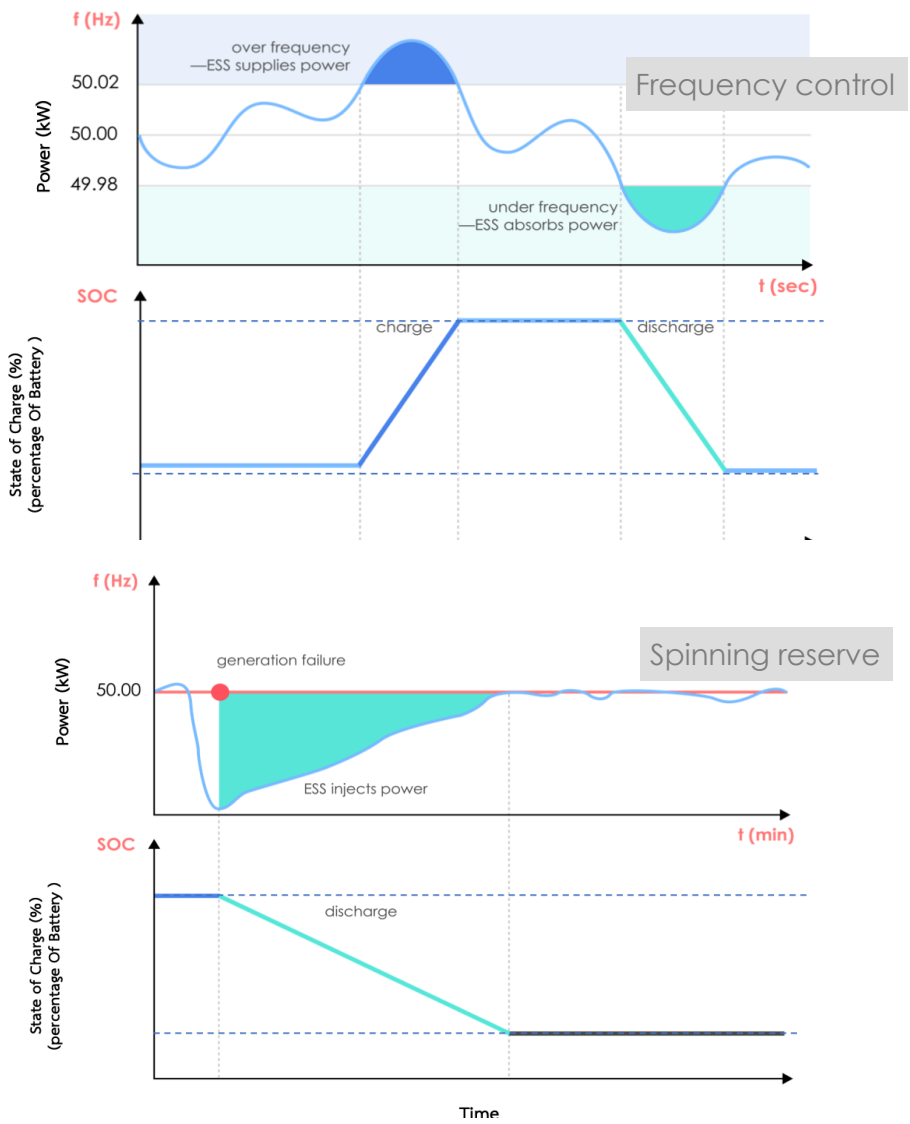
PECTEC

ตัวอย่างการประยุกต์การทำงานของแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานแต่ละประเภท



Energy time Shift ☆

Peak Shaving



Frequency control

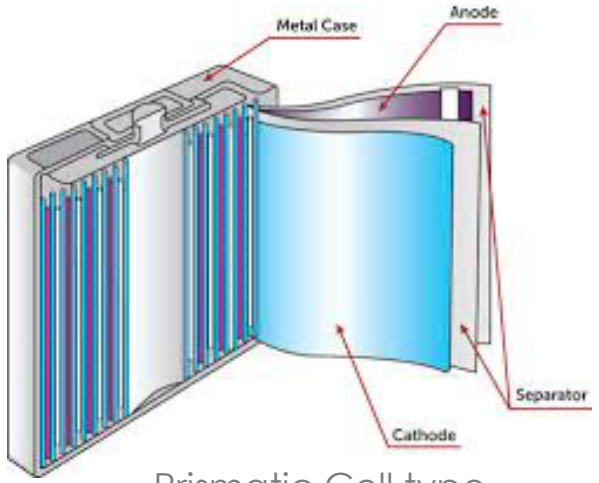
Spinning reserve

II. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัย

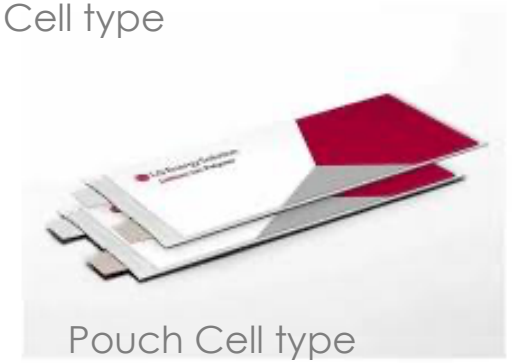
PECTEC

- **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)*** : เริ่มมีการพัฒนาเพื่อนำมาใช้งานจริง ที่น่าสนใจก็คือในเรื่องความปลอดภัยจากการเกิด Thermal runaway เพราะ electrolyte เป็นของแข็ง ที่ต่างจาก Lithium-ion battery เดิมที่ electrolyte เป็น flammable electrolyte คาดว่าในอีก ไม่เกิน 3-5 ปี
  - ***Lithium Sulphur battery***



Prismatic Cell type


Pouch Cell type

Cylindrical Cell type

II. ประเภทและคุณสมบัติของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานในมุมมองความปลอดภัย

PECTEC

- **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 เนื่องจาก 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**

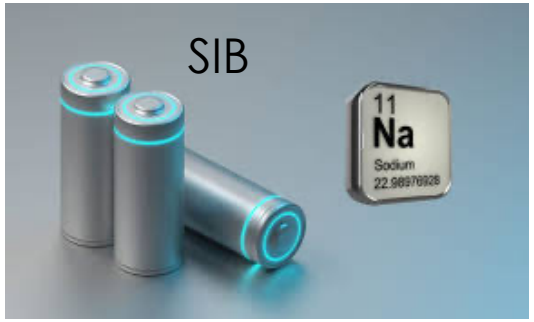
    - Vanadium Radix & Zinc Bromine : **มีความปลอดภัยสูงเมื่องจากไม่มีปฏิกิริยาการเกิดก๊าซในขบวนการ** (ยกเว้นถ้า Non-Vanadium เป็นไปได้ที่จะเกิด H2 ขึ้น)

PECTEC

- 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 (KOH + H_2O) และ ไม่เกิด O2 & H2 ในขณะที่ทำงานปกติ (แต่ต้องมีระบบ BMS เพื่อบริหารจัดการ ในการ charge และ discharge ร่วมด้วย)

  - **Nickel-Cadmium** : ใช้งานสำหรับ Standby application แต่ปัจจุบันได้ไม่นิยมใช้ เนื่องจาก Cadmium เป็นโลหะที่ส่งผมเสียต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง
- **Sodium-base**
  - NAS (Sodium Sulphur Battery Energy Storage)
  - Sodium-Ion Battery (SIB)



Sodium Sulphur Battery Energy Storage

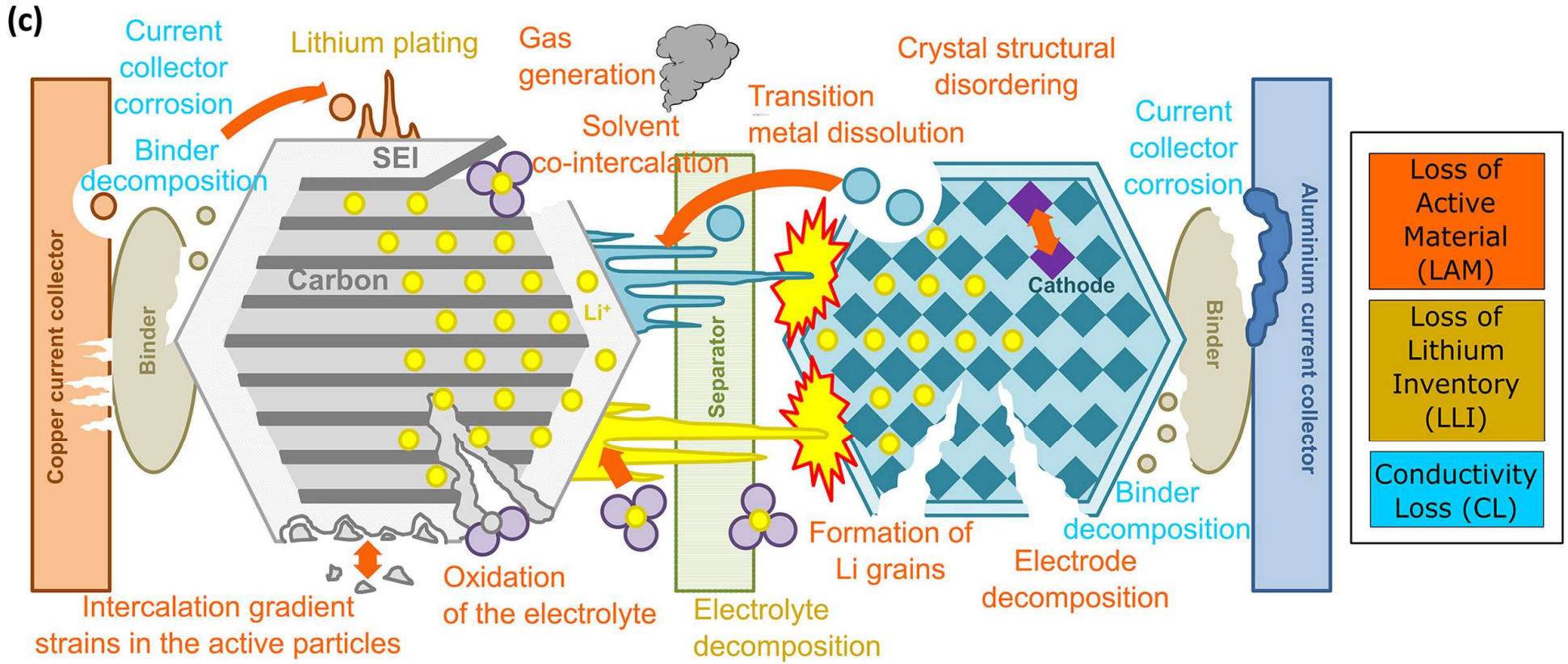
Part 2

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

III. ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

PECTEC

ภาพจำลองปัจจัยของการเสื่อมสภาพภายในของ Lithium-ion cell จากการใช้งาน



Degradation diagnostics for lithium ion cells
Christoph R. Birkl a, Matthew R. Roberts b, Euan McTurk b, c, Peter G. Bruce b, David A. Howey a,

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

PECTEC

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

<u>ปฏิกิริยาการสลายตัวของ *lithium Decomposition reactions*</u>

- การสลายของแบตเตอรี่ (Battery Decomposition) คือ กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อแบตเตอรี่มีการสังเคราะห์ทางเคมีหรือปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์ในสภาวะปกติหรือเมื่อตัวแบตเตอรี่ถูกใช้งานหรือชาร์จโดยไม่ถูกต้อง การสลายของแบตเตอรี่นี้อาจเป็นปัญหาสำคัญเนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแบตเตอรี่ ปรากฏการณ์นี้สามารถมีหลายสาเหตุและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น:
  - Overcharging หรือ Over discharging : การชาร์จและการดิสชาร์จแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟสูงเกินไปหรือชาร์จเกินเวลาอาจทำให้เกิดการสลายของวัสดุภายในแบตเตอรี่และสร้างสารที่ไม่พึงประสงค์
  - Overheating (ความร้อนเกินไป): การทำงานในสภาวะที่อุณหภูมิสูงเกินไปอาจส่งผลให้เกิดการสลายของวัสดุภายในแบตเตอรี่และการสร้างสารอื่นๆ ที่ไม่พึงประสงค์
  - Short-circuit : การลัดวงจรภายในภายในแบตเตอรี่สามารถเป็นสาเหตุให้เกิดความร้อนและการสลายของวัสดุ ซึ่งอาจทำให้เกิดการเผาไหม้ เราจึงมักเห็นแบตเตอรี่ที่ไม่มีการชาร์จและดิสชาร์จเกิดเพลิงไหม้ได้
  - Ageing (การเสื่อมสภาพ): แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานและจะเสื่อมสภาพตามเวลา การใช้งานแบตเตอรี่ในระยะเวลานานอาจทำให้เกิดการสลายของวัสดุภายในและลดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่
  - Impurities (สารตกค้าง): สารตกค้างในแบตเตอรี่อาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์และการสลายของวัสดุ นี่อาจเกิดจากสารตกค้างจากกระบวนการผลิตหรือการใช้งานแบตเตอรี่ ดังนี้ขบวนการผลิตจึงต้องมีการควบคุมความสะอาดในทุกขบวนการผลิต และ ตลอดจน Material supply chin (เช่น electrolyte, active material)

Degradation diagnostics for lithium ion cells
Christoph R. Birkl a, Matthew R. Roberts b, Euan McTurk b, c, Peter G. Bruce b, David A. Howey a,

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

PECTEC

- **การสูญเสียปริมาณ** Lithium **ภายในเซลล์** (Loss of lithium inventory, LLI)
  - <u>การเกิดตกตะกอนลิเทียมบนอิเลคโทรด (Electrode Lithium Plating)</u>

    Lithium plating **เกิดขึ้นในแบตเตอรี่** lithium-ion **เมื่อมีการตกตะกอนของลิเทียม** (lithium) **บนผิวของ** anode **ขณะที่แบตเตอรี่ถูกชาร์จ ปัจจัยที่สามารถทำให้เกิดการตกตะกอนลิเทียม** (lithium plating) **ได้รวมถึง:**
    - **การชาร์จเกิน** (Overcharging): **การชาร์จแบตเตอรี่** lithium-ion **โดยใช้กระแสไฟเกินไปหรือชาร์จเกินเวลาอาจทำให้เกิดการตกตะกอนลิเทียมบนผิวของอะนอด การตกตะกอนลิเทียมนี้สามารถทำให้เพิ่มขนาดและมวลของอะนอดได้ ซึ่งอาจเป็นปัญหาเนื่องจากสามารถทำให้แบตเตอรี่ที่ชาร์จเกินกว่าไปทำงานผิดปกติหรือเสียหายได้**
    - **อุณหภูมิที่ต่ำ: การใช้งานแบตเตอรี่ในสภาวะอุณหภูมิต่ำอาจสร้างเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนลิเทียม ลิเทียมมักมีความสมบูรณ์เมื่ออุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำให้มีความเสี่ยงในการตกตะกอนบนผิวของอะนอด**
    - **อัตรา** C-rate **สูง: การใช้งานแบตเตอรี่ในอัตรา** C-rate **สูงอาจทำให้เกิดการตกตะกอนลิเทียมเนื่องจากกระบวนการชาร์จและสะสมลิเทียมในอะนอดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อัตรา** C-rate **สูงอาจสร้างความดันและอุณหภูมิสูงในอะนอดซึ่งส่งผลให้เกิดการตกตะกอน**
    - **การใช้งานในสภาวะที่ไม่เหมาะสม: การใช้งานแบตเตอรี่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่นการใช้งานแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิต่ำหรือสภาวะที่ไม่ได้รับการควบคุมอาจเพิ่มความเสี่ยงในการตกตะกอนลิเทียม**

Degradation diagnostics for lithium ion cells
Christoph R. Birkl a, Matthew R. Roberts b, Euan McTurk b, c, Peter G. Bruce b, David A. Howey a,

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

PECTEC

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

หมายเหตุ : เหตุการดังกล่าวเป็นอุปสรรค์ในการแลกเปลี่ยนอิออนของลิเทียมระหว่างขั้วบวกและขั้วลบได้สะดวก ส่งผลให้ความจุลดลง

Reference: Christoph R. Birkl a, Matthew R. Roberts b, Euan McTurk b, c, Peter G. Bruce b, David A. Howey a, ; “Degradation diagnostics for lithium ion cells”

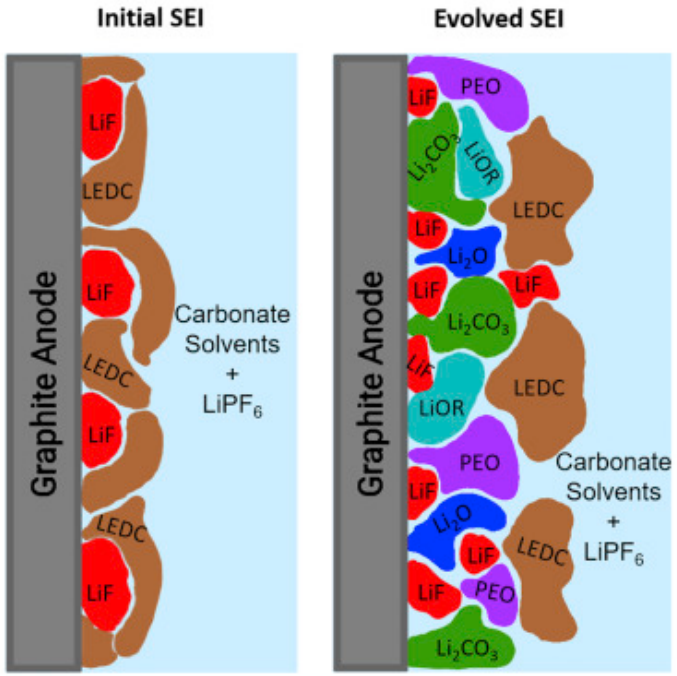
ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

PECTEC

- **<u>การก่อตัวขึ้นของ *Solid Electrolyte Interface (SEI)*</u>**

- 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 อายุลดลงครับ
  - SEI จะไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้ากับอิออนของลิเธียม จึงไม่เป็นประโยชน์ในการนำไฟฟ้าแต่อย่างใดและจะเป็นอุปสรรค์ในการนำไฟฟ้าของ electrolyte ด้วยหากมีปริมาณมากขึ้น

*การใช้งานแบตเตอรี่ในอัตรา C-rate สูงอาจทำให้เกิดการสร้างความร้อนมากขึ้นและเพิ่มความเร็วในกระบวนการสังเคราะห์ของ SEI ซึ่งอาจส่งผลต่อความแข็งแรงและประสิทธิภาพของ SEI โดยการปกป้องและควบคุมกระบวนการไฟฟ้าในเซลล์ แต่ควรระมัดระวังและเลือกใช้อัตรา C-rate ที่เหมาะสมสำหรับแบตเตอรี่และแอปลิเคชันที่ใช้งานอยู่ เพื่อป้องกันการเสื่อมความประสงค์ของ SEI และรักษาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในระยะยาว.

Reference : Generation and Evolution of the Solid ElectrolyteInterphase of Lithium-Ion B
Editor ; Satu Kristiina Heiskanen,1 Jongjung Kim,1 and Brett L. Lucht1,*

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพใน Lithium-ion Batteries

PECTEC

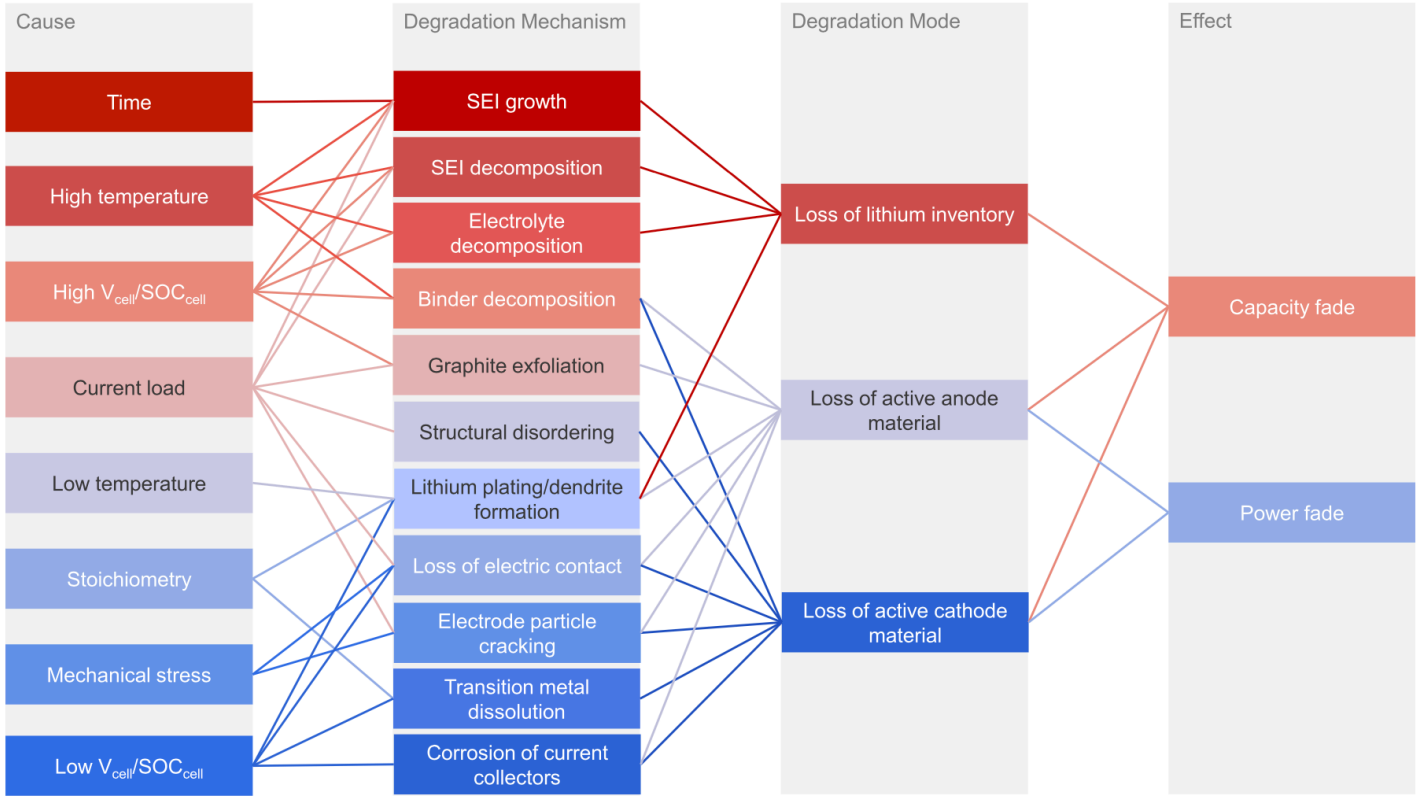


Fig. 3. Cause and effect of degradation mechanisms and associated degradation modes.

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

2) การสูญเสียไปของ active material บนแผ่นธาตุลบ Loss of active material of the NE (LAM_{NE}): เนื่องจากการแตกร้าวของอนุภาคและการสูญเสียการสัมผัสทางไฟฟ้าหรือการปิดกั้นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาโดยชั้นพื้นผิวของตัวต้านทาน กระบวนการเหล่านี้อาจทำให้ทั้งความจุและพลังงานลดลง

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

Degradation diagnostics for lithium ion cells
Christoph R. Birkl a, Matthew R. Roberts b, Euan McTurk b, c, Peter G. Bruce b, David A. Howey a,

ปัจจัยที่ทำให้เกิด Thermal runaway ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

PECTEC

- ***Thermal runaway* คืออะไร**
  - Thermal runaway ใน lithium-ion battery เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ lithium-ion เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและไม่สามารถควบคุมได้ เมื่อกระบวนการนี้เกิดขึ้น อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดที่สามารถทำให้เซลล์แบตเตอรี่เปิดตัวและสร้างความร้อนอย่างมาก นี้เป็นกระบวนการรุนแรงที่สามารถทำให้เกิดการระเบิดและการเผาไหม้ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อคนและสิ่งของรอบข้าง นอกจากนี้ยังเป็นปัญหาสำคัญในอุตสาหกรรมที่ใช้ lithium-ion battery เช่น รถยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์พกพา เนื่องจากมีความเสี่ยงในการเกิด thermal runaway ขึ้นในสภาวะที่ไม่เหมาะสมหรือสาเหตุที่ต่างๆ อาจทำให้เกิดการระเบิดและการเผาไหม้ของอุปกรณ์เหล่านั้นได้.
  - Thermal runaway เริ่มต้นจากปัจจัยที่สร้างความร้อนภายในแบตเตอรี่ เช่น การชาร์จไม่ถูกต้องหรือการใช้งานในสภาวะที่อุณหภูมิสูง การเพิ่มอุณหภูมินี้จะเพิ่มความเร็วในกระบวนการสร้างความร้อนและการสร้างแรงเคลื่อนที่ภายในแบตเตอรี่ทำให้เกิดลูกโซ่การสร้างความร้อนและความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว 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

PECTEC

- ***Thermal runaway* เกิดจากสาเหตุใดได้บ้าง**
  - ขบวนการเกิด thermal runaway ใน lithium-ion battery เกิดจากสาเหตุหลายประการ โดยสาเหตุหลักๆ ได้แก่:
    - ปฏิกิริยาไม่นำไฟฟ้าในบางส่วนของ electrolyte ที่เรียว่า Solid Electrolyte Interface (SEI): ถ้าเซลล์ lithium-ion battery ถูกชนกันหรือถูกทำลายในกรณีใดๆ ทั้งที่เป็นการชนระดับสูงหรือการสะเทือนที่แรงมากพอ อาจทำให้เกิดการทำลายของเม็ดกระสุนภายในเซลล์ ซึ่งอาจเปิดตัวไอออนและกระบวนการสร้างความร้อนอย่างรวดเร็ว
    - การชาร์จไม่ถูกต้อง: การชาร์จ lithium-ion battery ด้วยกระแสไฟสูงเกินไปหรือมากเกินไป หรือการใช้อุปกรณ์ชาร์จที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดความร้อนมากขึ้น และเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นเร็วมาก อาจสร้างเงื่อนไขให้เกิด thermal runaway
    - การใช้งานนอกเหนือจากเงื่อนไขที่เหมาะสม: การใช้งาน lithium-ion battery ในสภาวะอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป หรือในสภาวะที่ความดันและความชื้นไม่เหมาะสมอาจเป็นสาเหตุให้เกิด thermal runaway
    - การชำรุดของอุปกรณ์ในเซลล์: อุปกรณ์ภายในเซลล์ lithium-ion มีการสังเคราะห์และกัดกร่อนตามเวลา หากมีการชำรุดในอุปกรณ์เหล่านี้ อาจทำให้เกิดการสังเคราะห์ความร้อนอย่างรวดเร็ว

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

ปัจจัยที่ทำให้เกิด Thermal runaway ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

PECTEC

- ***Thermal runaway* เกิดจากสาเหตุใดได้บ้าง**

  - **การชาร์จเกิน (Over charge) :** การชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยใช้กระแสไฟเกินไปหรือชาร์จเกินเวลาอาจทำให้เกิดการสะสมพลังงานความร้อนในแบตเตอรี่ ทำให้อุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นและเป็นต้นเหตุของ thermal runaway ดังนี้จึงควรหลีกเลี่ยงการประจุกระแสในปริมาณสูง
  - **การใช้งานในอุณหภูมิสูง:** สามารถเพิ่มความร้อนภายในแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นสาเหตุที่เสี่ยงต่อการเกิด thermal runaway ตัวอย่างเช่น เมื่อแบตเตอรี่คายประจุแล้วควรให้แบตเตอรี่ลดอุณหภูมิลงก่อนที่จะประจุไฟฟ้ากลับเข้าไป หรือ ต้องให้แบตเตอรี่หยุดการใช้งาน อย่างน้อย 4 ชั่วโมง*
  - **การคายประจุอย่างรุนแรง:** สามารถทำให้เกิดแข็งตัวของ SEI (Solid Electrolyte Interphase) ซึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงในการเกิด thermal runaway ได้เมื่อมีการใช้งานแบบนี้บ่อยครั้ง
  - **ความเสียหายจากอุณภูมิแวดล้อม:** การปล่อยให้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนติดตั้งภายใต้อุณหภูมิแวดล้อมสูงจากแหล่งร้อนภายนอก เช่น แดดจ้ามากหรือไฟไหม้ใกล้เคียง อาจเพิ่มความเสี่ยงในการเกิด thermal runaway
  - **ความเสียหายทางกายภาพ:** ความเสียหายทางกลของแบตเตอรี่ เช่นการกระแทกอย่างรุนแรง ความเสียหายอาจเป็นสาเหตุของ thermal runaway ได้
  - **การผลิตที่ไม่ได้คุณภาพ:** ความผิดพลาดในกระบวนการผลิต เช่นมีการปนเปื้อน (contamination) ในการเติม electrolyte , การประเมิณคุณภาพวัสดุ, การคัดเลือกวัสดุ และขบวนอื่นๆ อาจทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ในเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงในการเกิด thermal runaway ผู้ใช้จึงควรเลือกใช้แบตเตอรี่จากผู้ผลิตที่มีความเชื่อถือ **ไม่ควรพิจารณาเพียงแค่ราคาเป็นปัจจัยในการเลือกใช้**

* คำแนะนำจากคู่มือการใช้งานของ Samsung SDI

Reference : Generation and Evolution of the Solid ElectrolyteInterphase of Lithium-Ion Batteries
Editor ; Satu Kristiina Heiskanen,1 Jongjung Kim,1 and Brett L. Lucht1,*

ปัจจัยที่ทำให้เกิด Thermal runaway ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

PECTEC

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

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

ปัจจัยที่ทำให้เกิด Thermal runaway ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

PECTEC

- **<u>การเกิดก๊าซจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าใน *Lithium-ion battery* ในขณะ *state of charge* ที่ต่างกัน</u>**

การแตกตัวของ Electrolyte แต่ละ State Of Charge (SOC)

- เมื่อเก็บประจุแบตเตอรี่ที่ voltage สูงเป็นเวลานานๆ ยิ่งจะทำให้ ความต้านทานของแบตสูงขึ้นไปด้วย
- 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 $C_3H_4O_3$
  - ✓Dimethyl carbonate (DMC). สูตรเคมี $C_3H_6O_3$
  - ✓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 ($LiCF_3SO_3$)

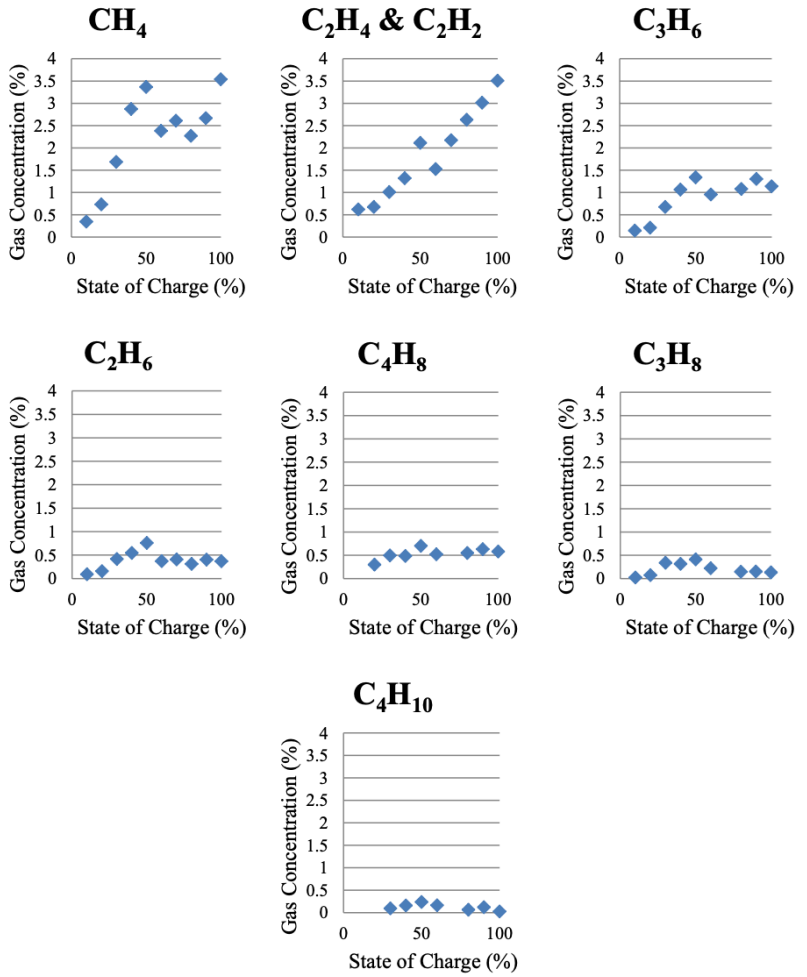
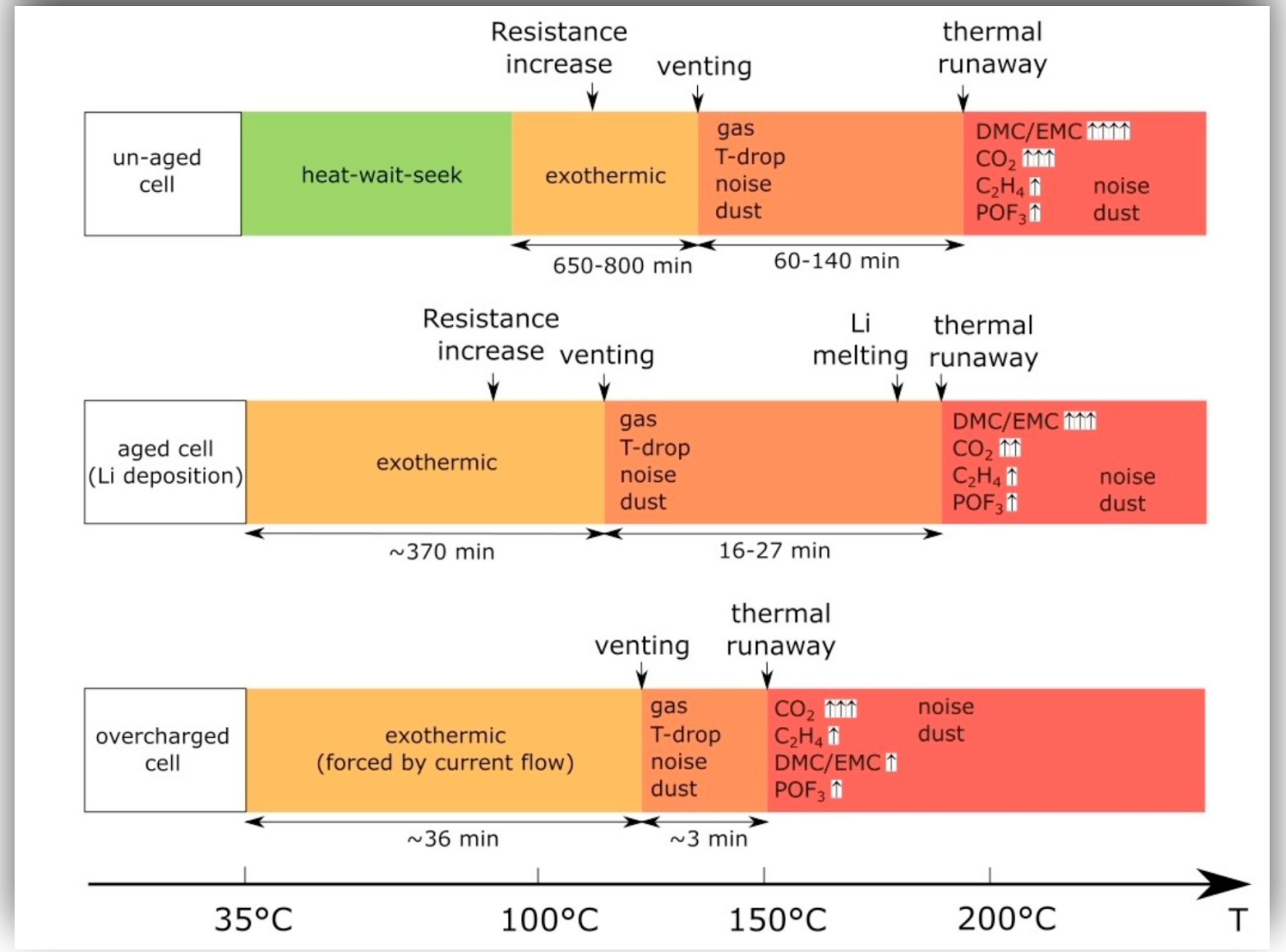


Figure 11. Individual gas species concentrations for $LiCoO_2$ 18650 cells

IV.ปัจจัยที่ทำให้เกิด Thermal runaway ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

PECTEC

Chart ที่แสดงช่วงเวลาจะนำไปสู่การเกิด Thermal runaway ของแบตเตอรี่แต่ละช่วงอายุ และภายใต้ปัจจัยการกระตุ้นจากการ over charged cell



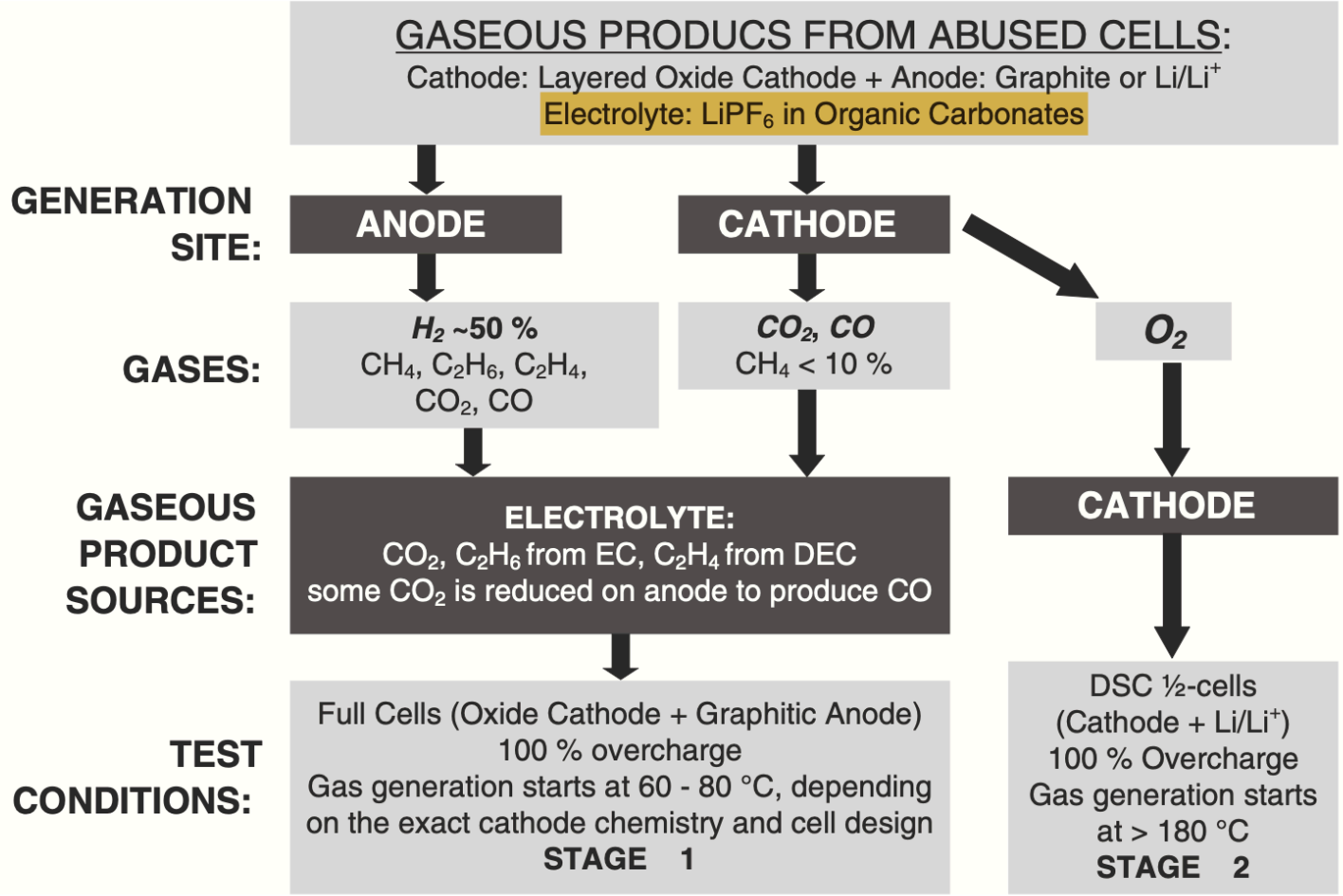


Fig. 5.8 Gaseous products of electrolyte decomposition [1, 2, 4]

ปฏิกิริยาหลังจากการเกิด Thermal runaway ใน Lithium-ion batteries

PECTEC

ภาพจำลองแสดงให้เห็นการระบายของก๊าซของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนระหว่างการระบายความร้อน

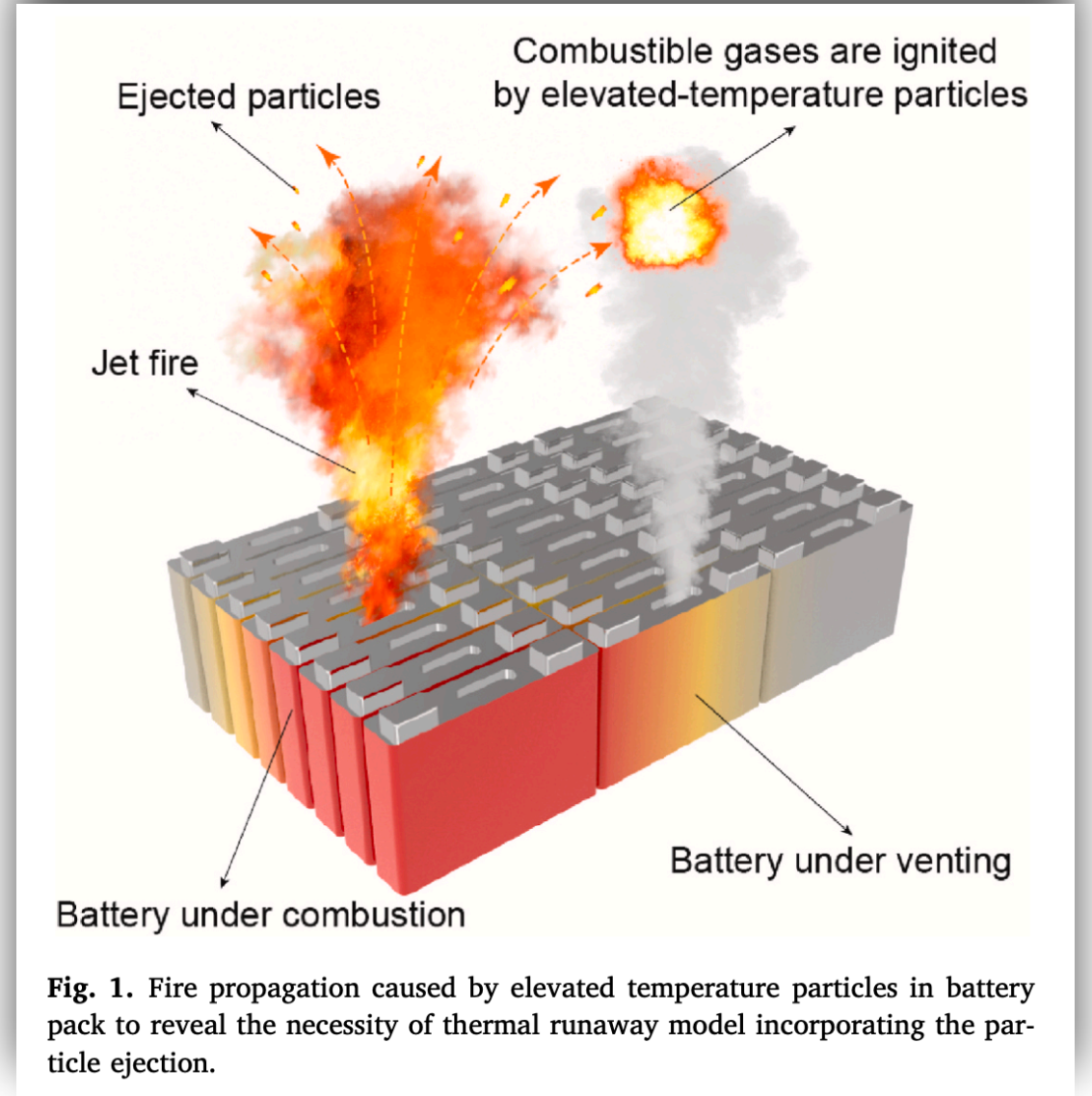


Fig. 1. Fire propagation caused by elevated temperature particles in battery pack to reveal the necessity of thermal runaway model incorporating the particle ejection.

A multi-scale model toward multiphase process
Gongquan Wanga, Depeng Konga,c,, Ping Ping b,, Jennifer Wen c, Xiaoqin He a, Hengle Zhao a,Xu He a, Rongqi Penga, Yue Zhanga, Xinyi Dai a

การเกิดก๊าซภายใน Lithium hexafluorophosphate (LiPF6) ของ Organic Electrolyte

PECTEC

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

Result	Battery Capacity		Tested Condition	Gas Component								
	(Ah)	(Wh)		H_2	CO	CO_2	CH_4	C_2H_2	$C2H_6$	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 %

การเกิดก๊าซภายใน Lithium hexafluorophosphate (LiPF6) ของ Organic Electrolyte

PECTEC

- **CO : Carbon monoxide**
  - เป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี เกิดจากการเผาไหม้คาร์บอนที่ไม่สมบูรณ์ในเชื้อเพลิงต่างๆ เช่น ฟอสซิล การเผาถ่าน เตาเผา ไฟไหม้ เครื่องยนต์ สารเคมี หรือปฏิกิริยาเคมีบางชนิด ในแบตเตอรี่ เป็นต้น
  - อันตราย
    - ปกติแล้วอากาศที่เราใช้ในการหายใจระหว่างดำเนินชีวิตประจำวันนั้น มี CO ปะปนอยู่เป็นปกติ แต่เนื่องจากมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากๆ จึงไม่ส่งผลเสียต่อร่างกายและระบบทางเดินหายใจ โดยหน่วยวัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เรียกว่า Part Per Million (ppm) มีความหมายคือ ปริมาณหนึ่งส่วนในล้านส่วน (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

*reference: https://www.gistda.or.th/news_view.php?n_id=5475&lang=EN

- CO_2. : คาร์บอนไดออกไซด์ (อังกฤษ: carbon dioxide) หรือ CO_2
  - เป็นก๊าซไม่มีสี ซึ่งหากหายใจเอาก๊าซนี้เข้าไปในปริมาณมาก ๆ จะรู้สึกเปรี้ยวที่ปาก เกิดการระคายเคืองที่จมูกและคอ เนื่องจากอาจเกิดการละลายของแก๊สนี้ในเมือกในอวัยวะก่อให้เกิดกรดคาร์บอนิกอย่างอ่อน
  - คาร์บอนไดออกไซด์มีความหนาแน่น 1.98 kg/m^3 ซึ่งเป็นประมาณ 1.5 เท่าของอากาศ ไม่ติดไฟและไม่ทำปฏิกิริยา
  - คาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำได้ 1 เปอร์เซนต์ของสารละลายนั้นจะกลายเป็นกรดคาร์บอนิกซึ่งจะเปลี่ยนรูปเป็นไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในภายหลัง
  - อันตราย
    - การรักษาภาวะได้รับคาร์บอนไดออกไซด์เกิน (ร่วมกับภาวะขาดออกซิเจน) ต้องนำผู้ป่วยออกจากสภาวะขาดอากาศ หรือ บริเวณที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่มากออกมาให้เร็วที่สุดก่อน
    - ตรวจดูทางเดินหายใจ ถ้าหมดสติและไม่หายใจแล้ว ต้องรีบทำการช่วยหายใจ หน่วยกู้ชีพอาจพิจารณาใส่ท่อช่วยหายใจเพื่อรักษาชีวิต และรีบให้ออกซิเจนเสริมด้วยความรวดเร็ว จากนั้นรีบนำส่งพบแพทย์

https://th.wikipedia.org/wiki/คาร์บอนไดออกไซด์

การเกิดก๊าซภายใน Lithium hexafluorophosphate (LiPF6) ของ Organic Electrolyte

PECTEC

CH_4 : ก๊าซมีเทน (CH4) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (O2) จะเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจน (H2), ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2), และน้ำ (H2O) ที่อุณหภูมิมากกว่า 27,600 ^{O}K

สมการเคมีของการเผาไหม้อะเซทิลีนในออกซิเจนสมบูรณ์คือ

$$CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$$

C_2H_2 : แก๊สอะเซทิลีน (Acetylene) เป็นสารประกอบ C2H2 เป็นแก๊สที่ติดไฟเมื่อรวมตัวกับออกซิเจนจะให้เปลวไฟที่มีความร้อนสูง ถึง 3,482 ^{O}C

สมการเคมีของการเผาไหม้อะเซทิลีนในออกซิเจนสมบูรณ์คือ

$$2C_2H2 + 5O_2 \text{ —> } 4CO_2 + 2H_2O$$

C_2H_6 : ก๊าซที่มีสูตรเคมี C_2H_6 เรียกว่า "อีเทน" เป็นก๊าสไวไฟ ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนหนึ่งประเภท และเป็นส่วนประกอบหลักที่พบในก๊าซธรรมชาติ เอทานเป็นอัลเคน หมายความว่าเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะคาร์บอน-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

http://www.bspc.ac.th/files/2106081010370621_2303270995337.pdf

การเกิดก๊าซภายใน Lithium hexafluorophosphate (LiPF6) ของ Organic Electrolyte

PECTEC

- ***HF (hydrogen fluoride)***
  - ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ เป็นสารประกอบเคมีที่มีสูตรเคมีคือ HF ลักษณะเป็นแก๊สหรือของเหลวไม่มีสี ไฮโดรเจนฟลูออไรด์เป็นแหล่งฟลูออรีนหลักในทางอุตสาหกรรม มักใช้ในรูปสารละลายในน้ำคือกรดไฮโดรฟลูออริก ไฮโดรเจนฟลูออไรด์เป็นวัตถุดิบสำคัญในการเตรียมสารประกอบหลายชนิดที่ใช้ในเภสัชอุตสาหกรรมและพอลิเมอร์ เช่น พอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (PTFE) และเป็นส่วนประกอบหนึ่งของกรดยวดยิ่ง (superacid) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี
  - ไฮโดรเจนฟลูออไรด์เป็นแก๊สอันตรายอย่างยิ่ง เมื่อสัมผัสกับความชื้นจะแปรสภาพเป็น กรดไฮโดรฟลูออริกที่มีฤทธิ์กัดกร่อน 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:

    ➡ HF + OH- → H2O + F-

    - ปฏิกิริยานี้ส่งผลให้เกิดการก่อตัวของน้ำ (H2O) และฟลูออไรด์ไอออน (F-) จากนั้นฟลูออไรด์ไอออนจะรวมกับโพแทสเซียมไอออน (K+) จาก K2CO3 เพื่อสร้างโพแทสเซียมฟลูออไรด์ที่เสถียร (KF):

    ➡ F- + K+ → KF

    - โพแทสเซียมไอออนที่เหลือยังสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุล HF ได้มากขึ้น เพื่อสร้างโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟลูออไรด์ที่เสถียร (2KHF):2HF + 2K+ → 2KHF
    - ดังนั้น K_2CO_3 จะทำให้ HF เป็นกลางได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เสถียร ได้แก่ KF และ 2KHF ในขณะที่ใช้ HF ที่เป็นกรดและสร้างน้ำในกระบวนการ ปฏิกิริยาการทำให้เป็นกลางนี้จะช่วยลดความเป็นกรดและทำให้ระบบมีเสถียรภาพ

: Lithium-IonBatteries / Fire Protection Systems www.firepro.com

Part 3

คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้

Thermal Runaways compliance from NFPA 855

PECTEC

NFPA 855
Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems
2020

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

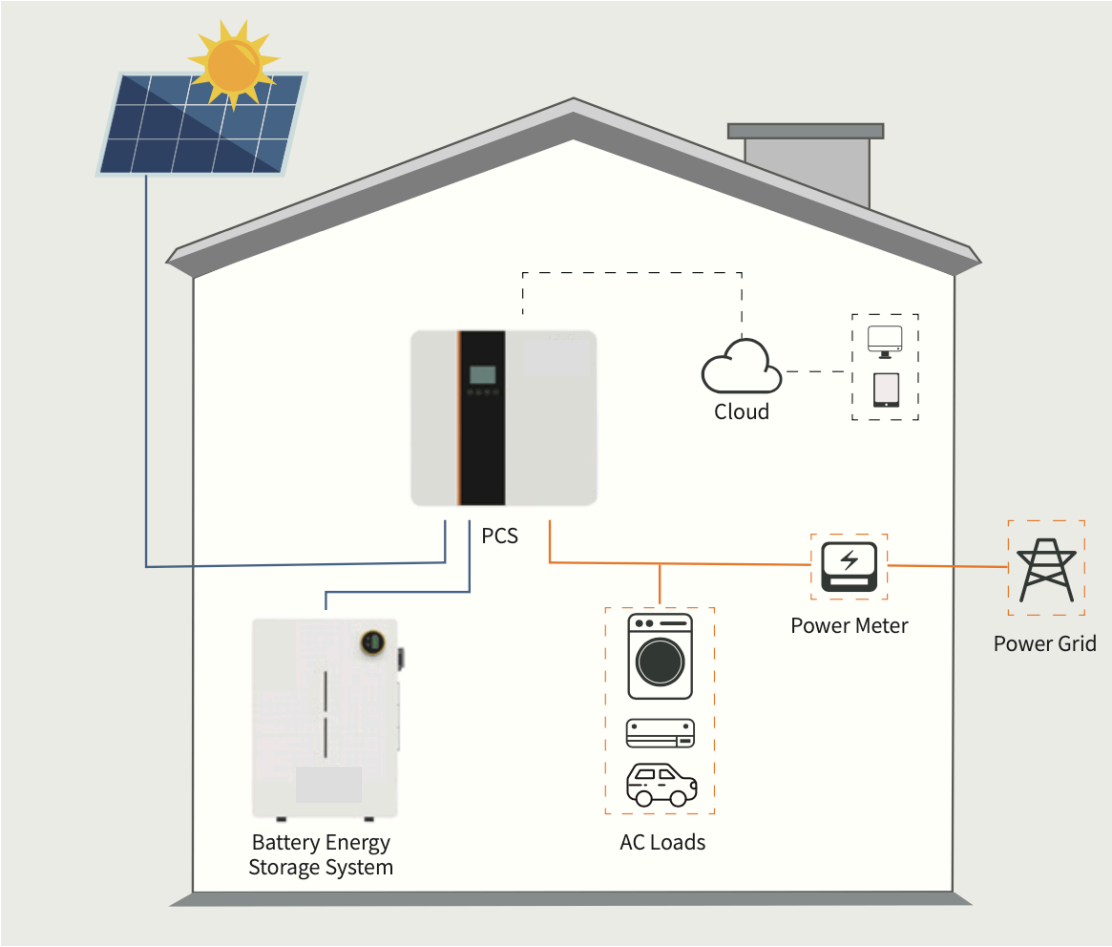
[a]Nickel battery technologies covered in this column include nickel cadmium (Ni-Cad), nickel metal hydride (Ni-MH), and nickel zinc (Ni-Zn).
[b]The protection in this column is not required if documentation acceptable to the AHJ, including a hazard mitigation analysis complying with 4.1.4, provides justification that the protection is not necessary based on the technology used.
[c]Exhaust ventilation is not required for nickel metal hydride batteries.
[d]Applicable only to vented- (i.e., flooded-) type nickel and lead-acid batteries.
[e]Thermal runaway protection is not required for vented (e.g., flooded) lead-acid batteries.
[f]The 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.
[g]Explosion 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

ประเภทของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงาน

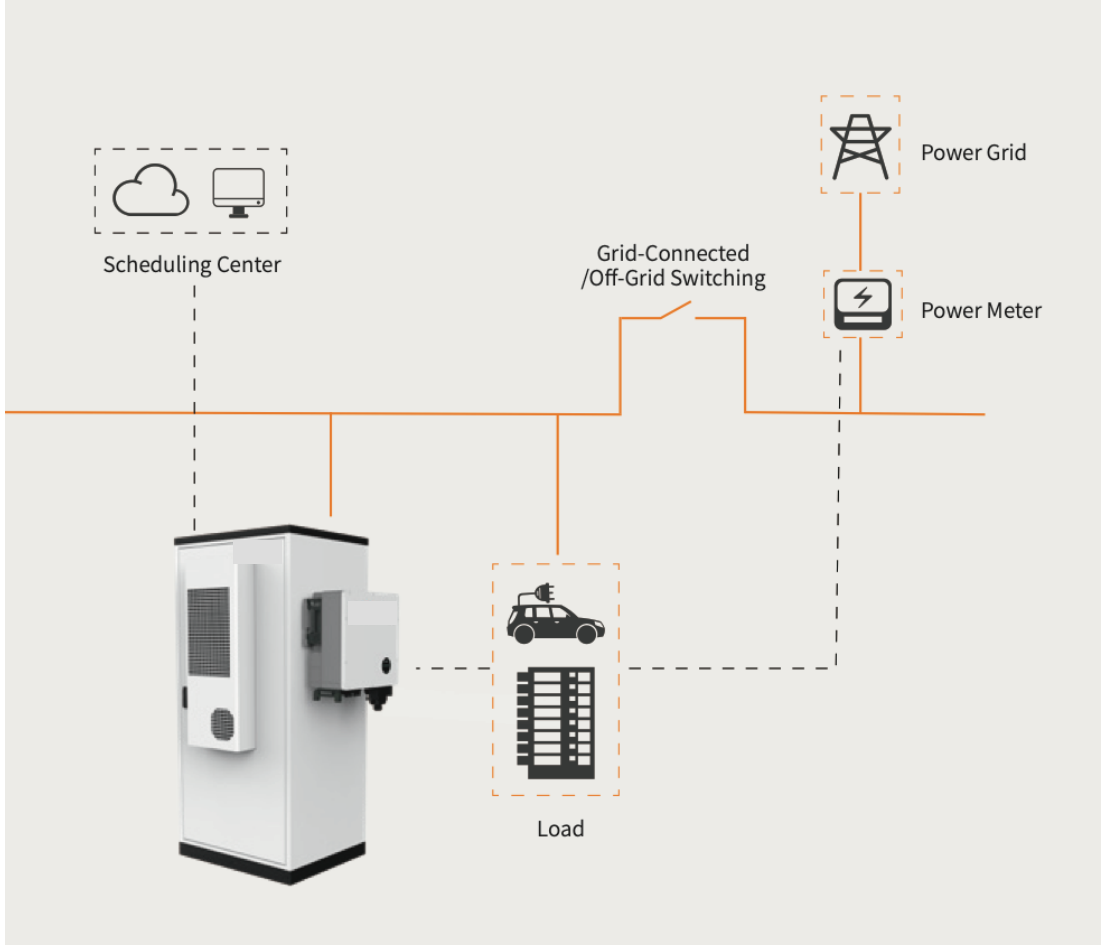
PECTEC

- รูปแบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ในปัจจุบัน

สำหรับบ้านพักอาศัย



สำหรับธุระกิจและโรงงานอุตสาหกรรม

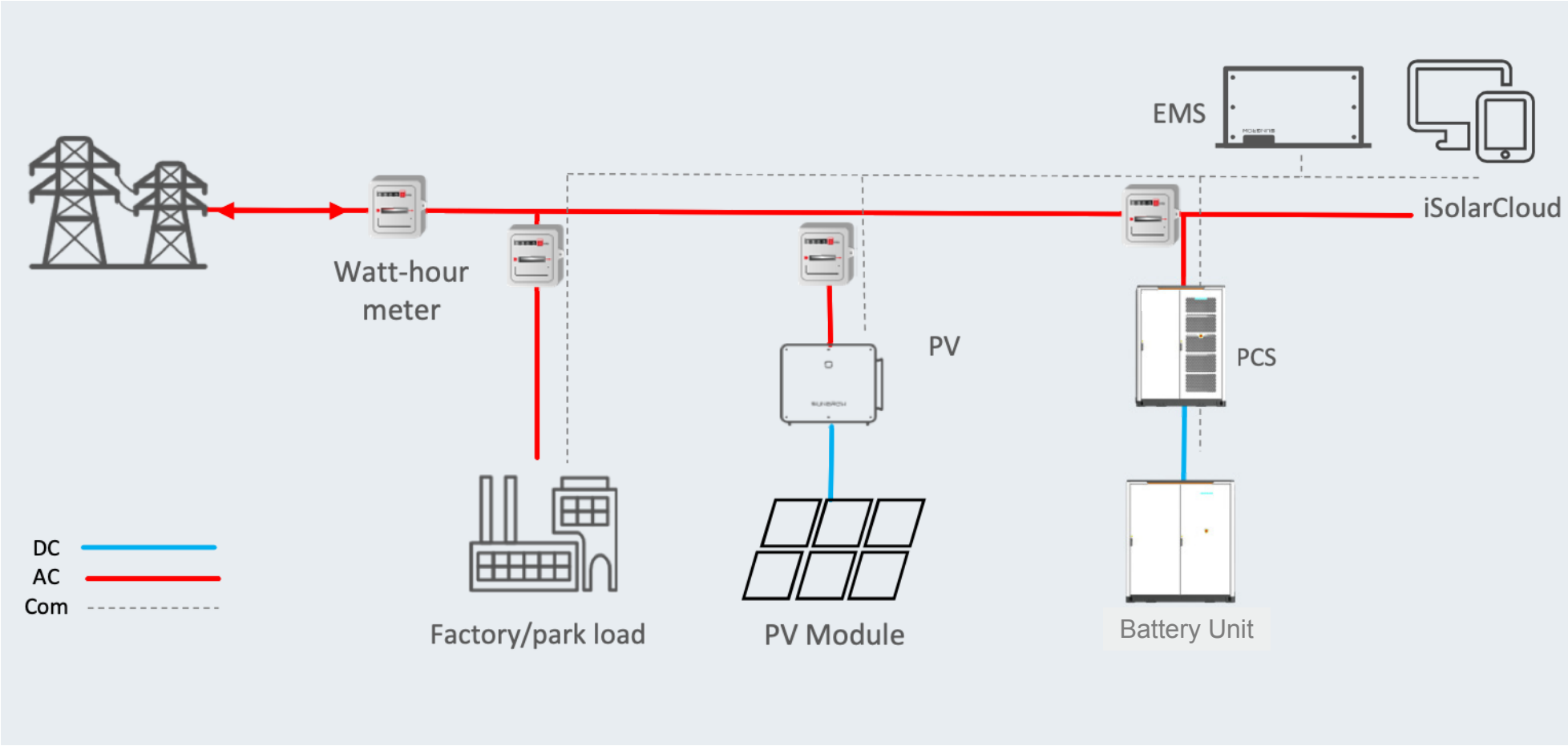


ประเภทของแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงาน

PECTEC

- รูปแบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในปัจจุบัน

สำหรับธุระกิจและโรงงานอุตสาหกรรม
(Commercial & Industrial)



คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

PECTEC

NFPA 855 Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems 2020

NFPA | nec NFPA NATIONAL ELECTRICAL CODE

UL | IEC

- ***Thermal Runaway*** จาก ***NFPA 855***
  - **แม้ว่าการระงับอัคคีภัยแบบไม่ใช้น้ำแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิผลในการระงับไฟประเภท *B* และประเภท *C* ในตู้ *ESS* แต่สารระงับกระแสไฟทั้งแบบแบบน้ำและแบบไม่มีน้ำอาจจะไม่สามารถหยุดการระบายความร้อนที่เกิดจากความร้อนได้ 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

Reference : NFPA 855-page 30 ; INSTALLATION OF STATIONARY ENERGY STORAGE SYSTEMS

คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

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

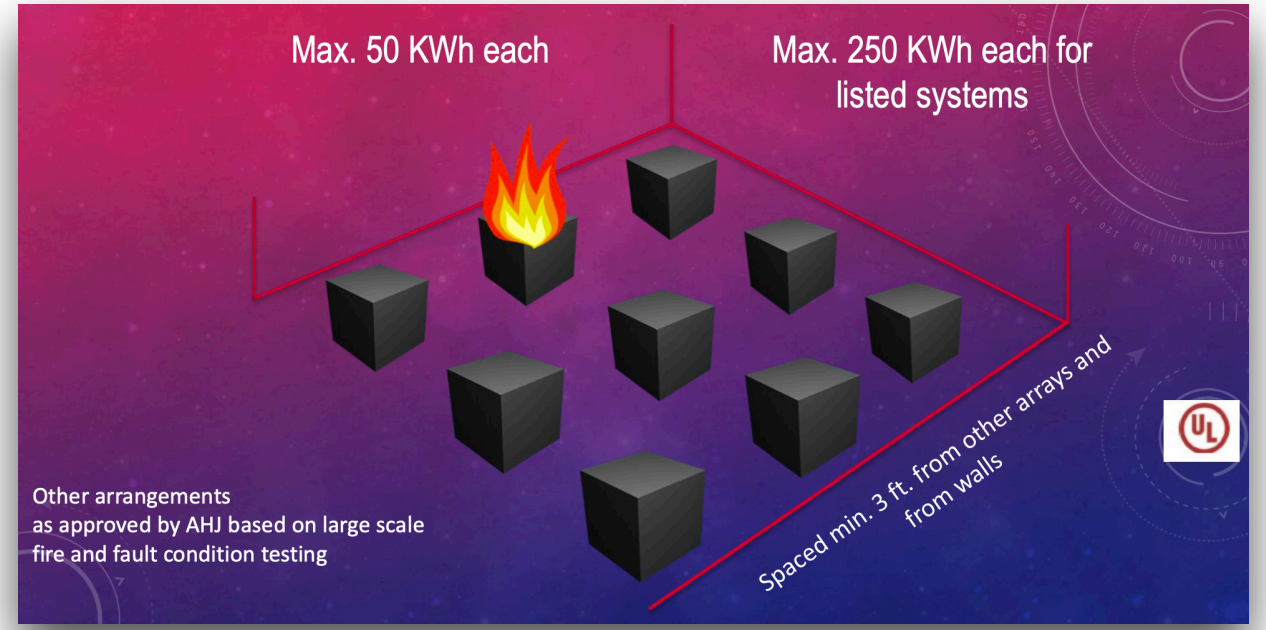


Table 4.8 Maximum Stored Energy

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

[a]For ratings in amp-hrs, kWh should equal maximum rated voltage multiplied by amp-hr rating divided by 1000.
[b]Nickel battery technologies include nickel cadmium (Ni-Cad), nickel metal hydride (Ni-MH), and nickel zinc (Ni-Zn).
[c]Includes vanadium, zinc-bromine, polysulfide, bromide, and other flowing electrolyte-type technologies.

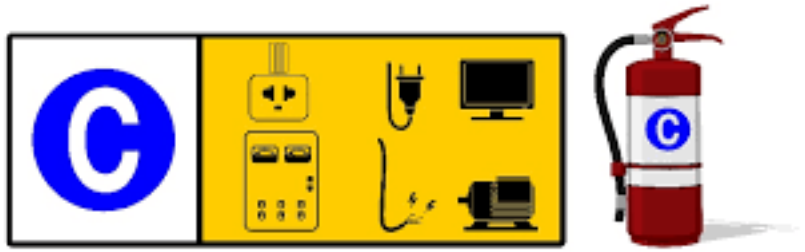
Reference : NFPA 855-page 30 ; INSTALLATION OF STATIONARY ENERGY STORAGE SYSTEMS

คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

PECTEC

น้ำยาดับเพลิง เหมาะสำหรับ แบตเตอรี่

- **ไฟประเภท *B* เป็นเพลิงไหม้ที่เกิดจากของเหลวติดไฟชนิดต่างๆ *(Flammable Liquids)* เช่น สารเคมี, น้ำมันเชื้อเพลิง, ก๊าสหุงต้ม, แก้ส**
  - เครื่องดับเพลิงที่เหมาะสำหรับไฟประเภท 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 ไฟฟ้ารัดวงจร, สายไฟรัดวงจร**
  - เครื่องดับเพลิงที่เหมาะสำหรับไฟประเภท C
  - ถังดับเพลิงชนิดผงเคมีแห้ง (Dry Chemical) ฉลากเขียว
  - ถังดับเพลิงสูตรน้ำ Low Pressure Water Mist (ABFFC) ฉลากเขียว
  - ถังดับเพลิงชนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Co2)

คำแนะนำและมาตรฐานความปลอดภัยจากเพลิงไหม้ในการติดตั้งใช้งาน

PECTEC

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

PECTEC

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? (12.2 mm/min) can be necessary to provide an adequate level of protection (>30 minutes)

Note : Halon Fire Extinguishing was banned.

คำแนะนำเกี่ยวกับ Fire extinguisher agent จาก NFPA 855

PECTEC

- **น้ำถือเป็นสารที่เหมาะสมที่สุดในการระงับเพลิงไหม้** จากแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน น้ำมีความสามารถในการทำความเย็นที่เหนือกว่า มีปริมาณมาก (ในหลายพื้นที่) และเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ได้ง่าย แม้ว่าน้ำอาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสม แต่การกำหนดค่าโมดูล/ตู้อาจทำให้น้ำซึมผ่านได้ยากสำหรับการระบายความร้อนบริเวณต้นทาง แต่อาจยังคงมีประสิทธิภาพสำหรับการกักเก็บ **สเปรย์น้ำถือว่าปลอดภัยในฐานะตัวแทนสำหรับใช้กับระบบไฟฟ้าแรงสูง** ความเป็นไปได้ที่กระแสไฟรั่วกลับไปยังหัวฉีดและนักดับเพลิงในท้ายที่สุดนั้นไม่มีนัยสำคัญ โดยพิจารณาจากข้อมูลการทดสอบที่เผยแพร่ในรายงานของมูลนิธิวิจัยการป้องกันอัคคีภัย
- แนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดสำหรับการตอบสนองฉุกเฉินต่อเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอันตรายจากแบตเตอรี่ของยานพาหนะไฟฟ้า: รายงานผลการทดสอบเต็มรูปแบบ **โฟมดับเพลิง**ไม่ถือว่ามีประสิทธิภาพสำหรับสารเคมีเหล่านี้ เนื่องจากไม่สามารถระบายความร้อนได้เพียงพอและสามารถนำไฟฟ้าได้ หลักฐานแสดงให้เห็นว่าโฟมอาจกระตุ้นการลุกลามของความร้อนโดยฉนวนวัสดุที่เผาไหม้และทำให้ความร้อนเพิ่มขึ้นรุนแรงขึ้น

แปลจาก Annex C . Fire Fighting consideration จาก มาตรฐาน NFPA 855 : 2020

คำแนะนำเกี่ยวกับ Fire extinguisher agent จาก NFPA 855

PECTEC

- **ผงเคมีแห้ง** ที่ใช้ดับเพลิงสามารถขจัดเปลวไฟที่มองเห็นได้ อย่างไรก็ตาม **ไม่สามารถทำให้ส่วนประกอบแบตเตอรี่ที่กำลังลุกไหม้เย็นลงได้ บ่อยครั้ง แม้ว่าเปลวไฟที่มองเห็นได้จะถูกกำจัดออกไปแล้ว แต่ความร้อนที่ไหลเวียนภายในแบตเตอรี่จะยังคงดำเนินต่อไป ส่งผลให้เกิดการติดไฟอีกครั้ง**
- **คาร์บอนไดออกไซด์และสารระงับก๊าซเฉื่อย** จะกำจัดเปลวไฟที่มองเห็นได้ **แต่มีแนวโน้มว่า จะไม่ให้ความเย็นเพียง**พอที่จะขัดขวางกระบวนการระบายความร้อน ESS ที่ติดตั้ง clean system suppression จะมีระบบระบายอากาศเชื่อมโยงกับเครื่องตรวจจับอัคคีภัยและแผงควบคุม HVAC จะปิดลงและแดมเปอร์จะปิดเพื่อให้แน่ใจว่าสารมีเวลากักเก็บเพียงพอที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อเป็นสารระงับที่มีประสิทธิภาพ ในระบบระงับอัคคีภัยบางระบบ HVAC จะหมุนเวียน ไม่ปิดเครื่อง และช่วยกระจาย clean agent ผู้เผชิญเหตุต้องแน่ใจว่ามีเวลากักเก็บเพียงพอก่อนที่จะเข้าถึงห้องแบตเตอรี่/ภาชนะบรรจุ ควรระบุเวลาที่ผู้ผลิตแนะนำให้ชัดเจน สารเหล่านี้อาจลดการติดไฟได้โดยการลดระดับออกซิเจน อย่างไรก็ตาม ข้อมูลระบุว่าก๊าซไวไฟจะยังคงผลิตต่อไปเนื่องจากการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง และสามารถสร้างสภาพแวดล้อมที่สุกงอมสำหรับวาบไฟตามผิวหรือย้อนกลับเมื่อออกซิเจนถูกนำเข้าสู่ระบบอีกครั้ง

แปลจาก Annex C . Fire Fighting consideration จาก มาตรฐาน NFPA 855 : 2020

คำแนะนำเกี่ยวกับ Fire extinguisher agent จาก NFPA 855

PECTEC

- การตรวจจับและระงับอัคคีภัย

1. การตรวจจับอัคคีภัย ระบบการจัดการแบตเตอรี่ได้รับการออกแบบมาเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์และโมดูลเป็นหลัก สามารถออกแบบให้ปิดวงจรการชาร์จ/คายประจุที่ได้รับผลกระทบในกรณีที่สภาวะไม่อยู่ในพารามิเตอร์ แต่อาจไม่สามารถระบุได้ว่าเกิดไฟไหม้จริงหรือไม่ การตรวจจับอัคคีภัยควรได้รับการออกแบบในการติดตั้ง ESS
2. Passive Fire Control คุณลักษณะการควบคุมอัคคีภัยแบบพาสซีฟควรได้รับการออกแบบมาเพื่อตอบสนองความท้าทายเฉพาะในการจัดการไฟเคมีไฟฟ้า ESS คุณลักษณะ**การควบคุมไฟแบบพาสซีฟควรได้รับการออกแบบเพื่อจำกัดผลกระทบที่ต่อเนื่องกันของการแพร่กระจายของไฟ** ซึ่งอาจรวมถึงเซลล์สู่เซลล์ (สร้างไว้ใน module) module ต่อ module (สร้างไว้ใน rack หรือ module) rack ต่อ rack (สร้างไว้ในห้องหรือคอนเทนเนอร์ ESS) หรือแม้แต่การป้องกันจากระบบสู่ระบบ*
3. วิธีการระงับเหตุเพลิงไหม้ ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ส่วนประกอบของแบตเตอรี่มักจะอยู่ในตู้หรือโครงแบบอื่นๆ ที่สามารถทำหน้าที่ปกป้องส่วนประกอบต่างๆ และด้วยเหตุนี้จึงจำกัดความสามารถในการหัวฉีดแบบเจาะ นักผจญเพลิงไม่ควรใช้หัวฉีดแบบเจาะและเหล็กปลายแหลมเจาะทะลุ เซลล์ที่ได้รับความเสียหายทางกลไกหรือการเจาะเซลล์ที่ไม่เผาไหม้หรือไม่เสียหายอาจส่งผลให้เซลล์เหล่านั้นลุกติดไฟได้ทันที นอกจากนี้การลัดวงจรภายในตู้อาจทำให้เกิดไฟฟ้าช็อตได้

* ศึกษารายละเอียดจาก มาตรฐาน UL 9540 A

Part 4

คำแนะนำสำหรับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

การใช้งานแบตเตอรี่ lithium-ion อย่างถูกต้องมีความสำคัญในการรักษาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่และความปลอดภัยของผู้ใช้ นี่คือคำแนะนำสำหรับการใช้งานแบตเตอรี่ lithium-ion อย่างถูกต้อง:

PECTEC

- **อ่านคู่มือผู้ใช้:** อ่านคู่มือผู้ใช้ที่ให้มากับอุปกรณ์หรือแบตเตอรี่เพื่อทราบข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานและการบำรุงรักษาที่ถูกต้องของแบตเตอรี่นั้นๆ
- **อุณหภูมิ:** หลีกเลี่ยงการใช้งานแบตเตอรี่ในสภาวะอุณหภูมิสูงเกินไปหรือต่ำเกินไป เพราะอุณหภูมิส่งผลต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแบตเตอรี่ ควรใช้งานในอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงที่แนะนำในคู่มือผู้ใช้
- **การชาร์จ:** ใช้ชาร์จเต็มที่และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการชาร์จ ใช้ชาร์จที่ถูกต้องและรับรองสำหรับแบตเตอรี่ lithium-ion และหลีกเลี่ยงการชาร์จเกินเวลา
- **การใช้งานที่ถูกต้อง:** หลีกเลี่ยงการใช้งานแบตเตอรี่ในอัตรา C-rate สูงเกินไป และรักษาอุณหภูมิในขณะใช้งานให้เหมาะสม
- **อุปกรณ์การชาร์จ:** ใช้อุปกรณ์ชาร์จที่รับรองคุณภาพและปลอดภัย หลีกเลี่ยงการใช้ชาร์จที่ไม่เสถียรหรือไม่มีมาตรฐาน
- **การเก็บรักษา:** หลีกเลี่ยงการเก็บรักษาแบตเตอรี่ในสภาวะที่ร้อนเกินไปหรือหนาวเกินไป แบบตเตอรี่ควรเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิที่เหมาะสม

การใช้งานแบตเตอรี่ lithium-ion อย่างถูกต้องมีความสำคัญในการรักษาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่และความปลอดภัยของผู้ใช้ นี่คือคำแนะนำสำหรับการใช้งานแบตเตอรี่ lithium-ion อย่างถูกต้อง:

PECTEC

- **ประเภทของแบตเตอรี่:** รู้เกี่ยวกับประเภทของแบตเตอรี่ lithium-ion ที่คุณใช้งานและรักษาตามคำแนะนำของผู้ผลิต
- **การดูแลและการเช็คสภาพ:** สังเกตและตรวจสอบสภาพของแบตเตอรี่อย่างเป็นประจำ เช่น การตรวจสอบว่าไม่มีการเกิดความเสียหายหรืออาการผิดปกติ ทางการภาพ เช่น ขั้วไฟฟ้า การสื่อสารระหว่างแบตเตอรี่ กับตัวแสดงผล ควรตรวจทานความถูกต้องของระบบ BMS ว่าทำงานถูกต้องครวถ้วนไหม
- **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

PECTEC

การจัดการสถานะการชาร์จ (SOC) มีความสำคัญสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า (EV) เช่นเดียวกับระบบจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (BESS) คำแนะนำทั่วไปเกี่ยวกับการชาร์จและการคายประจุ SOC สำหรับแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนใน 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% สำหรับการขับขี่รายวัน 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 ให้ใช้ระบบจัดการระบายความร้อนหรือจอดรถในที่ที่มีอุณหภูมิปานกลางหรือที่มีหังคาเมื่อชาร์จไฟ
- เหตุผล: อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจส่งผลต่อสุขภาพของแบตเตอรี่ โดยเฉพาะระหว่างการชาร์จ การชาร์จที่อุณหภูมิสูงหรือที่ SOC สูงสามารถเร่งการเสื่อมสภาพได้

คำแนะนำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

PECTEC

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 พึ่งพา BMS เสมอเพื่อให้แน่ใจว่าการทำงานมีความปลอดภัย

7. การเดินทางในอนาคตและความวิตกกังวล:

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

8. ตรวจสอบสภาพแบตเตอรี่:

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

สรุป:
การจัดการ SOC ที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญในการยืดอายุแบตเตอรี่ของ EV แม้ว่าการปฏิบัติตามคำแนะนำข้างต้นโดยทั่วไปสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ แต่ควรศึกษาคำแนะนำจากผู้ผลิตรถยนต์เสมอ เนื่องจากคุณสมบัติและการออกแบบแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันอาจมีค่ากำหนดในการชาร์จและคายประจุที่เฉพาะเจาะจง

THANK YOU

PECTEC

PEC Technology (Thailand) Co., Ltd.

181, 183 Sukontasawat Rd., Ladprao, Bangkok 10230

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