

รายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานการศึกษาธุรกิจการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว

ภายใต้ โครงการศูนย์การเรียนรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรม
เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า ปี พ.ศ.2561

จัดทำโดย



สถาบันยานยนต์

26 ธันวาคม 2561

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ.....	1-1
1.1 ที่มา และความสำคัญ.....	1-1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1-1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1-1
1.4 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์	1-2
1.4.1 แบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรด (Lead Acid Battery)	1-2
1.4.2 แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิลแคดเมียม (Nickel-Cadmium Battery).....	1-2
1.4.3 แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH Battery).....	1-3
1.4.4 แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน (Li-ion Battery).....	1-3
1.4.5 แบตเตอรี่ประเภทเมทัลแอร์ (Metal-Air Battery)	1-3
บทที่ 2 โครงสร้างอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์.....	2-1
2.1 อุตสาหกรรมต้นน้ำการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์.....	2-1
2.1.1 การผลิตขั้วแคโทด (Cathode)	2-2
2.1.2 การผลิตขั้วแอโนด (Anode).....	2-5
2.1.3 การผลิตอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)	2-6
2.1.4 การผลิตแผ่นกั้น (Separator).....	2-6
2.2 อุตสาหกรรมกลางน้ำการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์	2-8
2.3 อุตสาหกรรมปลายน้ำการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์	2-13
2.4 การบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า (xEV) ที่ใช้งานแล้ว.....	2-18
2.4.1 การ Reuse แบตเตอรี่สำหรับใช้ใน xEV	2-19
2.4.2 การ Recycle แบตเตอรี่สำหรับใช้ใน xEV	2-20
2.5 สรุปโครงสร้างอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์.....	2-32
2.6 เอกสารอ้างอิง	2-33
บทที่ 3 แนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่ในประเทศต่างๆ.....	3-1
3.1 แนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่ของสหภาพยุโรป	3-1
3.2 แนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่ของประเทศสหรัฐอเมริกา.....	3-5
3.3 แนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่ของประเทศญี่ปุ่น	3-7
3.4 แนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่ของประเทศจีน	3-13
3.4.1 Hunan Brunp recycling Science and Technology Co., Ltd.3-.....	3-16
3.4.2 TES-AMM (Suzhou) E-Waste Solution Ltd.3-.....	3-16
3.4.3 Jiangmen Umicore Chancsun New Materials Co., Ltd.3-	3-17
3.5 สรุปแนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่ในประเทศต่าง ๆ	3-17
3.5.1 กฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้ว.....	3-17
3.6 เอกสารอ้างอิง	3-21
บทที่ 4 อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ของประเทศไทย.....	4-1
4.1 การผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์	4-1

สารบัญ (ต่อ)

4.1.1	อุตสาหกรรมต้นน้ำการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์	4-1
4.1.2	อุตสาหกรรมกลางน้ำการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์	4-1
4.1.3	อุตสาหกรรมปลายน้ำการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์	4-2
4.2	การใช้งานแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์	4-4
4.3	การจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ที่ใช้งานแล้ว	4-7
4.3.1	การบริหารจัดการแบตเตอรี่โดยการ Reuse	4-8
4.3.2	การบริหารจัดการแบตเตอรี่โดยการ Recycle	4-12
4.4	บทสรุป และข้อเสนอแนะ	4-14

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญ

ในปัจจุบันเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันของหลายๆ ประเทศในโลกเกิดเป็น Megatrend ขึ้น เช่น การเพิ่มขึ้นของประชากรผู้สูงอายุ การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ การขยายตัวของชุมชนเมืองทำให้เกิดเมืองใหม่ที่มีลักษณะ เป็น Smart City เป็นต้น โดยเฉพาะสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทำให้หลายๆ ประเทศในโลกมีมาตรการลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ลง และใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2016 นายกรัฐมนตรี ได้ให้สัตยาบันสารนำประเทศไทยเข้าร่วมเป็นประเทศภาคีความตกลงปารีส (Paris Agreement) โดยมีเป้าหมายเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ร้อยละ 20 – 25 ภายในปีค.ศ.2030 ทั้งนี้ ก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนใหญ่มาจากภาคการขนส่ง ดังนั้น การเพิ่มปริมาณการใช้รถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ จึงเป็นสิ่งสำคัญ และหลังจากนั้นในวันที่ 28 มีนาคม 2017 คณะรัฐมนตรี เห็นชอบมาตรการสนับสนุนการผลิตรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย โดยมีมาตรการสนับสนุนการพัฒนายานยนต์แห่งอนาคต (รถยนต์ไฟฟ้า) 6 มาตรการดังนี้

1. มาตรการส่งเสริมการลงทุนเพื่อสร้างอุปทาน
2. มาตรการกระตุ้นตลาดภายในประเทศ
3. มาตรการเตรียมความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐาน
4. มาตรการจัดทำมาตรฐานรถยนต์ไฟฟ้า
5. มาตรการบริหารจัดการแบตเตอรี่
6. มาตรการอื่นๆ

เมื่ออุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า หรือเมื่อมีการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในท้องถนนมากขึ้น แบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า¹⁻¹ ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว มีความจำเป็นต้องถูกบริหารจัดการอย่างถูกวิธี เพื่อเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด ลดผลกระทบจากความเป็นพิษของวัสดุที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ และเพื่อรับมือปริมาณแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณมากในอนาคต การบริหารจัดการแบตเตอรี่จึงต้องถูกศึกษาเพื่อให้ภาครัฐ และเอกชนสามารถทำการรับมือได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และอาจเกิดการสร้างธุรกิจใหม่ในอุตสาหกรรมยานยนต์ของประเทศไทยในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการบริหารจัดการแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์หาโอกาสและข้อจำกัดการจัดตั้งธุรกิจบริหารจัดการแบตเตอรี่ในประเทศไทย
- 1.2.3 เพื่อเสนอแนวทางการจัดตั้งธุรกิจการบริหารจัดการแบตเตอรี่ในประเทศไทย

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 ยานยนต์ไฟฟ้า¹⁻² (Electric Vehicle, xEV) หมายถึง ยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว หรือยานยนต์ที่อาศัยเครื่องยนต์มาใช้ร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้า โดยสามารถแบ่งได้

¹⁻¹ ต่อจากนี้จะเรียกแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า ว่า แบตเตอรี่

¹⁻² ต่อจากนี้จะเรียกยานยนต์ไฟฟ้า ว่า xEV

เป็น 4 ประเภทหลัก คือ ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด¹⁻³ (Hybrid Electric Vehicle, HEV), ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด¹⁻⁴ (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV), ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่¹⁻⁵ (Battery Electric Vehicle, BEV) และ ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV)

1.3.2 แบตเตอรี่ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ แบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับรถ HEV, PHEV และ BEV

1.3.3 ลักษณะธุรกิจบริหารจัดการแบตเตอรี่ และลักษณะการแข่งขันของธุรกิจบริหารจัดการแบตเตอรี่ จะถูกนำเสนอโดยใช้ Business Model Canvas และ Five Forces Model ตามลำดับ

1.4 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์

แบตเตอรี่ถือเป็นอุปกรณ์สำคัญใน xEV ซึ่งทำหน้าที่เก็บพลังงานเพื่อใช้ในการขับเคลื่อน xEV เปรียบเสมือนถังน้ำมันเชื้อเพลิงของยานยนต์เครื่องยนต์สันดาป¹⁻⁶ภายใน โดยแบตเตอรี่ประกอบไปด้วย 3 ส่วน หลักๆ คือ ขั้วบวก (ขั้วแคโทด) ขั้วลบ (ขั้วแอโนด) และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยเมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งาน จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทด และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วลบ ส่งผลให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วลบไปขั้วบวกผ่านทางสวดโลหะเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่นำอิเล็กตรอนทำหน้าที่ส่งผ่านไอออนที่จำเป็นต่อการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจนกว่าแบตเตอรี่จะหมด แบตเตอรี่สามารถแบ่งตามหลักการทำงานได้ 2 ประเภทดังนี้

1. แบตเตอรี่แบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง หรือแบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ (Primary batteries)
2. แบตเตอรี่แบบอัดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ หรือแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ (Rechargeable batteries)

ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์เป็นแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ โดยมีองค์ประกอบทางเคมีของขั้วแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิที่ใช้ในรถยนต์หลายชนิด ดังนี้

1.4.1 แบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรด (Lead Acid Battery)

แบตเตอรี่ประเภทตะกั่วในปัจจุบันเป็นแบตเตอรี่ชนิดที่ใช้กันมากที่สุดในยานยนต์ โดยใช้เป็นแบตเตอรี่สำหรับติดเครื่องยนต์เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ชนิดนี้หาง่าย และมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ทำให้ราคาของแบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่สูงมากนัก แบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดนั้นมีขั้วบวกทำจากตะกั่วที่มีลักษณะพรุน (Porous lead) ขั้วลบทำจากตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ที่มีลักษณะพรุนเช่นกัน และมีการดกัมมะถัน หรือกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้นเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดมีความจุพลังงานต่อน้ำหนัก และปริมาตรต่ำ การใช้งานในยานยนต์จึงมักใช้สำหรับติดเครื่องยนต์เพียงเท่านั้น แต่ก็ยังมีการนำไปใช้กับ xEV ขนาดเล็กด้วยเช่นกัน

1.4.2 แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิลแคดเมียม (Nickel-Cadmium Battery)

แบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียมเป็นแบตเตอรี่ทุติยภูมิชนิดอัลคาไลน์ชนิดแรก โดยชื่ออัลคาไลน์นั้นมาจากสารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ ซึ่งมีธาตุที่อยู่ในหมู่อัลคาไลน์เป็นส่วนประกอบ แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิลแคดเมียมมีขั้วบวก

¹⁻³ ต่อจากนี้จะเรียกยานยนต์ไฟฟ้าประเภทไฮบริด ว่า HEV

¹⁻⁴ ต่อจากนี้จะเรียกยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด ว่า PHEV

¹⁻⁵ ต่อจากนี้จะเรียกยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ ว่า BEV

¹⁻⁶ ต่อจากนี้จะเรียกเครื่องยนต์สันดาปภายใน ว่า ICE

ผลิตมาจากนิกเกิลออกไซด์ ($\text{NiO}(\text{OH})$) ขั้วลบผลิตมาจากแคดเมียม (Cd) และมีสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นอิเล็กโทรไลต์

1.4.3 แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH Battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้อาศัยปฏิกิริยาเคมีที่มีขั้วลบซึ่งเป็นโลหะผสมที่สามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนจนเกิดเป็นเมทัลไฮไดรด์ได้ โดยโลหะพวกนี้มักมีสูตรเคมีอยู่ในรูป AB_2 หรือ AB_5 เช่น ZrNi_2 หรือ LaNi_5 ส่งผลให้แบตเตอรี่ชนิดนี้มีความจุพลังงานสูงกว่าแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดมาก

การพัฒนาแบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ด้านอายุการใช้งาน และความปลอดภัย ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้ถูกนำไปใช้ใน HEV ในยุคแรกซึ่งผลิตโดย บริษัท โตโยต้า จำกัด โดยพัฒนาร่วมกับ บริษัท Panasonic EV Energy จำกัด อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมสำหรับ xEV เนื่องจากประสิทธิภาพโดยรวมแล้ว แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานใน xEV มากกว่า (ELIBAMA, 2014)

1.4.4 แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน (Li-ion Battery)

เนื่องจากข้อจำกัดทางความจุพลังงานของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ข้างต้น การพัฒนาแบตเตอรี่จึงมุ่งไปสู่การคิดค้นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยแร่ลิเทียมมีข้อได้เปรียบกว่าสารที่ใช้ในแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ ในด้านพลังงานต่อน้ำหนัก เนื่องจากลิเทียมเป็นแร่ที่มีน้ำหนักเบาที่สุดในตารางธาตุรองมาจากไฮโดรเจน และมีค่าความเสถียรต่ำซึ่งทำให้แบตเตอรี่ประเภทนี้มีค่าความต่างศักย์ และความจุพลังงานมากที่สุดเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทอื่นๆ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนในปัจจุบันใช้ LiCoO_2 (LCO) โลหะออกไซด์อื่นๆ หรือสารประกอบฟอสเฟต เช่น LiMn_2O_4 (LMO), LiNiO_2 (LNO), Li-Mn-Ni-Co-O_2 (NMC), LiFePO_4 (LFP) เป็นขั้วแคโทด และคาร์บอนเป็นขั้วแอโนด มีสารละลายอินทรีย์ของเกลือที่มี Li^+ เป็นส่วนประกอบ เป็นอิเล็กโทรไลต์

1.4.5 แบตเตอรี่ประเภทเมทัลแอร์ (Metal-Air Battery)

แบตเตอรี่ประเภท Metal – Air มีความหนาแน่นพลังงานสูง (ในทางทฤษฎี) ในอดีตได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่ประเภทนี้เพื่อใช้ในยานยนต์ โดยปัจจุบันมีเพียงแบตเตอรี่ Zn-Air เท่านั้นที่ได้รับการพัฒนา และทดสอบจริงกับยานยนต์ โดยแบตเตอรี่ประเภท Zn-Air มีขั้วแอโนดที่ผลิตจากสังกะสี และขั้วแคโทดคือก๊าซออกซิเจนจากอากาศ โดยเซลล์ประเภทนี้ต้องมีทางให้ออกซิเจนซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วบวกผ่านเข้ามาทำปฏิกิริยากะหว่างการคายประจุ นอกจาก Zn-Air แล้ว แบตเตอรี่ประเภท Li-Air และ Na-Air ถูกวิจัยและพัฒนา โดยบริษัท IBM จำกัด เพื่อใช้กับ xEV อีกด้วย

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1-1 จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีความเหมาะสมกับการใช้งานใน xEV เนื่องจาก มีค่าความจุพลังงานสูงที่สุด มีอายุการใช้งานนาน อัตราประจุไฟฟ้าได้รวดเร็ว ความต่างศักย์สูงกว่าซึ่งส่งผลให้ไม่จำเป็นต้องต่อแบตเตอรี่หลายเซลล์ และต้องการดูแลรักษาที่น้อยกว่า โดยข้อดีข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

Specifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific energy density (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Internal Resistance ¹ (mΩ)	<100 12V pack	100-200 6V pack	200-300 6V pack	150-300 7.2V	25-75 ² Per cell	20-50 ² Per cell
Cycle life ⁴ (80% discharge)	200-300	1000 ³	300-500 ³	500-1,000	500-1,000	1,000-2,000
Fast-charge time	8-16 h	1h typical	2-4 h	2-4 h	1h or less	1h or less
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low	Low Cannot tolerate trickle charge		
Self-discharge/month (roomtemp)	5%	20% ⁵	30% ⁵	<10% ⁵		
Cell voltage (nominal)	2V	1.2V ⁷	1.2V ⁷	3.6V ⁸	3.8V ⁸	3.3V
Charge cutoff voltage (V/Cell)	2.40 Float 2.25	Full charge detection by voltage signal		4.20		3.60
Discharge cutoff voltage (V/cell, 1C)	1.75	1.00		2.50-3.00		2.80
Peak load current (best result)	5C ⁹ 0.2C	20C 1C	5C 0.5C	>3C <1C	>30C <10C	>30C <10C
Charge temperature	-20 to 50°C	0 to 45°C		0 to 45°C ¹⁰		
Discharge temperature	-20 to 50°C	-20 to 65°C		-20 to 65°C		
Maintenance requirement	3-6 months ¹¹ (topping chg.)	30-60 days (discharge)	60-90 days (discharge)	Not required		
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection common		Protection circuit mandatory ¹²		
In use since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999

หมายเหตุ :

¹ ค่าความต้านทานของแพ็คแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับความจุทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (mAh) ประเภทของการต่อวงจรไฟฟ้า สายไฟ จำนวนเซลล์ ส่วน Battery management system สำหรับการป้องกันเซลล์แบตเตอรี่ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจะเพิ่มค่าความต้านทานประมาณ 100mΩ

² อ้างอิงจากเซลล์ขนาด 18650

³ อายุการใช้งาน (เป็นจำนวนครั้ง, Cycle life) จะขึ้นอยู่กับการบำรุงรักษา

⁴ อายุการใช้งาน (เป็นจำนวนครั้ง, Cycle life) จะขึ้นอยู่กับ Depth of discharge (DoD) หากใช้งานที่ DoD แคบๆ อายุการใช้งานจะยาวนานกว่า

⁵ ปริมาณการสูญเสียประจุขณะไม่ใช้งาน (Self-discharge) จะสูงที่สุดหลังจากที่ชาร์จ โดย NiCd จะสูญเสียประจุถึงร้อยละ 10 ใน 24 ชั่วโมงแรก และหลังจากนั้นลดลงร้อยละ 10 ทุกๆ 30 วัน ปริมาณการสูญเสียประจุขณะไม่ใช้งานจะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น

⁶ วงจรสำหรับระบบการป้องกันแบตเตอรี่ปกติแล้วจะกินพลังงานประมาณร้อยละ 3 ต่อเดือน

⁷ ค่าความต่างศักย์จริงอยู่ที่ 1.25V แต่ค่าที่มักใช้กันทั่วไปคือ 1.2V

⁸ ค่าความต้านทานภายในก่อให้เกิดค่าความต่างศักย์ที่ลดลงเมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งานกับอุปกรณ์ ดังนั้นแม้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจะมีค่าความต่างศักย์ที่มากกว่า เช่น 3.7V และ 3.8V ก็ยังสามารถใช้งานที่ความต่างศักย์ที่ 3.6V ได้

⁹ เมื่อใช้งานแบบ pulse (ระยะการใช้งานสั้นๆ)

¹⁰ ควรระวังไม่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

¹¹ ประเภทของการบำรุงรักษาจะเป็นการปรับระดับความดันของเซลล์ และการชาร์จเซลล์ให้เต็มเพื่อป้องกันการเสื่อมจากการเกิด sulfation

¹² เพื่อตัดแบตเตอรี่ไม่ให้เกิด over charge

ที่มา : คลัสเตอร์วิจัยด้านยานยนต์ (2017), รายงานการศึกษาเทคโนโลยี และนวัตกรรมยานยนต์ไฟฟ้า

ตารางที่ 1-2 ข้อดี และข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

แบตเตอรี่	ข้อดี	ข้อเสีย
Lead Acid	- มีราคาถูก และผลิตได้ง่าย - มีการพัฒนามานานแล้ว จึงมีความน่าเชื่อถือ - มีความทนทานสูง - มี Self-Discharge ต่ำ - ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก - ไม่เกิดปัญหา Memory Effect - Discharge ได้มาก - มีขนาดให้เลือกหลากหลาย	- ความหนาแน่นของพลังงานต่ำ - แบตเตอรี่จะเสื่อมสภาพเร็วหากไม่มีประจุ - ตะกั่ว และกรด เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม - มีระเบียบที่เข้มงวดในการขนส่ง
NiCd	- กำลังไฟสูง	- แคดเมียมเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม - มีปัญหา Memory Effect¹
NiMH	- กำลังไฟสูง - เมทัลไฮไดรด์ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม - ความหนาแน่นของพลังงานสูง - อายุการใช้งานนาน มีวัฏจักรการอัดประจุคายประจุสูง	- ราคาสูง - มีปัญหา Memory Effect
Li-ion	- ความหนาแน่นของพลังงานสูง - ไม่มีปัญหา Memory Effect - มี Self-Discharge ต่ำ	- อายุการใช้งานค่อนข้างสั้น - Cell internal resistance จะเพิ่มขึ้นตามรอบการอัดประจุ และอายุการใช้งาน - ต้องมีอุปกรณ์ และโครงสร้างด้านความปลอดภัย

หมายเหตุ : ¹ Memory Effect ส่งผลให้แบตเตอรี่สูญเสียความจุสูงสุดจากการชาร์จประจุเมื่อแบตเตอรี่ยังคงมีประจุอยู่

ที่มา : คลัสเตอร์วิจัยด้านยานยนต์ (2017), รายงานการศึกษาเทคโนโลยี และนวัตกรรมยานยนต์ไฟฟ้า

ถึงแม้ว่าแบตเตอรี่ที่ใช้ xEV จะมีหลายชนิด แต่ในปัจจุบันมีเพียง 3 ชนิดเท่านั้นที่นำมาใช้ใน xEV คือ แบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรด แบตเตอรี่ประเภทนิเกิลเมทัลไฮไดรด์ และแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน โดยแบตเตอรี่สมัยใหม่ (Modern Battery) ที่นิยมนำมาใช้นิยามยนต์ไฟฟ้า คือ แบตเตอรี่ประเภทนิเกิลเมทัลไฮไดรด์ และแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน ซึ่งแบตเตอรี่ประเภทนิเกิลเมทัลไฮไดรด์เป็นแบตเตอรี่สมัยใหม่ที่เริ่มใช้งานมานานที่สุด ซึ่งมีข้อดี คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำกว่าแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน แต่มีความจุหนาแน่นพลังงานต่ำกว่า ทำให้แบตเตอรี่ประเภทนิเกิลเมทัลไฮไดรด์นิยมใช้ในรถยนต์ HEV ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีเพียงค่ายรถยนต์ในเครือ Toyota (Toyota และ Lexus) เท่านั้นที่ยังใช้แบตเตอรี่ประเภทนิเกิลเมทัลไฮไดรด์กับรถยนต์ HEV อยู่ ในปัจจุบันการพัฒนาแบตเตอรี่ประเภทนิเกิลเมทัลไฮไดรด์จึงจะถูกแทนที่ด้วยแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน สืบเนื่องมาจากกำลังการผลิตแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำลง กอปรกับค่าความหนาแน่นพลังงานที่สูงเหมาะสมกับการใช้งานในรถยนต์ PHEV และ BEV มากกว่า ทำให้ค่ายรถยนต์ส่วนใหญ่หันมาใช้แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน แทนแบตเตอรี่ประเภทนิเกิลเมทัลไฮไดรด์ ดังแสดงในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3 ตัวอย่างรถยนต์ xEV ที่จำหน่ายในประเทศไทย

Battery Type	Brand	Model
Ni-MH Battery	Toyota	Prius, Camry Hybrid, Alphard Hybrid, C-HR
	Lexus	Rx450h, Gs300h, Nx300h, Es300h, Ct200h, Nx300h, Is300h.
Li-ion Battery	Lexus	Ls500h
	Honda	Accord Hybrid
	Nissan	X-Trial, Leaf
	Kia	Soul EV
	BMW	330e, 530e, 740Le, x5 xDrive40e, i3, i8
	Mercedes Benz	Gle500e, C350e, E350e, S500e
	Volvo	S90, Xc60, Xc90

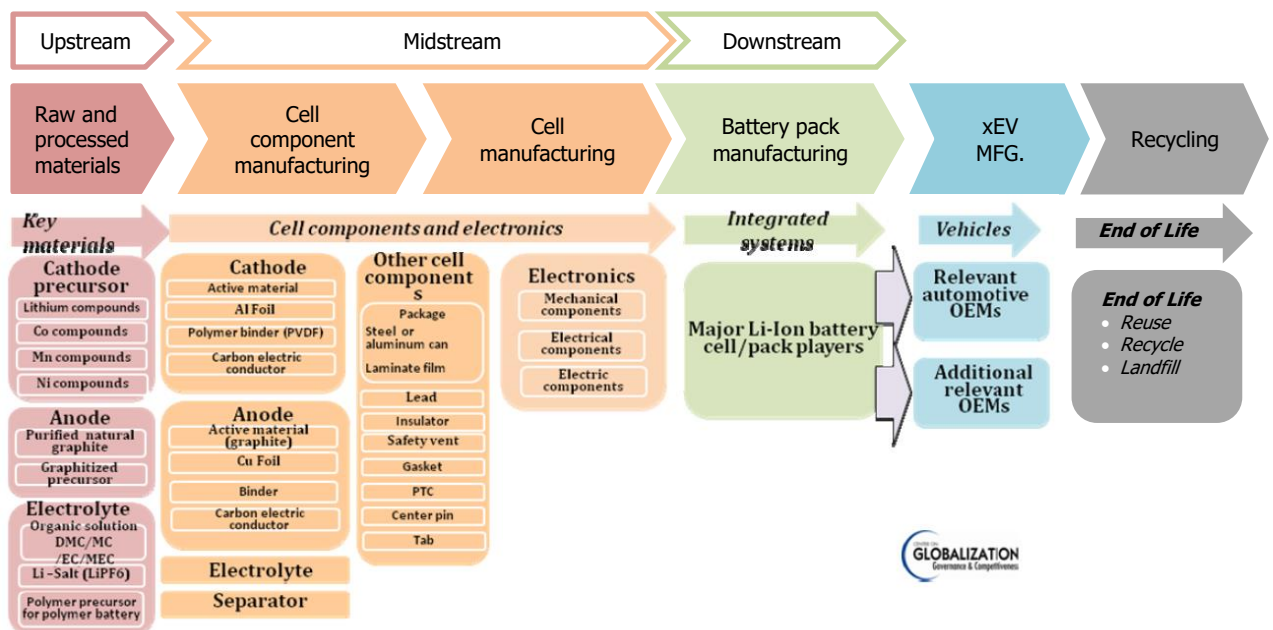
บทที่ 2 โครงสร้างอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์

ก่อนที่จะพิจารณาถึงการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า (xEV)²⁻¹ ที่สิ้นสภาพการใช้งานแล้ว จำเป็นต้องทราบถึงโครงสร้างอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ก่อน เพื่อให้ทราบถึงความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการกำจัดหรือนำกลับมาใช้ใหม่ และความเป็นไปได้ในการเข้าสู่ธุรกิจ ทั้งนี้ อุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ จำแนกได้เป็น 3 อุตสาหกรรมย่อยได้แก่

- (1) อุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream) คือ การผลิตวัตถุดิบ (Raw and processed materials) ได้แก่ การผลิตแคโทด (Cathode) แอโนด (Anode) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และเยื่อกั้นที่มีรูพรุน (Separator)
- (2) อุตสาหกรรมกลางน้ำ (Midstream) คือ การผลิตเซลล์แบตเตอรี่ (Cell manufacturing)
- (3) อุตสาหกรรมปลายน้ำ (Downstream) คือ การแพ็ก (Battery Pack) แบตเตอรี่เข้ากับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ (Integrated System) เพื่อเตรียมนำไปประกอบกับรถยนต์ไฟฟ้า (xEV Manufacturing)

โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ภาพที่ 2-1 ห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนของ xEV



ที่มา: (Lowe, et al., 2010)

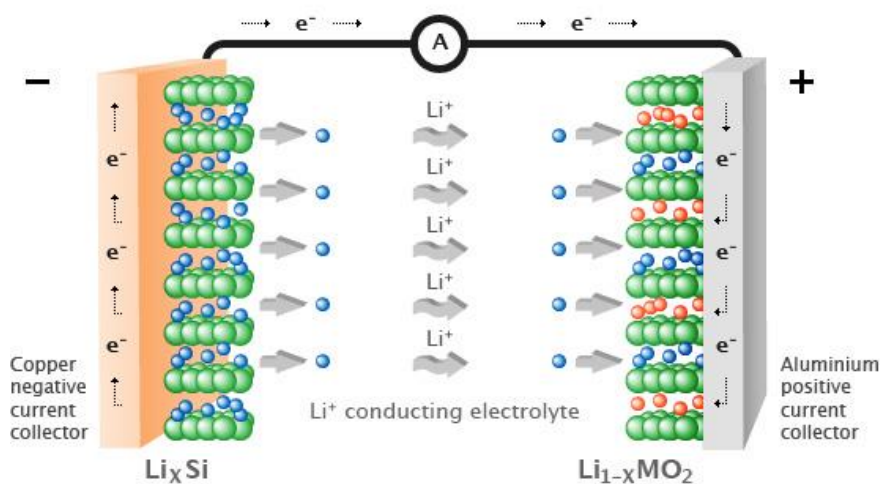
2.1 อุตสาหกรรมต้นน้ำการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์

การผลิตไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์แบตเตอรี่ โดยเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ประกอบด้วยสี่ส่วนหลัก ได้แก่ ขั้วแคโทด (Cathode) ขั้วแอโนด (Anode) สารละลายอิเล็กโทรไลต์

²⁻¹ ต่อจากนี้จะเรียกว่าแบตเตอรี่

(Electrolyte) และเยื่อกั้นที่มีรูพรุน (Separator) ซึ่งทั้งสองส่วนก่อให้เกิดไฟฟ้าได้ ดังนี้ เมื่ออยู่ในกระบวนการปล่อยประจุไฟฟ้า ที่ขั้วแอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้อะตอมสูญเสียอิเล็กตรอนออกไปทางลวดตัวนำไปสู่ขั้วแคโทด และในขณะเดียวกันอะตอมลิเทียมที่สูญเสียอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนไปเป็นประจุลิเทียม และเคลื่อนที่ไปสูขั้วแคโทดผ่านทางสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเยื่อกั้นที่มีรูพรุนภายในเซลล์แบตเตอรี่ เมื่อประจุลิเทียม และอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปสูขั้วแคโทดแล้ว จะเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่สารรับอิเล็กตรอนเข้ามา โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน จะเกิดขึ้นที่บริเวณขั้วแอโนด และขั้วแคโทด ภายในเซลล์แบตเตอรี่ตามลำดับ ทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอน เพื่อสร้างเป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้งานได้ดังแสดงในภาพที่ 2-2

ภาพที่ 2-2 ส่วนประกอบ และการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน



ที่มา: (Nexxon, n.d.)

2.1.1 การผลิตขั้วแคโทด (Cathode)

ขั้วแคโทดผลิตขึ้นโดยนำวัสดุแคโทดมาลงบนผิวของแผ่นฟอยล์อลูมิเนียม หลังจากนั้นผ่านการอบแห้ง และรีดขั้วแคโทดให้มีความหนาตามที่ต้องการ ซึ่งชื่อของแคโทดจะเรียกตามแร่ธาตุที่ใช้เป็นวัสดุแคโทดของเซลล์แบตเตอรี่ อาทิ ลิเทียม นิกเกิล แมงกานีส โคบอล อลูมิเนียม เหล็ก และฟอสฟอรัส โดยขั้วแคโทดที่นิยมนำมาผลิตเป็นเซลล์แบตเตอรี่ใน xEV มี 3 ชนิด คือ Nickel Manganese Cobalt (NMC) Nickel Cobalt Aluminum (NCA) และ Lithium Ferrous (Iron) Phosphate (LFP) ทั้งนี้ ในแบตเตอรี่ลิเทียมประเภทต่าง ๆ จะประกอบด้วยปริมาณแร่ธาตุต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 สัดส่วนวัตถุดิบ/แร่ธาตุ ในขั้วแคโทดในเซลล์แบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

	NMC	NCA	LFP	LCO	LMO
ลิเทียม	4.56	2.40	2.79	4.50	4.99
นิกเกิล	19.26	20.31	-	-	-
แมงกานีส	9.01	-	-	-	34.23
โคบอล	9.67	20.39	-	38.24	-
อลูมิเนียม	-	9.33	-	-	-
เหล็ก	-	-	22.48	-	-
ฟอสฟอรัส	-	-	12.47	-	-

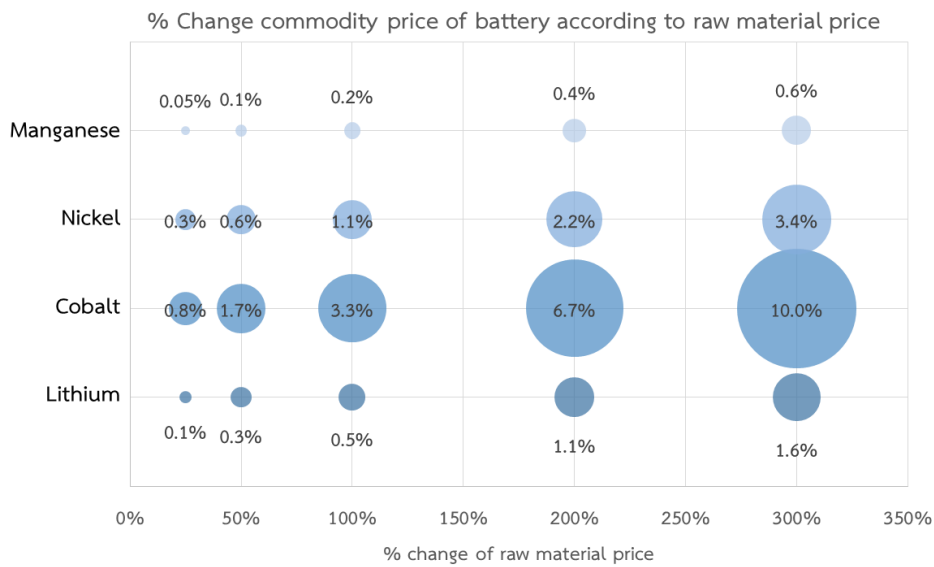
หมายเหตุ NMC คือ Nickel Manganese Cobalt NCA คือ Nickel Cobalt Aluminum
LFP คือ Lithium Ferrous (Iron) Phosphate LCO คือ Lithium Cobalt Oxide
LMO คือ Lithium Manganese Oxide

แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องด้วยราคาแร่ธาตุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ตามปริมาณอุปทานและอุปสงค์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงของราคาแร่ธาตุแต่ละชนิดส่งผลต่อราคาแบตเตอรี่ลิเทียมที่แตกต่างกัน โดยราคาแร่ธาตุที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาแบตเตอรี่มากที่สุดคือโคบอล รองลงมาคือ นิกเกิล ลิเทียม และแมงกานีส ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น หากราคาโคบอลเพิ่มขึ้นร้อยละ 100 จะส่งผลให้ราคาแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.3 แต่หากเป็นราคาลิเทียมเพิ่มขึ้นร้อยละ 100 จะส่งผลให้ราคาแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5 เป็นต้น (แสดงดังในภาพที่ 2-3) สาเหตุที่ทำให้ราคาโคบอลมีผลต่อราคาแบตเตอรี่มากที่สุด เนื่องจาก ปัจจัยด้านอุปทานและอุปสงค์ของแร่โคบอล กล่าวคือ ในด้านอุปทานประเทศคองโกซึ่งมีกำลังการผลิตโคบอลมากที่สุดในโลก (ร้อยละ 54 ของปริมาณผลิตทั้งหมด) ยังมีปัญหาทางการเมือง และขาดแคลนระบบสาธารณสุขโรค อีกทั้งการผลิตโคบอลเป็นผลพลอยได้จากการผลิตแร่ชนิดอื่น จึงส่งผลให้กำลังการผลิตแร่โคบอลไม่แน่นอน สำหรับในด้านอุปสงค์ แร่โคบอลถูกนำไปใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น แบตเตอรี่ การผลิตโลหะ และอุตสาหกรรมเคมี ดังนั้น ด้วยเหตุผลด้านอุปทานและอุปสงค์ดังกล่าว จึงทำให้โคบอลมีราคาค่อนข้างสูง

ในปี ค.ศ. 2015 มีความต้องการวัสดุแคโทด 140,000 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี ค.ศ. 2000 ที่มีความต้องการเพียง 1,500 ตัน หรือคิดเป็นอัตราเติบโตโดยรวมเฉลี่ย (CAGR) ร้อยละ 16 (ภาพที่ 2-4) ทั้งนี้ ร้อยละ 25 (โดยน้ำหนัก) ของวัสดุแคโทดทั้งหมดถูกใช้ในการผลิตแบตเตอรี่เพื่อใช้งานใน xEV และแหล่งผลิตวัสดุแคโทดที่สำคัญอยู่ในทวีปเอเชีย โดยประเทศจีนมีสัดส่วนการผลิตมากที่สุด ร้อยละ 39 (โดยน้ำหนัก) รองลงมาเป็นประเทศญี่ปุ่นและเกาหลีใต้ที่ร้อยละ 19 และ 7 ตามลำดับ และมีการคาดการณ์ว่า ในปี ค.ศ. 2025 จะมีความต้องการวัสดุแคโทดเพิ่มเป็น 400,000 ตัน (Lebedeva, et al., 2016)

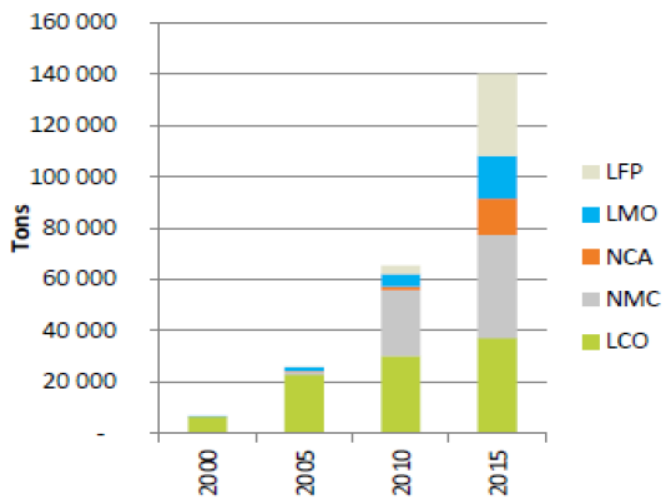
ผู้ผลิตรายใหญ่ในตลาดแคโทด มี 3 ราย ได้แก่ Umicore (เบลเยียม) Nichia (ญี่ปุ่น) และ Toda Kogyo (ญี่ปุ่น) ซึ่งมีปริมาณผลิตรวมกันประมาณร้อยละ 60 ของปริมาณผลิตทั้งหมด นอกนั้นเป็นผู้ผลิตรายใหม่ที่เริ่มเข้าสู่ตลาด อาทิ Reshine (จีน) L&F (เกาหลีใต้) ShanShanTech (จีน) และ Sumitomo (ญี่ปุ่น) รวมทั้งผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น BASF (เยอรมนี) Dow (สหรัฐอเมริกา) 3M (สหรัฐอเมริกา) DuPont (สหรัฐอเมริกา) Mitsubishi (ญี่ปุ่น) และ LG Chem (เกาหลีใต้) เริ่มสนใจในตลาดวัสดุแคโทดเช่นกัน

ภาพที่ 2-3 ราคาของวัตถุดิบ/แร่ธาตุที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน



ที่มา: (Bloomberg New Energy Finance, 2017)

ภาพที่ 2-4 ปริมาณความต้องการของแคโทด (Cathode) ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่าง ๆ



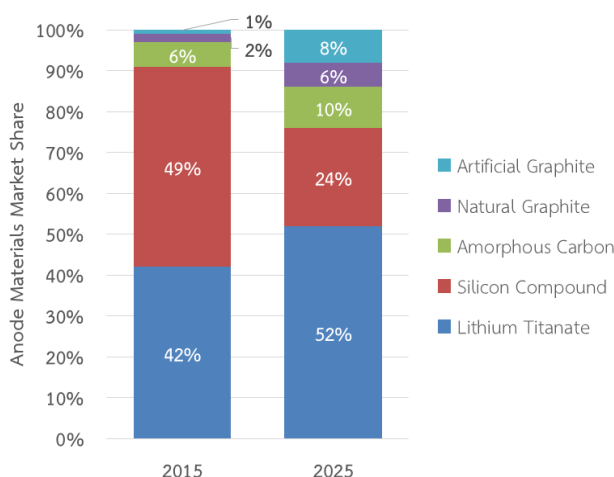
ที่มา: (Lebedeva, et al., 2016)

2.1.2 การผลิตขั้วแอโนด (Anode)

การผลิตขั้วแอโนดมีกรรมวิธีการผลิตคล้ายกับขั้วแคโทด กล่าวคือ นำวัสดุแอโนดมาลงบนผิวของแผ่นฟอยล์ทองแดง หลังจากนั้นนำไปผ่านการอบแห้ง และรีดขั้วแอโนดให้มีความหนาตามที่ต้องการ ซึ่งสิ่งที่แตกต่างกันระหว่างขั้วแอโนด และแคโทดก็คือ ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการผลิต ซึ่งแอโนดจะใช้แผ่นฟอยล์ทองแดงเป็นฐานให้วัสดุแอโนดมาทับอีกครั้งหนึ่ง และวัสดุแอโนดมีเพียงชนิดเดียว คือ คาร์บอน ซึ่งจะอยู่ในรูปแกรไฟต์ประเภทที่ใช้ทำแอโนดโดยเฉพาะ เนื่องจากต้องมีความบริสุทธิ์สูงมาก

ในปี ค.ศ. 2015 มีความต้องการของวัสดุแอโนดสูงถึง 76,000 ตัน ด้วยอัตราการเติบโตโดยรวมเฉลี่ย (CAGR) ปี ค.ศ. 2005-2015 ร้อยละ 14 ซึ่งร้อยละ 40 ของความต้องการวัสดุแอโนดเพื่อนำไปใช้ผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับ xEV โดยแบ่งเป็นวัตถุดิบที่มาจากแกรไฟต์สังเคราะห์ร้อยละ 49 และมาจากแกรไฟต์จากธรรมชาติ ร้อยละ 42 (ภาพที่ 2-5) และมีการคาดการณ์ว่าความต้องการของวัตถุดิบในตลาดจะเพิ่มเป็น 250,000 ตันในปี ค.ศ. 2025 และส่วนแบ่งทางตลาดของแกรไฟต์สังเคราะห์จะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 52 ในขณะที่ส่วนแบ่งทางตลาดของแกรไฟต์จากธรรมชาติจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 24 (Lebedeva, et al., 2016)

ภาพที่ 2-5 ส่วนแบ่งทางตลาดของวัสดุแอโนด (Anode) แต่ละชนิด



ที่มา : (Lebedeva, et al., 2016)

ผู้ผลิตแอโนดรายใหญ่มี 3 ราย ได้แก่ Hitachi Chemicals (ญี่ปุ่น) Nippon Carbon (ญี่ปุ่น) และ BTR Energy (จีน) ซึ่งมีส่วนแบ่งทางตลาดรวมกันร้อยละ 65 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ทั้งนี้ ผู้ผลิตรายใหม่ที่จะเข้าสู่ตลาดแอโนดมีจำนวนค่อนข้างน้อย ต่างจากการผลิตแคโทดที่มีผู้เล่นรายใหม่เข้าสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง

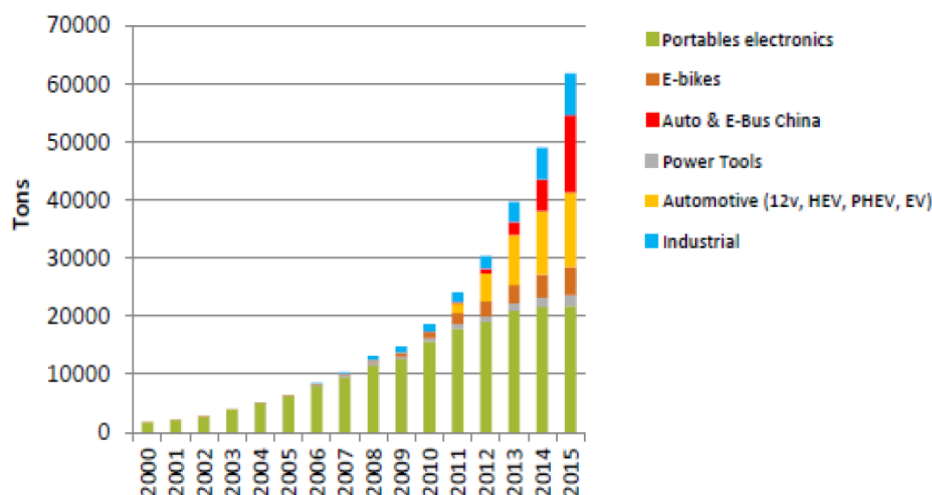
2.1.3 การผลิตอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้นเป็นส่วนผสมระหว่าง เกลือลิเทียม และ สารละลายอินทรีย์ เพื่อลดความหนืดของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเพิ่มความสามารถในการละลายของ เกลือลิเทียม ทำให้ความสามารถเคลื่อนที่ของประจุลิเทียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แบตเตอรี่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ด้วย โดยวัสดุที่นำมาใช้ทำอิเล็กโทรไลต์แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มได้ดังนี้

- 1) กลุ่มเกลือลิเทียม ได้แก่ ลิเทียมเฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต (LiPF_6) ลิเทียมเปอร์คลอเรต (LiClO_4) และ ลิเทียมเฮกซะฟลูออโรอาเซนเตต (LiAsF_6)
- 2) กลุ่มสารละลายอินทรีย์ ได้แก่ เอทิลเมทิลคาร์บอนเนต (EMC) ไดเมทิลคาร์บอนเนต (DMC) ไดเอทิลคาร์บอนเนต (DEC) โฟสฟีนคาร์บอนเนต (PC) และเอทิลคาร์บอนเนต (EC)
- 3) กลุ่มวัสดุที่ใช้ในการผลิตอิเล็กโทรไลต์แบบเจล (สำหรับใช้งานในแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมโพลิเมอร์) ได้แก่ โพลีเอทิลีนออกไซด์ (PEO) โพลีอะครีโลไนไตรด์ (PAN) โพลีไวนิลไคลด์ฟลูออไรด์ (PVDF) และโพลีเมทิลเมตาไครเลต (PMMA)

ในปี ค.ศ. 2015 มีความต้องการอิเล็กโทรไลต์ ประมาณ 62,000 ตัน ด้วยอัตราการเติบโตโดยรวมเฉลี่ย (CAGR) ปี ค.ศ. 2005-2015 ร้อยละ 14 (ภาพที่ 2-6) ซึ่งร้อยละ 33 ของความต้องการเพื่อนำไปใช้ผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับ xEV และเช่นเดียวกับวัสดุแคโทด และแอโนด ที่ผู้ผลิตส่วนใหญ่เป็นผู้ผลิตจากทวีปเอเชีย โดยประเทศจีนมีส่วนแบ่งการตลาดสูงที่สุดร้อยละ 60 รองลงมาคือประเทศญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ ร้อยละ 18 และ 14 ตามลำดับ ส่วนที่เหลือร้อยละ 7 เป็นผู้ผลิตที่มีบริษัทแม่อยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ตั้งโรงงานผลิตอยู่ในประเทศเกาหลีใต้ โดยผู้ผลิตรายใหญ่ ได้แก่ CapChem (จีน) Zhangjiagang Guotai-Huarong (จีน) ที่มี ส่วนแบ่งการตลาดร้อยละ 14 และ 13

ภาพที่ 2-6 ปริมาณความต้องการอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เพื่อผลิตสินค้าต่าง ๆ



ที่มา: (Lebedeva, et al., 2016)

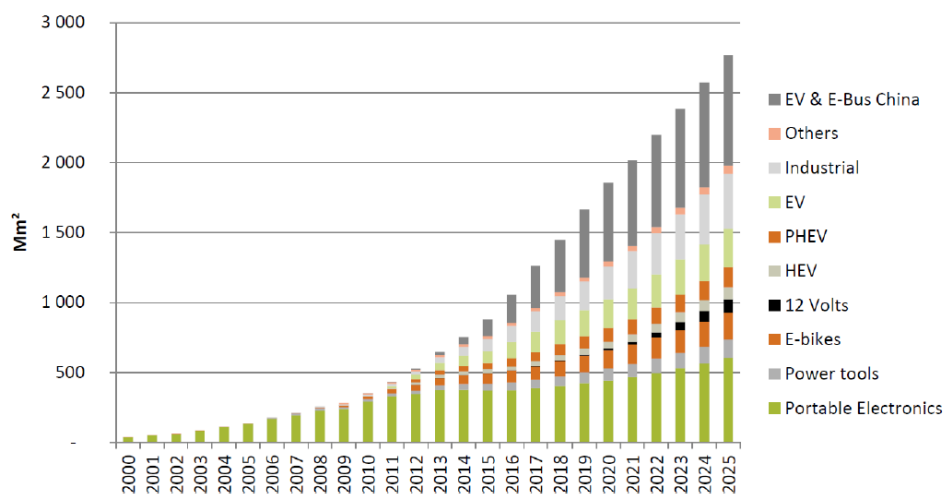
2.1.4 การผลิตแผ่นกั้น (Separator)

เยื่อกั้นที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนมีหน้าที่ป้องกันการสัมผัสกันของขั้วแคโทดและแอโนด นอกจากนั้นแผ่นกั้นยังมีหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเซลล์แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงเกินค่าที่กำหนด โดยตัวแผ่นกั้นจะหลอมละลายทำให้โครงสร้างที่เป็นรูพรุนหายไป ส่งผลให้ประจุลิเทียมไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านแผ่นกั้นได้

เซลล์แบตเตอรี่จึงหยุดการทำงานจากการหลอมละลายของแผ่นกั้น โดยแผ่นกั้นผลิตมาจากพลาสติกโพลีเมอร์ชนิด โพลีเอทิลีน (PE) และโพลีโพรพิลีน (PP)

ในปี ค.ศ. 2015 ความต้องการแผ่นกั้นสำหรับการใช้งานในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีปริมาณ 900 ล้าน ตารางเมตร เพิ่มขึ้นจากปี ค.ศ. 2005 ที่มีเพียง 220 ล้านตารางเมตร ด้วยอัตราการเติบโตโดยรวมเฉลี่ย (CAGR) ร้อยละ 15 โดยร้อยละ 30 ของแผ่นกั้นในตลาดถูกนำไปใช้ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับ xEV และมีการคาดการณ์ว่า ผลจากการเติบโตของตลาด xEV จะทำให้ตลาดของแผ่นกั้นนั้นเติบโตอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการเติบโตโดยรวมเฉลี่ยร้อยละ 12 จนตลาดมีขนาด 2,700 ล้านตารางเมตรในปี ค.ศ. 2025 (ภาพที่ 2-7) ในลักษณะเดียวกันกับตลาดของแคโทด แอโนด และอิเล็กโทรไลต์ ที่ส่วนแบ่งทางตลาดส่วนใหญ่เป็นของผู้ผลิตที่อยู่ในเอเชีย โดยประเทศญี่ปุ่นมีส่วนแบ่งตลาดมากที่สุดร้อยละ 48 รองลงมาคือประเทศจีนและเกาหลีใต้ ที่ร้อยละ 17 และ 10 ตามลำดับ โดยผู้ผลิตที่มีส่วนแบ่งทางตลาดสูงที่สุด 3 อันดับคือ Asahi Kasei (ญี่ปุ่น) Toray (ญี่ปุ่น) และ SK (เกาหลีใต้)

ภาพที่ 2-7 ปริมาณความต้องการแผ่นกั้น (Separator) เพื่อผลิตสินค้าต่าง ๆ



ที่มา: (Lebedeva, et al., 2016)

ทั้งนี้ สามารถสรุปการทำงานของแต่ละชิ้นส่วน และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้ดังแสดงใน ตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 การทำงาน และวัตถุดิบของชิ้นส่วนหลักในเซลล์แบตเตอรี่

ชิ้นส่วน	การทำงาน	วัตถุดิบ
ขั้วแคโทด	- ปลอยประจุลิเทียมสู่แอโนดขณะประจุไฟฟ้า - รับประจุลิเทียมขณะปลอยประจุไฟฟ้า	ผงลิเทียมเมทัลออกไซด์
ขั้วแอโนด	- รับประจุลิเทียมจากแคโทดขณะประจุไฟฟ้า - ปลอยประจุลิเทียมขณะปลอยประจุไฟฟ้า	ผงแกรไฟต์
อิเล็กโทรไลต์	- ส่งผ่านประจุลิเทียมระหว่างแคโทด และแอโนด - เป็นตัวกลางส่งประจุลิเทียมผ่านรูพรุนของแผ่นกั้น	เกลือลิเทียม และตัวทำละลายอินทรีย์
แผ่นกั้น	- ป้องกันการลัดวงจร ระหว่างแคโทด และแอโนด	เยื่อกั้นที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน

ที่มา: (Lowe, et al., 2010)

2.2 อุตสาหกรรมกลางน้ำการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์

อุตสาหกรรมกลางน้ำของการผลิตแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนของ xEV ประกอบด้วย การนำวัตถุดิบทั้ง 4 ประเภท ที่ได้กล่าวไปในหัวข้อก่อนหน้านี้ มาผลิตเป็นเซลล์แบตเตอรี่ (Cell) (ภาพที่ 2-8) เพื่อจะนำไปประกอบร่วมกับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นโมดูล (Module) (ภาพที่ 2-9) และแพ็ก (Pack) (ภาพที่ 2-10) แบตเตอรี่ตามลำดับในขั้นตอนต่อไป โดยกระบวนการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ (Cell manufacturing) มีขั้นตอนดังนี้

- 1) กระบวนการ Mixer คือ การผสมวัตถุดิบขั้วอิเล็กโทรดของแบตเตอรี่ โดยมีวัตถุดิบหลักคือ คาร์บอนสำหรับขั้วแอโนด และโลหะลิเทียมออกไซด์ร่วมกับสารตัวนำเป็นวัตถุดิบสำหรับขั้วแคโทด ซึ่งต้องทำให้วัสดุมีความเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่แตก หรือแยกตัวออกมาเป็นชิ้นเล็ก ๆ
- 2) กระบวนการ Coating คือ การเคลือบขั้วแอโนดและแคโทดด้วยวัสดุรวบรวมประจุ (Electrode Collector) เพื่อให้ขั้วแคโทดและแอโนดสามารถเก็บประจุที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีของแบตเตอรี่ได้ โดยที่ขั้วแอโนดใช้ทองแดงและแคโทดใช้อลูมิเนียม ซึ่งการเคลือบต้องทำให้วัสดุเคลือบผิวมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และมีความหนาที่ 150-300 ไมครอน
- 3) กระบวนการ Compressing คือ การอัดขั้วอิเล็กโทรดที่ผ่านการเคลือบมาแล้ว เพื่อลดรูพรุนในเนื้อวัสดุ โดยทำให้สารละลายที่ผสมมากับวัตถุดิบในการเคลือบขั้วอิเล็กโทรดระเหยออกไปโดยการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และต้องระวังไม่ให้วัสดุเกิดรอยแตกขึ้น
- 4) กระบวนการ Drying คือ การอบขั้วอิเล็กโทรดเพื่อลดความชื้นที่หลงเหลืออยู่
- 5) กระบวนการ Slitter หรือ Puncher คือ กระบวนการตัดแผ่นฟิล์มที่ใช้ในการแยกขั้วแคโทดและแอโนดออกจากกัน ซึ่งต้องใช้เครื่องมือตัดที่มีความละเอียดสูง และหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดรอยย่น หรือเศษติดบนแผ่นฟิล์ม
- 6) กระบวนการ Assembly คือ กระบวนการประกอบเซลล์แบตเตอรี่เข้าด้วยกัน แต่ยังไม่ทำการปิดเซลล์ให้สนิท ซึ่งการประกอบเซลล์แบตเตอรี่จำเป็นต้องใช้กรรมวิธีการประกอบที่มีความแม่นยำสูงถึง 0.1 มิลลิเมตร

- 7) กระบวนการ Filling คือ กระบวนการเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์เข้าไปในเซลล์แบตเตอรี่ที่ประกอบเสร็จแล้ว หลังจากนั้นต้องปิดเซลล์ให้เรียบร้อย เนื่องจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นพิษเมื่อสัมผัสกับความชื้นในอากาศ จึงมีความจำเป็นต้อง Filling ในห้องปลอดความชื้น และ ต้องทำด้วยความรวดเร็ว เพื่อไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่
- 8) กระบวนการ Formation หรือ Aging คือ กระบวนการประจุ (Charge) และคาย (Discharge) ประจุแก่เซลล์แบตเตอรี่ โดยจะดำเนินกระบวนการประจุและคายประจุสลับกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อค่อยๆ เพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ขึ้นเรื่อย ๆ ใช้เวลาประมาณ 2-4 สัปดาห์ ซึ่งกระบวนการนี้มีความสำคัญเนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของแบตเตอรี่ และมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายได้
- 9) กระบวนการ Grading คือ กระบวนการตรวจวัดคุณสมบัติของเซลล์แบตเตอรี่หลังจาก Formation แล้ว เพื่อให้แบตเตอรี่มีคุณสมบัติตามที่ผู้ผลิตต้องการ และแบ่งเซลล์แบตเตอรี่ที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ กันตามเกรด
- 10) กระบวนการ Packaging คือ กระบวนการแบ่งเซลล์แบตเตอรี่ออกไปตามเกรดของเซลล์นั้น ๆ และขนส่ง ซึ่งจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัย เนื่องจากลิเทียมแบตเตอรี่มีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดอัคคีภัยได้ถ้าเซลล์แบตเตอรี่ได้รับความเสียหาย

ภาพที่ 2-8 เซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

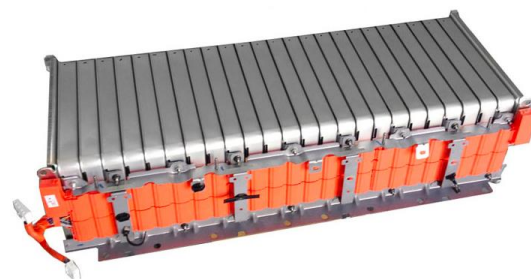


ที่มา: (Smith, 2015)

ภาพที่ 2-9 โมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน



Cylindrical Battery



Module Pouch Battery Module

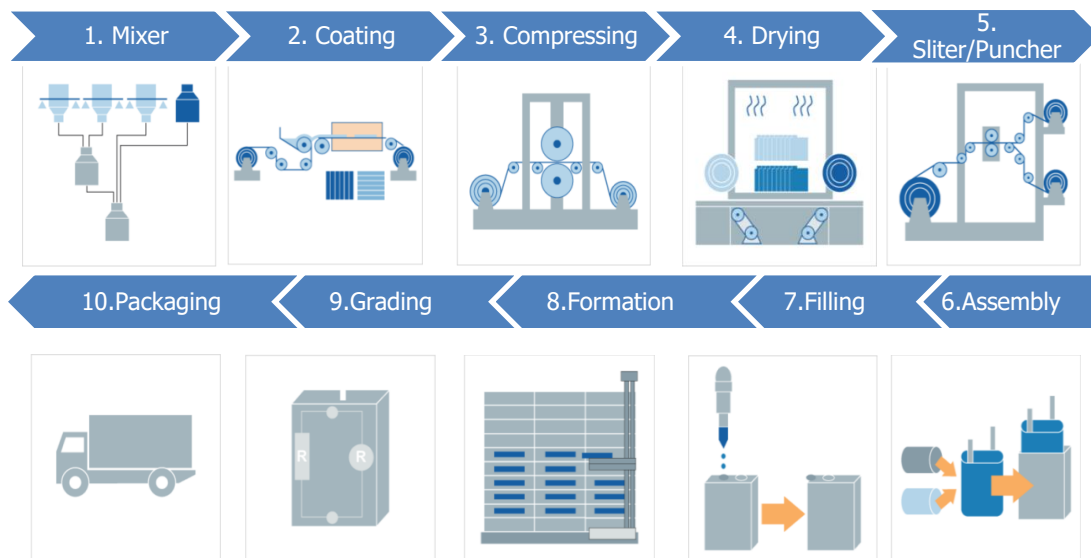
ที่มา: (Phys.org, 2009), (TDILLARD, 2015)

ภาพที่ 2-10 แพ็กแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน



ที่มา: (Qnovo, 2015)

ภาพที่ 2-11 กระบวนการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน

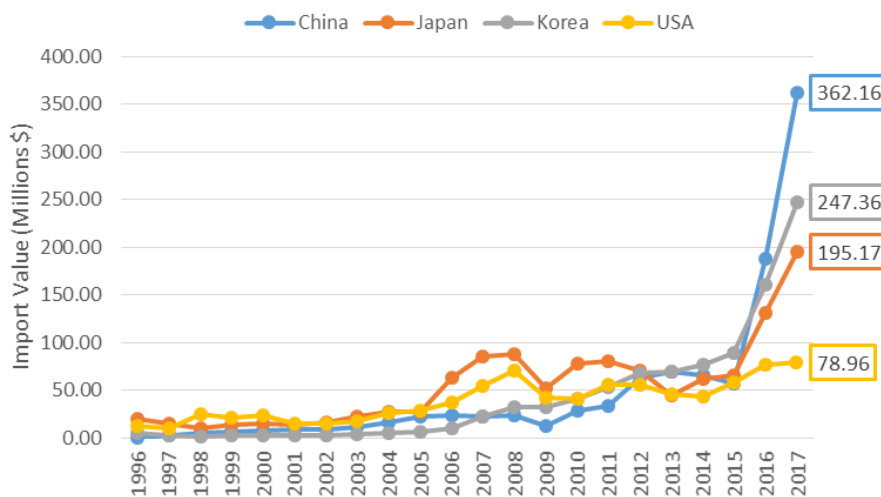


ที่มา: (Siemens, n.d.)

การผลิตชิ้นส่วนของเซลล์แบตเตอรี่และประกอบเซลล์แบตเตอรี่นั้น มีความจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการผลิตที่มีความแม่นยำสูงเนื่องจากชิ้นส่วนของเซลล์แบตเตอรี่มีขนาดเล็ก ทำให้มีพื้นที่ในการผิดพลาดต่ำ ดังนั้น การผลิตเซลล์แบตเตอรี่สามารถทำได้ยาก หากไม่มีความรู้หรืออุปกรณ์ในเรื่องดังกล่าว แต่เมื่อวัตถุดิบถูกแปรรูปเป็นเซลล์แบตเตอรี่แล้ว ถึงแม้จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการขนส่ง แต่ในปัจจุบันเซลล์แบตเตอรี่มีการขนส่งเพื่อนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อยู่แล้ว ไม่ใช่แค่ในอุตสาหกรรมยานยนต์ แต่รวมถึงภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่นำแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนไปผลิตต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ มาเป็นเวลานาน เป็นผลทำให้ผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่นั้นมีการผลิตที่มากและมีความเชี่ยวชาญการขนส่งแบตเตอรี่ให้กับลูกค้าที่อยู่ห่างไกลในต่างประเทศได้อย่างปราศจากปัญหาการขนส่งแร่เพื่อนำมาผลิตเป็นเซลล์แบตเตอรี่สามารถขนส่งได้ทั่วโลก โดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องสถานที่ตั้งโรงงานผลิตชิ้นส่วนเซลล์แบตเตอรี่ต้องอยู่ใกล้แหล่งแร่ โดยเมื่อพิจารณาจากมูลค่าการนำเข้าลิเทียม พบว่า ประเทศจีน ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้มีมูลค่าการนำเข้าลิเทียมสูงที่สุดในโลก (ภาพที่ 2-12) ซึ่งสอดคล้องกับการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ที่มีโรงงานจำนวนมากตั้งอยู่ในบริเวณประเทศ

จีน ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ (ภาพที่ 2-13) ทั้งนี้ เนื่องจากทั้ง 3 ประเทศเป็นผู้ผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนรายใหญ่ของโลก จากที่เป็นประเทศที่ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวนมากซึ่งเป็นสินค้าที่มีการใช้เซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอยู่ก่อนแล้ว ประเทศเหล่านี้จึงมีองค์ความรู้เกี่ยวกับการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ และสามารถนำองค์ความรู้มาใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับใช้ใน xEV ได้ โดยมีผู้ผลิตรายสำคัญ อาทิ Panasonic (ญี่ปุ่น) Samsung SDI (เกาหลีใต้) LG Chem (เกาหลีใต้) AESC (ญี่ปุ่น) GS Yuasa (ญี่ปุ่น) Li energy Japan (ญี่ปุ่น) BYD (จีน) Wanxiang (จีน) Lishen Tianjing (จีน) และ Toshiba (ญี่ปุ่น)

ภาพที่ 2-12 แนวโน้มมูลค่าการนำเข้าลิเทียมของประเทศจีน ญี่ปุ่น และเกาหลี



ที่มา: (Global Trade Atlas, 2017)

ภาพที่ 2-13 ความสามารถในการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ ในประเทศต่าง ๆ ของปี ค.ศ. 2016

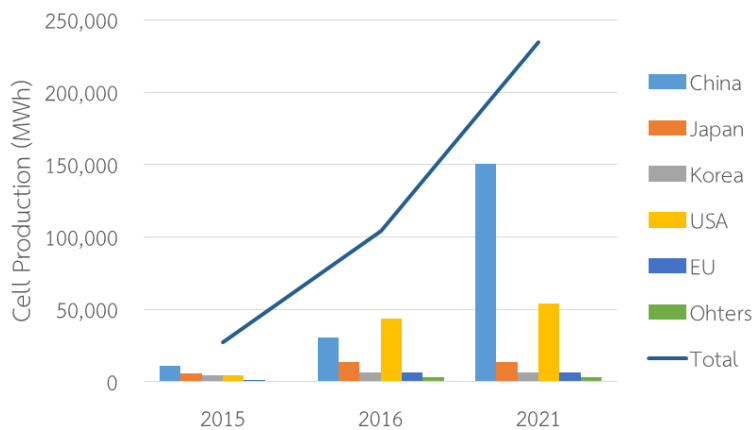


ที่มา: (Chung, et al., 2016)

ใน ปี ค.ศ. 2015 ประเทศจีน เกาหลี และญี่ปุ่น มีกำลังการผลิตเซลล์แบตเตอรี่สำหรับใช้ใน xEV สูงเป็น 3 อันดับแรกของโลก โดยมีกำลังการผลิตรวมกัน 21.6 กิกะวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 78.6 ของความสามารถการผลิตทั่วโลก โดยประเทศจีนมีกำลังการผลิตสูงที่สุด 11.2 กิกะวัตต์ชั่วโมง รองลงมาคือประเทศญี่ปุ่น 5.8 กิกะวัตต์ชั่วโมง เกาหลีใต้และสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีกำลังการผลิตเท่ากันที่ 4.6 กิกะวัตต์ชั่วโมง กระทั่งปี ค.ศ. 2016 เมื่อบริษัท Tesla ได้เริ่มต้นผลิตแบตเตอรี่ที่โรงงาน Gigafactory ส่งให้ประเทศสหรัฐอเมริกามีกำลังการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ถึง 43.9 กิกะวัตต์ชั่วโมง กลายเป็นประเทศที่มีกำลังการผลิตเซลล์แบตเตอรี่สูงที่สุดในโลก แต่อย่างไรก็ตามในปี ค.ศ. 2021 ประเทศจีนมีแผนเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นเป็น 150 กิกะวัตต์ชั่วโมง ซึ่งจะส่งผลให้ประเทศจีน และสหรัฐอเมริกามีกำลังการผลิตเซลล์แบตเตอรี่สูงกว่าประเทศญี่ปุ่น ผู้ผลิตอันดับที่ 3 ที่มีกำลังการผลิตเพียง 13.6 กิกะวัตต์ชั่วโมง (ภาพที่ 2-14)²⁻²

³⁻² กำลังการผลิตจากโครงการเพิ่มกำลังการผลิตที่มีการประกาศแล้วเท่านั้น

ภาพที่ 2-14 กำลังการผลิตเซลล์แบตเตอรี่สำหรับการผลิต xEV



ที่มา: (Chung, et al., 2016), (Ryan, 2017)

2.3 อุตสาหกรรมปลายน้ำการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์

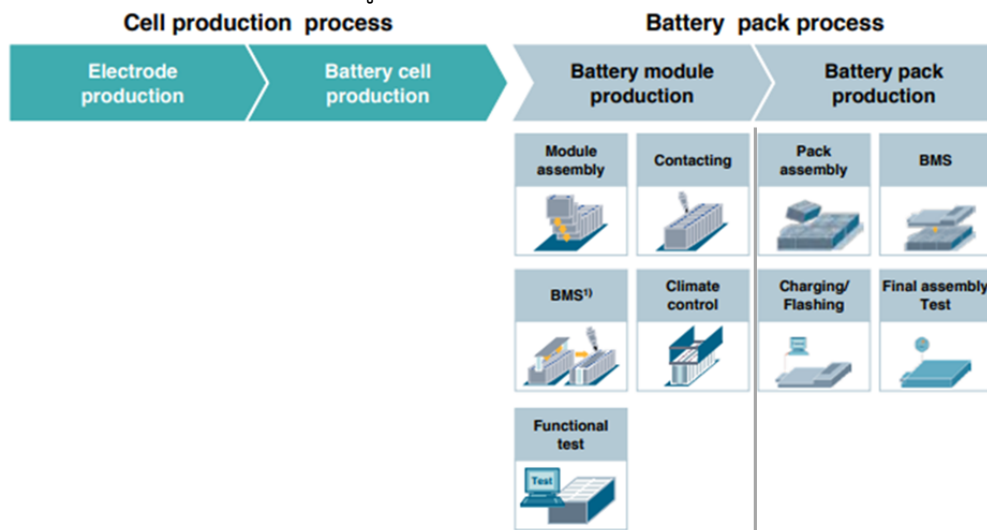
กระบวนการผลิตโมดูลและแพ็คเกจแบตเตอรี่ (Battery pack manufacturing) มีขั้นตอน ดังนี้

- 1) กระบวนการ Module Assembly เป็นขั้นตอนที่นำเซลล์แบตเตอรี่มาประกอบรวมกันเป็นโมดูลแบตเตอรี่ให้มีแรงดัน และความจุตามต้องการ
- 2) กระบวนการ Contacting คือ การนำเซลล์แบตเตอรี่ที่ถูกจัดเรียงแล้ว มาเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โดยวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ Spot Welding เนื่องจากทำได้ง่ายกว่า
- 3) กระบวนการ BMS Installing คือ การติดตั้งระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (Battery management system: BMS) ให้กับแต่ละโมดูล ซึ่ง BMS มีหน้าที่ตรวจวัดและควบคุมพฤติกรรมการทำงานของโมดูลแบตเตอรี่
- 4) กระบวนการ Climate Control Installing คือ การติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมขณะทำงาน
- 5) กระบวนการ Functional test เมื่อติดตั้งชิ้นส่วนต่าง ๆ เสร็จแล้ว โมดูลแต่ละโมดูลต้องถูกทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าแต่ละโมดูลสามารถทำงานได้ตามต้องการ

กระบวนการผลิตแพ็คเกจแบตเตอรี่มีรายละเอียด ดังนี้

- 1) กระบวนการ Pack Assembly คือ นำโมดูลแบตเตอรี่ประกอบรวมกันให้เป็นแพ็คเกจแบตเตอรี่
- 2) กระบวนการ BMS Installing คือ ติดตั้งระบบบริหารจัดการพลังงานของแพ็คเกจแบตเตอรี่ (BMS) โดย BMS ของแพ็คเกจจะทำงานร่วมกับ BMS ของโมดูล
- 3) กระบวนการ Charging/ Flashing คือ กระตุ้นแบตเตอรี่ด้วยการประจุไฟฟ้า เพื่อให้แพ็คเกจแบตเตอรี่สามารถทำงานได้
- 4) Final assembly test นำแพ็คเกจแบตเตอรี่ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้วไปทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าแพ็คเกจแบตเตอรี่ได้มาตรฐาน และทำงานได้ตามต้องการ

ภาพที่ 2-15 กระบวนการผลิตโมดูล และแพ็คเกจเตอรี่

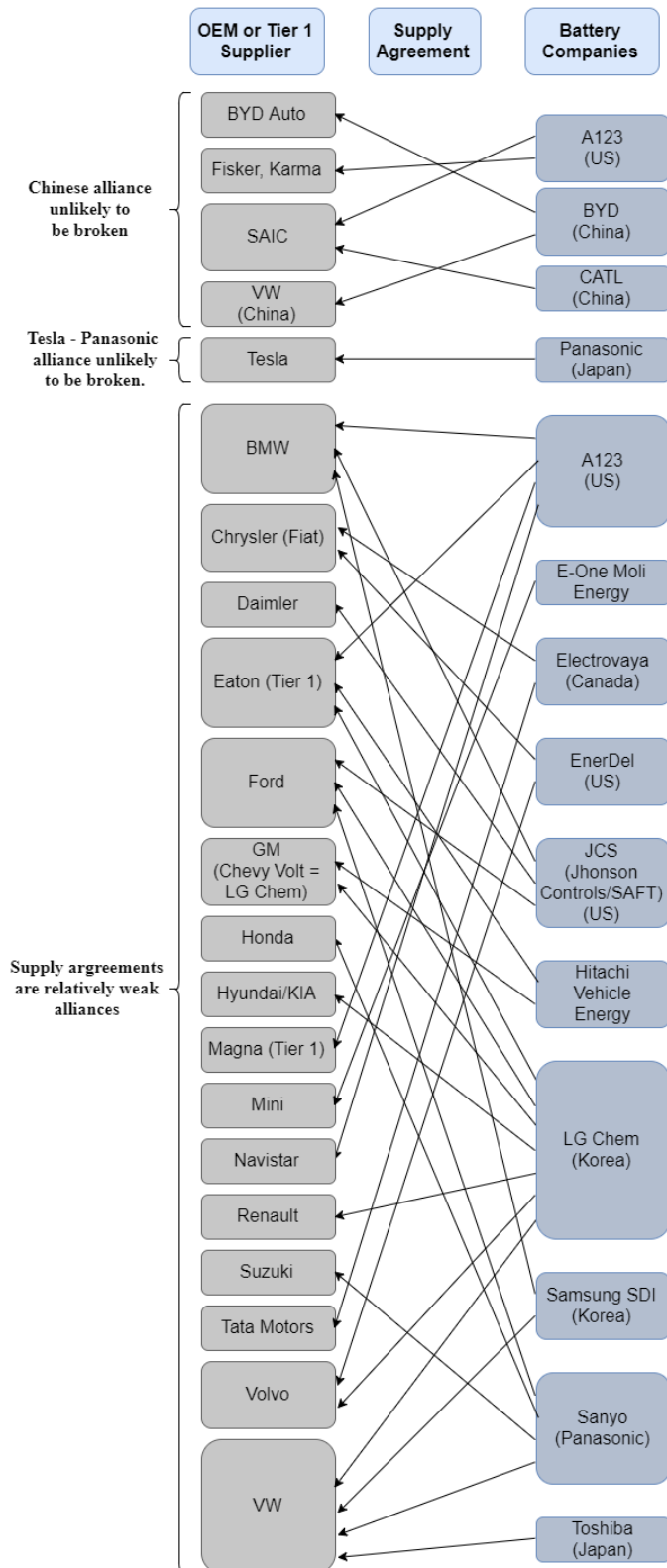


ที่มา: (Siemens, 2017)

รูปแบบ/แนวทาง การผลิตแพ็คเกจเตอรี่ของผู้ผลิตยานยนต์แต่ละรายมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสามารถการผลิตเซลล์แบตเตอรี่เป็นสำคัญ กล่าวคือ ผู้ผลิตรถยนต์ที่มีความสามารถผลิตเซลล์ เช่น BYD (จีน) Tesla (สหรัฐอเมริกา) จะเป็นผู้ผลิตตั้งแต่การผลิตเซลล์ไปจนถึงแพ็คเกจเตอรี่ ทำให้มีอำนาจควบคุมห่วงโซ่อุปทานในระดับสูง ในขณะที่ผู้ผลิตรถยนต์บางรายที่ไม่มีความสามารถผลิตเซลล์ เช่น Toyota Honda Nissan และ Mitsubishi (ญี่ปุ่น) แต่ต้องการมีอำนาจควบคุมในห่วงโซ่อุปทานจะใช้วิธีร่วมลงทุน (Joint Venture) ผลิตเซลล์แบตเตอรี่กับบริษัทผลิตเซลล์แบตเตอรี่ เช่น Toyota ร่วมลงทุนกับ Panasonic Honda ร่วมลงทุนกับ GS Yuasa Nissan กับ NEC และ Mitsubishi กับ GS Yuasa แล้วนำเซลล์ที่ได้มาผลิตเป็นแพ็คเกจเตอรี่ด้วยตนเอง สำหรับผู้ผลิตรถยนต์จากทวีปยุโรป (BMW และ Renault) และสหรัฐอเมริกา (Ford และ General Motors) จะใช้วิธีจัดหาโมดูล หรือแพ็คเกจเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่น ซึ่งทำให้มีอำนาจต่อรองในห่วงโซ่อุปทานในระดับต่ำ แต่อย่างไรก็ตามมีค่ายรถยนต์บางค่ายที่เห็นโอกาสเข้าไปซื้อธุรกิจผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่เพื่อผูกขาดการผลิตแบตเตอรี่ของบริษัทนั้น ๆ เช่น Wanxiang เข้าไปซื้อบริษัท A123 จากประเทศสหรัฐอเมริกา และ Daimler เข้าไปซื้อบริษัท Li-Tec และ Deutsche Accumotive จากประเทศเยอรมัน โดยค่ายรถยนต์ต่าง ๆ (ภาพที่ 2-16 และภาพที่ 2-17)

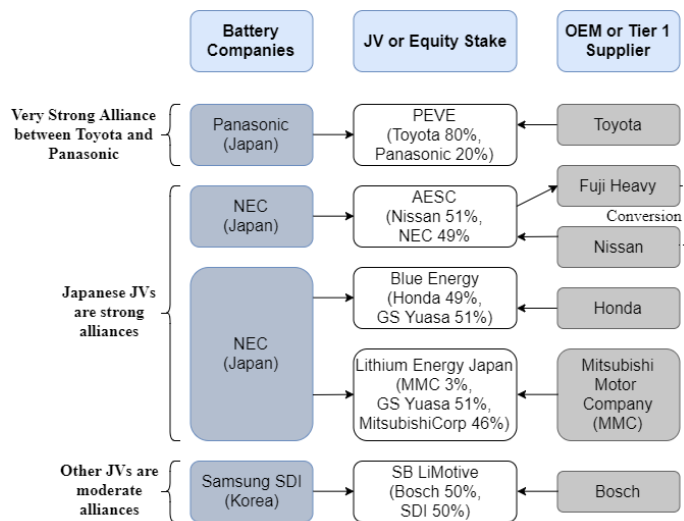
ภาพที่ 2-16 ความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า กับผู้ผลิตแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน

(1) รูปแบบ Supply Agreement

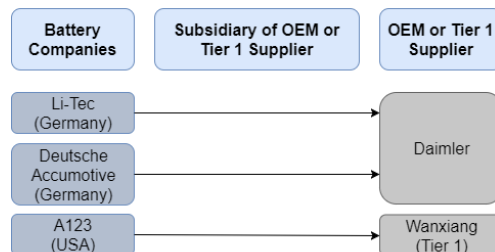


ภาพที่ 2-17 ความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า กับผู้ผลิตแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน (ต่อ)

(2) รูปแบบ Joint Venture



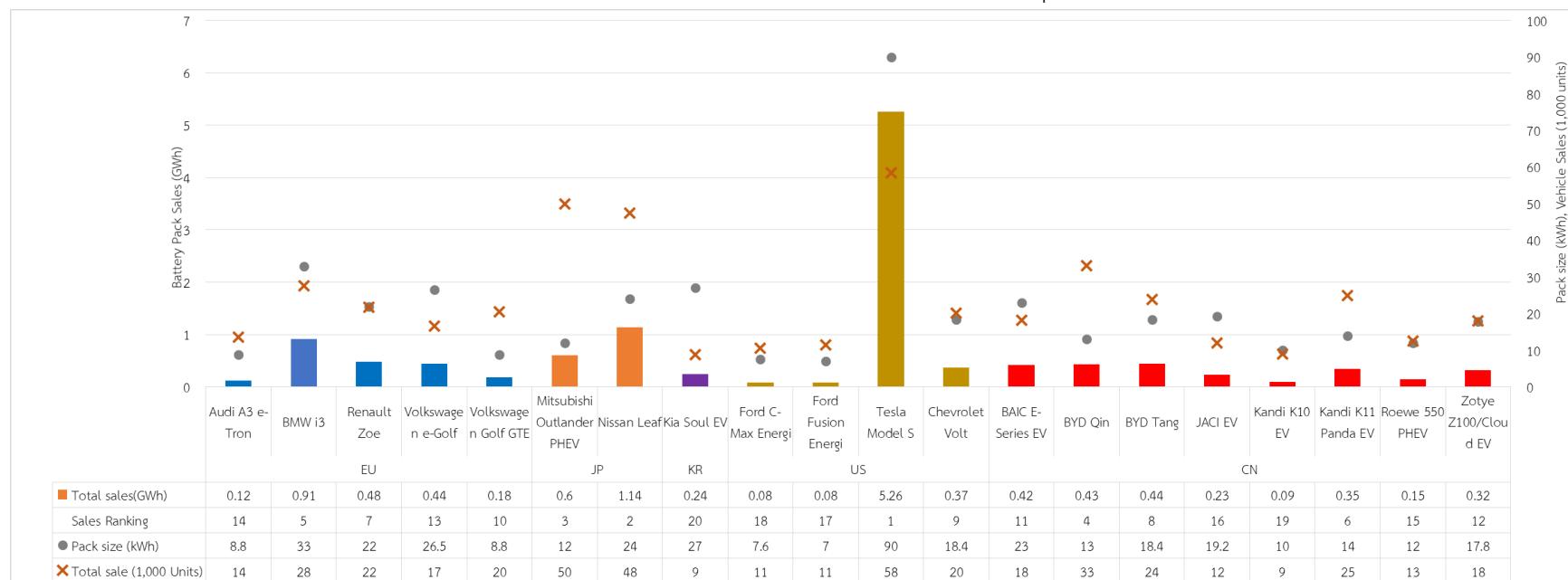
(3) รูปแบบ Subsidiary



ที่มา : ปรับปรุงจาก (Lowe, et al., 2010)

ในปี ค.ศ. 2015 รถยนต์ไฟฟ้าที่มียอดขาย 20 อันดับแรกของโลก มีความจุแบตเตอรี่รวมกัน 12.33 กิกะวัตต์ชั่วโมง หรือ คิดเป็นร้อยละ 45 ของกำลังการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ในปี ค.ศ. 2015 (ภาพที่ 2-18) โดยประเทศที่มีสัดส่วนมากที่สุดคือสหรัฐอเมริกาที่ 5.79 กิกะวัตต์ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 47 รองลงมาคือประเทศจีน 2.43 กิกะวัตต์ชั่วโมง หรือร้อยละ 20 โดยปริมาณจำหน่ายแพ็คเกจแบตเตอรี่ของสหรัฐอเมริกาส่วนใหญ่มาจากรถยนต์ Tesla Model S ที่มียอดขายเป็นอันดับ 1 ในปีค.ศ. 2015 โดยมียอดขายทั้งสิ้น 58,000 คัน นอกจากนั้น Tesla Model S ยังเป็น BEV ที่มีความจุแบตเตอรี่สูงที่สุดอีกด้วย โดยมีความจุอยู่ที่ 90 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่งผลให้แพ็คเกจแบตเตอรี่ของ Tesla Model S เพียงรุ่นเดียว มีปริมาณจำหน่าย 5.26 กิกะวัตต์ชั่วโมง หรือร้อยละ 43 ของปริมาณการจำหน่ายแพ็คเกจแบตเตอรี่ รองลงมาคือรถยนต์ Nissan Leaf มีปริมาณจำหน่าย 1.14 กิกะวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 9.25 ของปริมาณการจำหน่ายแพ็คเกจแบตเตอรี่ (ภาพที่ 2-18)

ภาพที่ 2-18 ปริมาณการจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้า และแพ็คเกจเตอรี่ของ 20 อันดับรถยนต์ไฟฟ้าที่ขายดีที่สุดในโลกปีค.ศ. 2015



ที่มา : (Lebedeva, et al., 2016)

2.4 การบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า (xEV) ที่ใช้งานแล้ว

เมื่อแบตเตอรี่ถูกนำไปใช้งานกระทั่งประสิทธิภาพลดลง จนไม่สามารถนำมาใช้งานกับรถยนต์ได้อีก โดยส่วนใหญ่จะมี 2 ประเภท คือ แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งาน และแบตเตอรี่เกิดความเสียหายจากการเกิดอุบัติเหตุ กรณีแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งาน (ค่าเฉลี่ยปัจจุบันประมาณ 9 ปี) ยังคงเหลือความจุแบตเตอรี่ประมาณร้อยละ 80 ของความจุทั้งหมด หากสามารถซ่อมแซมได้ เช่น เซลล์แบตเตอรี่ชำรุดบางส่วน จนมีความจุสูงกว่าร้อยละ 80 แบตเตอรี่นั้นจะถูกนำกลับไปใช้ใน xEV หรือการรีแพ็ก (Repack)²⁻³ อีกประมาณ 4 ปีครึ่ง แต่ถ้าไม่สามารถซ่อมแซมจนมีความจุสูงกว่าร้อยละ 80 ได้ จะถูกนำไปใช้เป็นอุปกรณ์สำรองพลังงานแบบตั้งอยู่กับที่ (Stationary Energy Storage)⁴ เพื่อใช้ในกรณีฉุกเฉิน หรือช่วยเสริมไฟฟ้าเข้าสู่ระบบในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้ามากเกินไปได้ โดยสามารถใช้งานต่อได้อีก 4-5 ปี กรณีเช่นนี้เรียกการจัดการแบตเตอรี่แบบรียูส (Reuse)²⁻⁵ หรือการนำกลับมาใช้ซ้ำ (Second Life) ข้อดีประการหนึ่งของการ Repack และ Reuse คือ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว ส่งผลให้แบตเตอรี่มีมูลค่าโดยรวมมากขึ้น และเป็นการลดสัดส่วนมูลค่าขณะใช้งานใน xEV ลง ทำให้ผู้บริโภคไม่ต้องแบกรับภาระจากราคาแบตเตอรี่ของ xEV มากจนเกินไป นอกจากนั้นการ Reuse แบตเตอรี่เพื่อใช้งานใน Stationary Energy Storage แทนการใช้งานแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ถูกผลิตขึ้นมาใหม่ สามารถลดพลังงานที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ใหม่ และลดการเกิดสภาวะอุณหภูมิโลกเปลี่ยนแปลง (Climate change) ได้ร้อยละ 69 และ 68 ตามลำดับ (Richa, et al., 2017)

ในอีกกรณีหนึ่ง คือ แบตเตอรี่ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากเกิดอุบัติเหตุ ทำให้แบตเตอรี่เสียหายไม่สามารถใช้งานได้อีก จะถูกนำไปแยกส่วนเพื่อรีไซเคิล (Recycle)²⁻⁶ โดยวัตถุดิบที่ได้จากการ Recycle จะถูกนำไปผลิตเป็นแบตเตอรี่ใหม่ และส่วนที่ไม่สามารถ Recycle ได้ จะถูกนำไปฝังกลบตามกรรมวิธีกำจัดของเสียต่อไป โดยการฝังกลบมีค่าใช้จ่ายโดยรวมประมาณ 1,170 เหรียญสหรัฐต่อตัน

อย่างไรก็ตาม การพิจารณาความเป็นไปได้การ Recycle แบตเตอรี่ นอกจากจะพิจารณาความเสี่ยงทางด้านอุปทานและความสำคัญทางเศรษฐกิจ ปริมาณวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ ที่อยู่ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้ใน xEV เป็นตัวแปรสำคัญอีกประการที่ใช้พิจารณาความเป็นไปได้ ที่จะ Recycle แบตเตอรี่ กล่าวคือ แม้ว่าวัตถุดิบจะมีความเสี่ยงหรือมีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจสูง แต่ถ้าปริมาณที่นำมาใช้งานในแบตเตอรี่ไม่มากพอ การ Recycle เพื่อนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ใหม่ อาจต้องใช้พลังงาน สร้างมลพิษ และมีต้นทุนสูงกว่าการผลิตแร่ใหม่จากแหล่งแร่ธรรมชาติในปริมาณเท่ากันก็เป็นได้ จากตารางที่ 2-3 (ถ้าไม่พิจารณาคาร์บอน เนื่องจากความบริสุทธิ์หลังจาก Recycle ต่ำ) พบว่า ออกซิเจน ทองแดง และอลูมิเนียม คือวัตถุดิบที่มีปริมาณมากที่สุดที่นำมาใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ จึงมีความคุ้มค่าหาก Recycle แต่ในทางกลับกัน แม้วาลิเทียมจะเป็นวัตถุดิบหลักเพื่อสร้างปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่ แต่ปริมาณลิเทียมที่ใช้ผลิตแบตเตอรี่มีน้อยมาก จึงทำให้ต้นทุนการ Recycle แร่ลิเทียมสูงกว่า การผลิตแร่ลิเทียมใหม่จากแหล่งแร่ทางธรรมชาติ (Battery University, 2017)

²⁻³ ค่อยจากนี้จะเรียกว่า Repack

²⁻⁴ ค่อยจากนี้จะเรียกว่า Stationary Energy Storage

²⁻⁵ ค่อยจากนี้จะเรียกว่า Reuse

²⁻⁶ ค่อยจากนี้จะเรียกว่า Recycle

ตารางที่ 2-3 สัดส่วนของน้ำหนักของวัตถุดิบในเซลล์แบตเตอรี่แต่ละชนิด

Material	NMC	NCA	LFP
1) Carbon	140	131	111
2) Copper	66	70	60
3) Oxygen	63	58	70
4) Aluminum	60	62.5	51
5) Cobalt	39	16	0
6) Nickel	39	86	0
7) Manganese	36	0	0
8) Lithium	14	13	7.6
9) Iron	0	0	61
10) Phosphorus	0	0	34
11) Other (include Solvent + Polymer separator)	174	161	136.5
Total	631	597.5	531.1

หมายเหตุ: NMC คือ Nickel Manganese Cobalt

NCA คือ Nickel Cobalt Aluminum

LFP คือ Lithium Ferrous (Iron) Phosphate

2.4.1 การ Reuse แบตเตอรี่สำหรับใช้ใน xEV

กรณีแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งาน โดยยังคงเหลือความจุแบตเตอรี่ประมาณร้อยละ 80 ของความจุทั้งหมดเมื่อซ่อมแซมแล้ว (Refurbish) ต้องทดสอบแบตเตอรี่โดยประจุไฟจนถึงร้อยละ 70 ของความจุแบตเตอรี่ (Notter, et al., 2010) จึงจะนำไปใช้งานได้ใหม่ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดด้านการตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่ก่อนนำมา Reuse เป็น Stationary Energy Storage ซึ่งเป็นการยากที่จะทำให้มั่นใจได้ว่าแบตเตอรี่ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วยังปลอดภัยสามารถนำไปใช้งานในลักษณะอื่นได้ ดังนั้น ข้อกำหนด หรือวิธีการในการตรวจสอบแบตเตอรี่ใช้แล้วก่อนนำไปใช้งานต่อจึงมีความจำเป็น เพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายในการนำไปใช้งานต่อไปในอนาคต

หาก Reuse แบตเตอรี่สำหรับใช้ใน xEV 9,800 กิโลวัตต์ชั่วโมง²⁻⁷ จะลดการใช้วัตถุดิบในการผลิตแบตเตอรี่ใหม่ได้ถึง 2,100 กิโลวัตต์ชั่วโมง²⁻⁸ และหากนำไปใช้เป็น Stationary Energy Storage โดย Reuse แบตเตอรี่ 12,075 กิโลวัตต์ชั่วโมง²⁻⁹ จะลดการใช้วัตถุดิบเพื่อผลิตแบตเตอรี่ตะกั่วกรดได้ 4,875 กิโลวัตต์ชั่วโมง²⁻¹⁰ หรือลดต้นทุนจาก 1,000 เป็น 449 US เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Notter, et al., 2010) พบว่า แบตเตอรี่ที่ผ่านการ Refurbish จะมีมูลค่า 38 เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยแบ่งเป็น

³⁻⁷ Using Average Specific Power of Li-ion battery 175 Wh/kg of 56,000 kg. of battery

²⁻⁸ Using Average Specific Power of Li-ion battery 175 Wh/kg of 12,000 kg. of battery

²⁻⁹ Using Average Specific Power of Li-ion battery 175 Wh/kg of 69,000 kg. of battery

¹⁰ Using Average Specific Power of Li-ion battery 37.5 Wh/kg of 130,000 kg. of battery

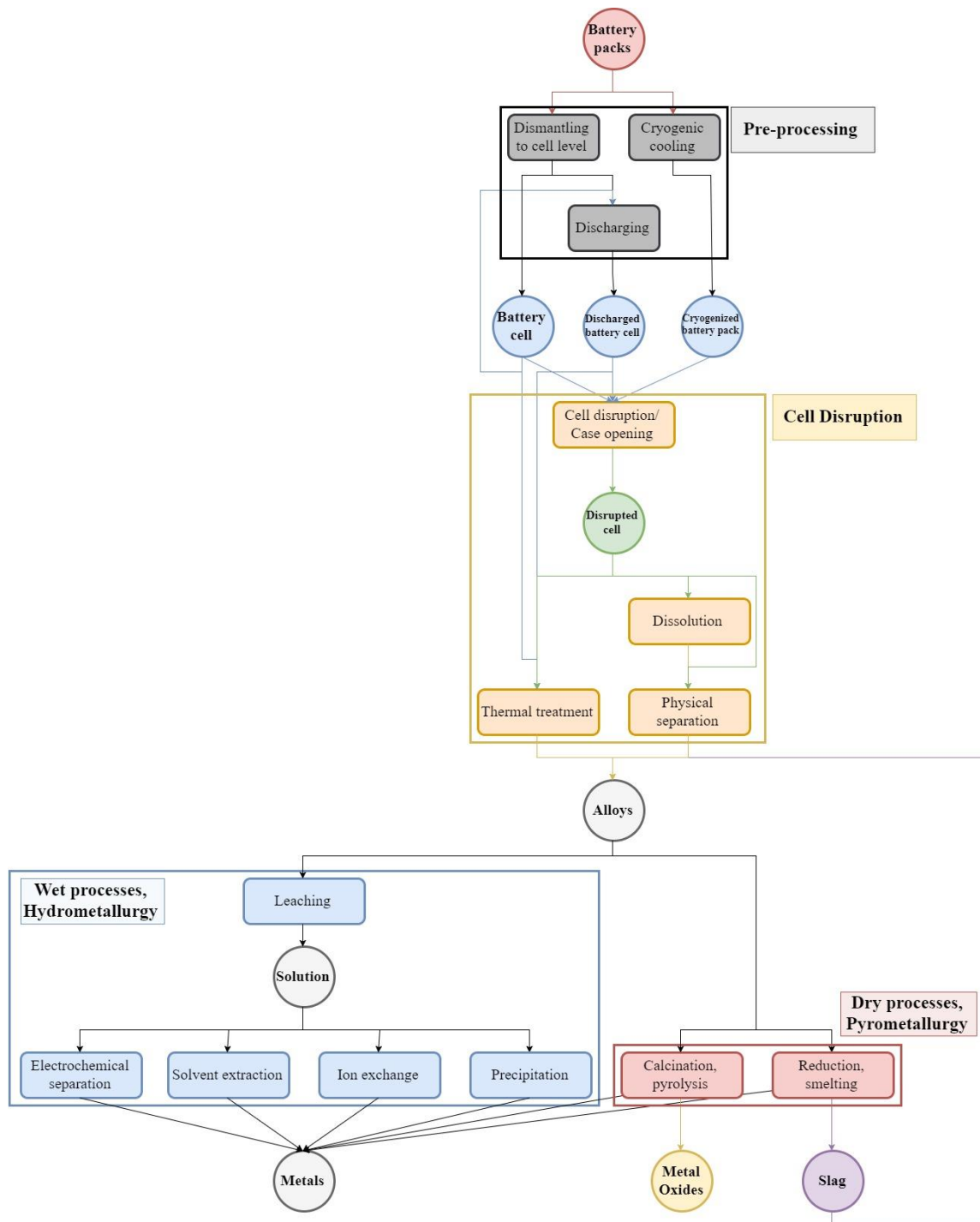
ต้นทุนการ Refurbish 18 เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และต้นทุนซื้อแบตเตอรี่ใช้แล้ว 20 เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ในขณะที่แบตเตอรี่ใหม่มีมูลค่า 125 เหรียญสหรัฐต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

ทั้งนี้ในปัจจุบันมีผู้ผลิตรถยนต์หลายราย เช่น BMW Daimler Nissan Renault และ Toyota (Daimler Media Site, 2016), (Nissaninsider, 2016), (Toyota, 2015) ให้ความสนใจธุรกิจ Reuse แบตเตอรี่เพื่อนำไปใช้สำหรับ Stationary Energy Storage โดยเฉพาะ Nissan ได้ร่วมลงทุนกับ Sumitomo ตั้งบริษัท 4R Energy ซึ่งเป็นบริษัทที่จะ Reuse และ Recycle แบตเตอรี่รถยนต์ของ Nissan โดยมีเป้าหมายที่จะทำการ Refurbish แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว ให้สามารถนำไป Reuse ใหม่ โดยตั้งราคาขายไว้ที่ประมาณ 300,000 เยน หรือต่ำกว่าร้อยละ 50 ของราคาแบตเตอรี่ใหม่

2.4.2 การ Recycle แบตเตอรี่สำหรับใช้ใน xEV

ทางทฤษฎีสามารถใช้กระบวนการต่าง ๆ เพื่อแยกธาตุในแบตเตอรี่ออกมาเป็นธาตุบริสุทธิ์ได้เกือบทั้งหมด แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้จริงทั้งหมด เนื่องจากต้องใช้พลังงานปริมาณมากในกระบวนการดังกล่าว ดังนั้นกระบวนการ Recycle แบตเตอรี่จึงมีจุดมุ่งหมาย เพื่อให้ได้รับวัตถุดิบที่สามารถนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแบตเตอรี่ใหม่ได้ ลดของเสียให้มากที่สุด ลดการทิ้งของเสียมีพิษ และนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้พลังงานจากสิ่งแวดล้อมให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยวิธี Recycle แบตเตอรี่ได้ถูกสรุปขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 2-19

ภาพที่ 2-19 กระบวนการRecycleแบตเตอรี่



ที่มา: (ELIBAMA, 2014)

2.4.2.1 ขั้นตอนการเตรียมพร้อมก่อนRecycle (Pre-Processing)

เพื่อความปลอดภัยในการ Recycle แบตเตอรี่ ขั้นตอนที่สำคัญ คือ การเตรียมแบตเตอรี่ (Pre-Processing) ให้อยู่ในสถานะที่พร้อมถูก Recycle โดยปราศจากความเสี่ยง โดยทั่วไปการจัดการแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขนาดใหญ่มักใช้วิธีการลดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ลงอย่างรวดเร็ว (Cryogenic Approach) ด้วยการแช่แบตเตอรี่ลงในอ่างไนโตรเจนเหลว โดยแบตเตอรี่จะถูกลดอุณหภูมิจนเหลืออุณหภูมิที่ -195 องศาเซลเซียส ทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของแบตเตอรี่ลดลงเหลือเพียง 1/250,000 จึงอยู่ในสถานะที่ไม่พร้อมจะทำปฏิกิริยา จากนั้นจึงจะเข้าสู่ขั้นตอนการบดแบตเตอรี่ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ได้โดยไม่มีอันตราย

อีกวิธีหนึ่งคือการใช้วิธีการคายประจุแบตเตอรี่ให้หมด (Dismantling to cell level) โดยเริ่มจากการแยกส่วนแบตเตอรี่จนถึงระดับโมดูลหรือเซลล์แบตเตอรี่ จากนั้นคายประจุแบตเตอรี่โดยแช่โมดูลหรือเซลล์แบตเตอรี่ในสารละลายที่นำไฟฟ้า เช่น โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคาร์บอเนต กรดกำมะถัน กรดเกลือ หรือกรดไนตริก จนกระทั่งโมดูล หรือเซลล์แบตเตอรี่ คายประจุไฟฟ้าจนหมด ก่อนที่จะผ่านกระบวนการ Recycle ในขั้นตอนต่อไป

2.4.2.2 ขั้นตอนการทำให้ชิ้นส่วนแบตเตอรี่แตกตัว (Cell disruption)

โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ชิ้นส่วนของแบตเตอรี่แตกตัวออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ และเปิดเผยชิ้นส่วนภายในของแบตเตอรี่ ด้วยวิธีการ บด อัด ฉีก หรือ วิธีทางกลอื่น ๆ ที่สามารถทำให้แบตเตอรี่เสียหายทางกายภาพได้ สำหรับกระบวนการ Cell disruption ของแบตเตอรี่รถยนต์ที่มีขนาดใหญ่ มีขั้นตอนที่ยุ่งยากและมีอันตรายกว่ามาก ดังนั้น กระบวนการนี้จะถูกกระทำใน ของเหลวที่ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับชิ้นส่วนต่าง ๆ และในบรรยากาศที่ถูกบรรจุด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซอาร์กอน หรือ ก๊าซฮีเลียม เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยา

ตารางที่ 2-4 วัสดุที่ได้จากกระบวนการทางกลต่าง ๆ

Technology	Materials Targeted
Screening	Large: Plastic film, Large paper, Cardboard, Misc Mid-sized: Recyclables, Organics, Misc Fines: Organic, Metal Fragment, Misc
Hand Picking	Recyclables, Inerts and chemical contaminants
Magnetic Separation	Ferrous plus contaminants associated with ferrous metal
Eddy Current Separation	Non-ferrous metals
Air Classification	Lights: Paper, Plastic Heavies: Metals, Glass, Gravel, Misc
Wet Separation	Floats: Organics, Misc Sinks: Metals, Glass, Gravel, Misc
Ballistic Separation	Light: Plastic, Undercomposed paper Medium: Compost Heavy: Metals, Glass, Gravel, Misc

ที่มา: (ELIBAMA, 2014)

2.4.2.3 ขั้นตอนการแยกวัสดุออกจากขั้วแอโนด-แคโทด (Dissolution)

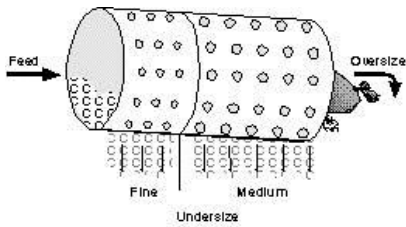
เนื่องจากขั้วแอโนดและขั้วแคโทดถูกทำให้ติดกับแผ่นโลหะ Collector โดยใช้วัสดุผสมกับสารเชื่อมประสานทาลงไปบนแผ่นโลหะ แล้วปล่อยให้สารเชื่อมประสานระเหย จนวัสดุที่ใช้ในการทำขั้วติดกับแผ่นโลหะ ดังนั้น หากต้องการทำให้วัสดุของขั้วแบตเตอรี่แยกออกจากแผ่นโลหะ สามารถทำได้โดยการแช่ขั้วอิเล็กโตรดลงในสารละลาย N-Methyl-2-Pyrrolidone (NMP) ซึ่งสามารถทำให้วัสดุและแผ่นโลหะแยกออกจากกันได้ แต่มีข้อเสียคือใช้เวลานานและ NMP เป็นสารมีพิษ

2.4.2.4 ขั้นตอนการแยกคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ (Physical separation)

เมื่อชิ้นส่วนแบตเตอรี่ผ่านกระบวนการ Cell disruption แล้ว จะถูกคัดแยกด้วยคุณสมบัติทางกายภาพ เพื่อนำวัสดุกลับไปใช้งานต่อไป โดยกระบวนการคัดแยกโดยใช้คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ มีวิธีต่าง ๆ ดังนี้

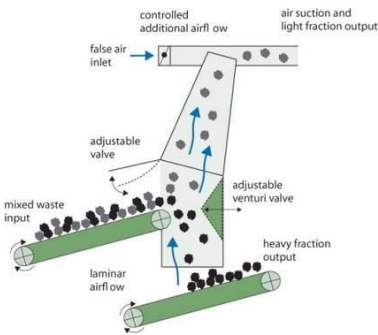
- 1) Sieve classification เป็นการคัดแยกชิ้นส่วนแบตเตอรี่โดยอาศัยความแตกต่างของขนาดวัสดุ นอกจากนั้นยังเป็นการแบ่งชิ้นส่วนแบตเตอรี่โดยปริมาตร และเตรียมพร้อมสำหรับกระบวนการต่อไป
- 2) Airstream classification เป็นการคัดแยกชิ้นส่วนแบตเตอรี่โดยอาศัยความแตกต่างด้านน้ำหนัก โดยชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักเบาจะลอยขึ้นไปด้านบน และชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมากจะตกลงมาอยู่ด้านล่าง
- 3) Magnetic separation เป็นการคัดแยกชิ้นส่วนโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็ก ทำให้สามารถคัดแยกชิ้นส่วนที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กได้
- 4) Electrostatic processes and separation by frictional charge เป็นการคัดแยกโดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้าสถิตของวัสดุ
- 5) Eddy current process ใช้แม่เหล็กโรเตอร์เหนี่ยวนำวัสดุที่มีส่วนผสมของเหล็ก ส่งผลให้วัสดุนั้นถูกเหนี่ยวนำให้อยู่ติดกับโรเตอร์
- 6) Flotation process ใช้ของเหลวเพื่อช่วยคัดแยกชิ้นส่วนตามความหนาแน่น และน้ำหนัก รวมถึงคุณสมบัติของวัสดุในสถานะเปียกในการคัดแยกชิ้นส่วนได้อีกด้วย

ภาพที่ 2-20 กระบวนการ Physical Separation

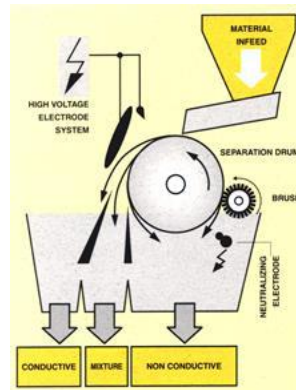


ที่มา: (ELIBAMA, 2014)

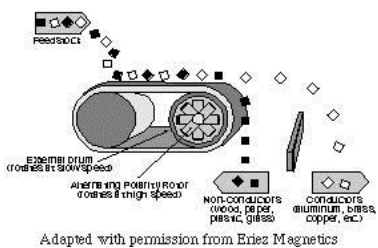
ภาพที่ 2-21 กระบวนการคัดแยกโดยใช้คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ



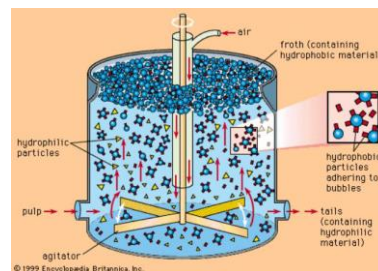
Airstream Classification



Electrostatic Process



Eddy Current Process



Flotation Process

ที่มา: (ELIBAMA, 2014)

2.4.2.5 ขั้นตอนการแยกวัสดุอื่น ๆ ออกจากแบตเตอรี่ (Thermal Treatment)

Thermal Treatment เป็นกระบวนการที่อาศัยความร้อนในการแยกวัสดุชนิดต่าง ๆ ออกจากเศษแบตเตอรี่ โดยสามารถแบ่งอุณหภูมิที่ใช้ได้เป็น 2 ช่วงคือ

- 1) ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 380 องศาเซลเซียส จะสามารถทำให้วัตถุติดที่ใช้ในการทำขั้วแอโนด และแคโทด แยกตัวออกจากแผ่นโลหะ Collector เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอน และสามารถทำให้สารระเหยที่เป็นพิษสลายตัวได้
- 2) ช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 380 องศาเซลเซียส สามารถเผาไหม้ พลาสติก และสารระเหยได้ สามารถเกิดกรรมวิธี Pyrolysis ได้ ถ้ามีการควบคุมบรรยากาศในการเผา

2.4.2.6 โลหะวิทยาแยกสกัด (Extractive metallurgy)

หลังจากผ่านกระบวนการข้างต้นดังแสดงในภาพที่ 2-19 แล้ว จะได้โลหะผสม (Alloys) เป็นผลผลิตของกระบวนการดังกล่าว ซึ่งโลหะผสมนั้นสามารถนำมาแยกออกจากกันให้มีความบริสุทธิ์ หรือแยกเป็นเป็นโลหะแต่ละชนิดได้ แต่อย่างไรก็ตามการแยกโลหะจากวัสดุอื่น ๆ นั้นสามารถทำได้โดยง่าย ซึ่งแตกต่างจากการแยกโลหะออกจากกันซึ่งทำได้ยากกว่า การแยกโลหะนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ

- 1) วิธีเปียก (Wet processes หรือ Hydrometallurgy) อาศัยสารละลาย ละลายวัตถุดิบที่ต้องการออกมาจากแบตเตอรี่ใช้แล้ว ทำให้ได้สารละลายที่มีส่วนผสมของวัตถุดิบที่ต้องการอยู่ หลังจากนั้นนำวัตถุดิบออกจากสารละลายด้วยวิธีการ Electrolysis, Cementation, Pressure precipitation หรือ Crystallisation ข้อดีของกรรมวิธีนี้คือ สามารถแยกโลหะที่ต้องการได้โดยตรง สามารถแยกโลหะหลายชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้พลังงานน้อย และปราศจากมลภาวะทางอากาศ แต่ในทางกลับกัน ปฏิกิริยาเคมีใช้เวลา มาก ทำให้อัตราการผลิตต่ำ และมีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีหลายชนิดในปริมาณมาก
- 2) วิธีแห้ง (Dry Processes หรือ Pyrometallurgy) อาศัยความร้อนเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของโลหะ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและเฟสของโลหะ และการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งการใช้วิธีแห้งนั้นสามารถทำให้แบตเตอรี่หลอมละลาย ได้ชิ้นส่วนโลหะ สแลก และก๊าซ เป็นผลผลิต มีข้อดีคือ กระทำได้ง่าย รวดเร็ว และปราศจากความเสี่ยงจากแบตเตอรี่ แต่ในทางกลับกันกระบวนการนี้ไม่สามารถแยกโลหะแต่ละชนิดออกจากโลหะอัลลอยได้ สารอินทรีย์ทั้งหลายในแบตเตอรี่จะถูกเผา และไม่สามารถ Recycle ได้ โลหะอื่นๆ ที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการนี้ที่ไม่ใช่เหล็กจะถูกพบในสแลก ซึ่งสามารถถูกแยกออกมาจากสแลกได้ด้วยวิธี Hydrometallurgy นอกจากนี้ กระบวนการนี้ยังเป็นวิธีที่ใช้พลังงานสูง และก๊าซที่เกิดจากกระบวนการนี้จำเป็นต้องถูกทำให้สะอาดก่อนที่จะปล่อยสู่อากาศภายนอก

ในกระบวนการต่าง ๆ ข้างต้นนั้น จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการ Recycle แตกต่างกันตามชนิดของโลหะ โดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2-5 ตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ประสิทธิภาพในการ Recycle แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภท NMC และ LFP ด้วยวิธีต่าง ๆ

วัตถุดิบ	Recycle ด้วยวิธี Hydrometallurgy (แบตเตอรี่ NMC)	Recycle ด้วยวิธี Hydrometallurgy (แบตเตอรี่ LFP)	Recycle ด้วยวิธีแบบผสม (แบตเตอรี่ NMC และ LFP)
ลิเทียม	94%	81%	57%
นิกเกิล	97%		95%
แมงกานีส	~100%		0%
โคบอล	~100%		94%
เหล็ก		0%	0%
ฟอสฟอรัส		0%	0%
แกรไฟต์ธรรมชาติ	0%	0%	0%

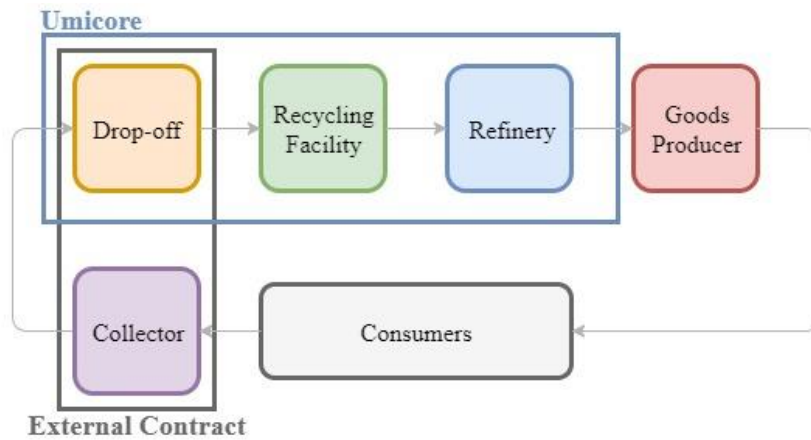
ที่มา: (Lebedeva, et al., 2016)

จากตารางที่ 2-5 จะเห็นว่าการ Recycle ด้วยวิธี Hydrometallurgy มีประสิทธิภาพในการ Recycle สูงกว่าวิธีผสม แต่เนื่องจากวิธี Hydrometallurgy เป็นวิธีที่อาศัยปฏิกิริยาเคมีทำให้มีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีความเป็นพิษสูงในกระบวนการ Recycle .omk'กลับกันวิธีผสมเป็นการนำวิธี Pyrometallurgy เข้ามาช่วงลดเวลาในการทำ Hydrometallurgy ลง แต่ก็ต้องแลกมาด้วยประสิทธิภาพในการ Recycle ที่ต่ำกว่า นอกจากนั้นกระบวนการ Pyrometallurgy ยังเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานสูง เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อน ในการเผา และหลอมวัสดุที่ต้องการ Recycle นอกจากประสิทธิภาพในการ Recycle แล้ว อัตราการเรียกเก็บคืนแบตเตอรี่ยังส่งผลต่ออัตราการ Recycle ของแบตเตอรี่อีกด้วย เนื่องจากในหลาย ประเทศมีการกำหนดอัตราการ Recycle ขึ้นต่ำของผู้ผลิตแบตเตอรี่ ดังนั้นกระบวนการเรียกคืนแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วของผู้ผลิตแบตเตอรี่ เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงเพื่อเรียกแบตเตอรี่กลับคืนมาเพื่อ Recycle

ในปัจจุบันการ Recycle แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนส่วนใหญ่ ยังจำกัดอยู่ที่แบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ เนื่องจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับ xEV ที่หมดอายุการใช้งานแล้วนั้นยังมีจำนวนที่ไม่มาก นอกจากนี้ กระบวนการ Recycle แบตเตอรี่จำเป็นที่จะต้องใช้ความรู้ เทคนิค และเทคโนโลยี เพื่อ Recycle แบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้ปัจจุบันยังมีผู้ประกอบการจำนวนไม่มากนักที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการ Recycle แบตเตอรี่ (ตารางที่ 2-6) โดยมีผู้ประกอบการรายใหญ่ที่แบ่งตามประเทศได้ดังนี้

- 1) ทวีปยุโรป มีผู้ประกอบการ Recycle รายใหญ่คือ บริษัท Umicore ซึ่งมีความสามารถ Recycle ได้ 7,000 ตันต่อปี โดย Umicore จะมีจุดรับ-ส่งแบตเตอรี่ที่หมดอายุแล้ว กระจายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของโลก เพื่อเตรียมส่งไป Recycle ที่โรงงานในประเทศเบลเยียม ทั้งนี้ เมื่อแบตเตอรี่เหล่านี้ถูก Recycle เสร็จแล้วจะถูกส่งไปแปรรูปให้อยู่ในรูปของวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ต่อไป โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่นี้ ถือเป็นสินค้าของบริษัท Umicore ที่จำหน่ายให้แก่ผู้ผลิตแบตเตอรี่

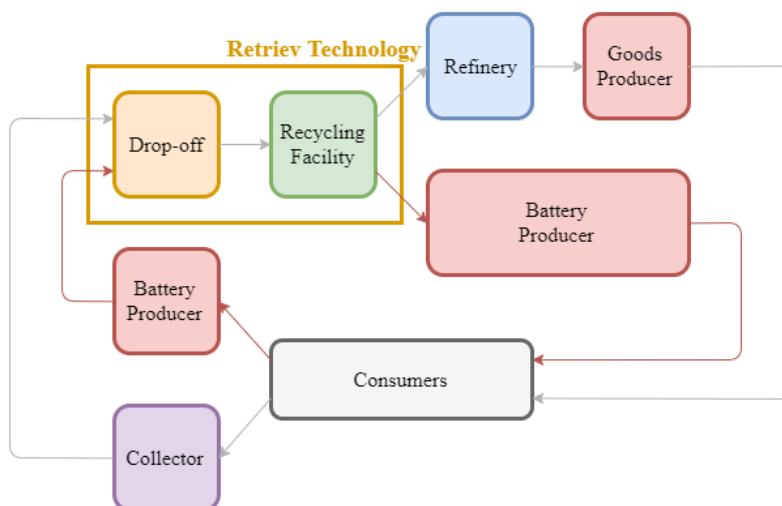
ภาพที่ 2-22 กิจกรรม Recycle แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วของบริษัท Umicore



ที่มา : จากการรวบรวมข้อมูลของนักวิจัย

- 2) ประเทศสหรัฐอเมริกา บริษัท Retrive Technology เป็นบริษัทให้บริการ Recycle แบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว ซึ่งแตกต่างจาก Umicore ที่มีโรงงานแปรรูป Recycle Material เป็นวัตถุดิบที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้ ดังนั้น รายได้ของ Retrive Technology ขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ที่ Recycle ถ้าแบตเตอรี่ที่ Recycle แล้วไม่สามารถนำมาจำหน่ายได้หรือมีจำนวนน้อยมา ผู้ที่นำแบตเตอรี่มา Recycle จะต้องจ่ายค่าบริการให้แก่บริษัท บริษัท Retrive Technology จำหน่ายกล่องเพื่อจัดเก็บแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วเพื่อนำมา Recycle ที่บริษัท โดยราคาจำหน่ายของกล่องดังกล่าวได้รวมค่าบริการขนส่ง จัดเก็บ และ Recycle แล้ว นอกจากนั้น Retrive Technology ยังมีการตั้งจุด Drop-off อยู่ที่รัฐแคลิฟอร์เนียด้วย เนื่องจากที่รัฐแคลิฟอร์เนียออกกฎหมายระเบียบให้ผู้จำหน่ายแบตเตอรี่มีหน้าที่รวบรวมแบตเตอรี่ใช้แล้วจากผู้บริโภค Retrive Technology จึงตั้งจุด Drop-off เพื่อรวบรวมแบตเตอรี่ใช้แล้วจากผู้จำหน่ายเพื่อนำไป Recycle ต่อไป

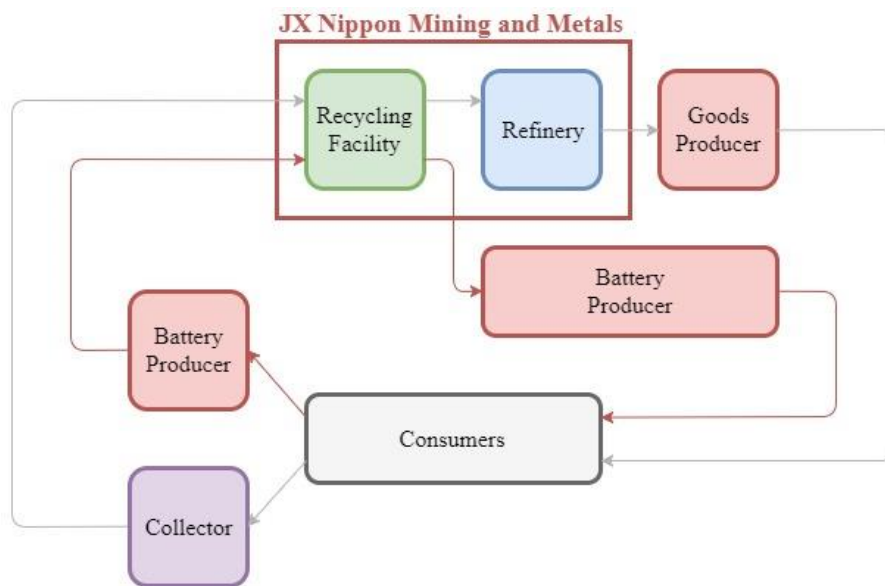
ภาพที่ 2-23 กิจกรรม Recycle แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วของบริษัท Retrive Technology



ที่มา : จากการรวบรวมข้อมูลของนักวิจัย

- 3) ประเทศญี่ปุ่น JX Nippon Mining and Metals เป็นบริษัทขุดและถลุงแร่ เพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ก่อตั้งในปี ค.ศ. 1905 จนกระทั่งปี ค.ศ. 2002 บริษัทได้ซื้อกิจการ Recycle และจึงเริ่มกิจการการ Recycle ขึ้น บริษัทจะซื้อแบตเตอรี่ใช้แล้วจากพ่อค้าคนกลาง (Collector) เพื่อนำแบตเตอรี่มา Recycle หลังจาก Recycle แล้ววัตถุดิบที่ได้จากการ Recycle จะถูกนำไปถลุง เพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ต่อไป นอกจากนั้นบริษัทยังให้บริการ Recycle แก่ผู้ที่ต้องการนำแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วมา Recycle อีกด้วย

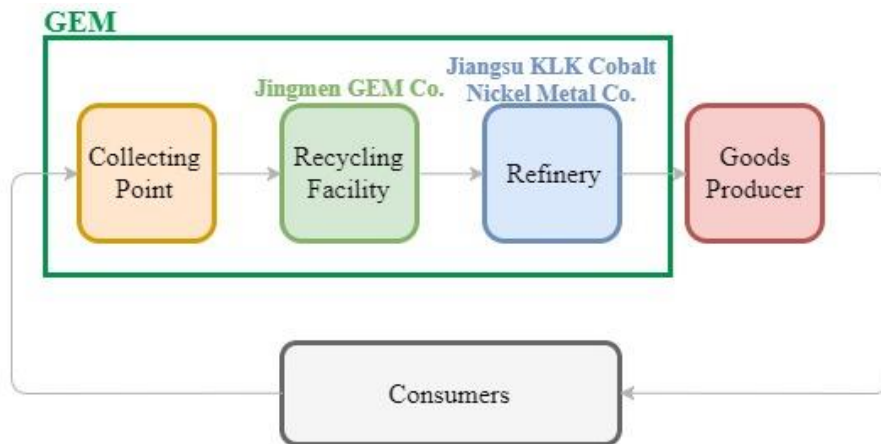
ภาพที่ 2-24 กิจการRecycleแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วของบริษัท JX Nippon Mining and Metals



ที่มา : จากการรวบรวมข้อมูลของนักวิจัย

- 4) ประเทศจีน บริษัท GEM มีลักษณะธุรกิจคล้ายคลึงกับ บริษัท JX Nippon Mining and Metals ของประเทศญี่ปุ่น คือ เป็นบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่ายวัตถุดิบเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม แล้วจึงก่อตั้งโรงงาน Recycle ขึ้นภายหลัง โดยบริษัทจัดตั้งกล่องจัดเก็บและร้านรับซื้อขยะอิเล็กทรอนิกส์ครอบคลุม 10 เมือง เป็นพื้นที่ถึง 100,000 ตารางเมตร ขยะที่ถูกนำมา Recycle ที่บริษัทจะถูกจำหน่ายให้บริษัท Jiangsu KKK Cobalt Nickel Metal ซึ่งเป็นบริษัทในเครือเดียวกัน เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบผลิตแบตเตอรี่ต่อไป รวมทั้งบริษัทเป็นหนึ่งในบริษัทที่ได้รับเงินสนับสนุนจากกองทุน E-waste fund ของรัฐบาลจีน ซึ่งเป็นกองทุนที่สนับสนุนผู้ Recycle ขยะอิเล็กทรอนิกส์ (E-waste fund)

ภาพที่ 2-25 กิจกรรม Recycle แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วของบริษัท GEM



ที่มา : จากการรวบรวมข้อมูลของนักวิจัย

จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า บริษัทส่วนใหญ่จะรับซื้อแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว และนำมา Recycle จากนั้นนำ Recycled Material มาเป็นวัตถุดิบในการถลุงแร่ของบริษัทในเครื่อง มีเพียงบริษัท Retrive Technology เท่านั้นที่ไม่มีบริษัทถลุงแร่ในเครื่อง นอกจากนั้นในประเทศที่มีกฎหมายบังคับให้ผู้ผลิตแบตเตอรี่ต้องทำหน้าที่รวบรวมแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว เช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา (ในบางรัฐ) ผู้ประกอบการธุรกิจ Recycle ยังสามารถรับจ้าง Recycle แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว เพื่อให้ได้ Recycled Material ส่งกลับคืน ผู้ผลิตแบตเตอรี่ และทำให้ผู้ผลิตแบตเตอรี่สามารถทำตามเงื่อนไขที่รัฐบาลกำหนดได้

แม้ว่าจุดมุ่งหมายของการ Recycle แบตเตอรี่ จะเป็นไปเพื่อลดการใช้งานวัตถุดิบ และลดพลังงานการผลิต แบตเตอรี่จากแหล่งธรรมชาติก็ตาม แต่อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการ Recycle แบตเตอรี่ที่เตรียมดังที่ได้กล่าวไปในข้างต้น จำเป็นต้องใช้พลังงานและสารเคมีในกระบวนการ Recycle ปริมาณมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่าของการ Recycle ให้รอบด้าน

ตารางที่ 2-6 ตัวอย่างบริษัท Recycle แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ชื่อบริษัท	ที่ตั้งโรงงาน Recycle	ประเภทแบตเตอรี่	กระบวนการ Recycle	ความสามารถ Recycle (ตันต่อปี)
Europe				
Umicore Battery Recycling (BE)	Hobeken (BE)	Li-ion, NiMH	P	7,000*
Accurec Recycling GmbH (DE)	Mulheim (DE) Krefeld (DE)	NiCd, NiMH Li-ion	P with H treatment of the slag and flue dust	1,500 – 2,000
Glencore (formerly Xstrata) (CH)	Sudbury (CA) Rouyn-Noranda (CA) Kristiansand (NO)	Li-ion	P with H treatment of the slag and electrowinning	7,000*
Recupyl S.A. (FR)	Grenoble (FR) Singapore (SG)	Li-ion	H	110*
AEA Technology (UK)	Sutherland (UK)	Li-ion	H	
SNAM (FR)	Saint Quentin Fallavier (FR)	NiCd, NiMH, Li-ion	P+ mechanical separation + H to extract CO and Ni	300*
AkkuSer Oy (FI)	Nivala (FI)	NiCd, NiMH, Li-ion Zn alkaline	Mechanical	1,000 (Li-ion) 4,000*
Batrec Industrie AG (CH)	Wimmis (CH)	Li-ion	P + mechanical treatment	200*
Euro Dieuze/ SARP (FR)	Dieuze (FR)	Li-ion	H	200*
Valdi (ERAMET) (FR)	Commentry (FR)	Various including Li-ion	P	20,000* (from 2017)
G&P Batteries (UK)	Darlaston (US)	Various including Li-ion		
North America				
Retriev Technologies Inc. (CA)	Trail, BC (CA) Baltimore, OH (US) Anaheim, CA (US)	Li metal, Li-ion	H	4500*
AERC Recycling Solution (US)	Allentown, PA (US) West Melbourne, FL (US)	All types, including Li-ion and Li metal	P	

ชื่อบริษัท	ที่ตั้งโรงงาน Recycle	ประเภทแบตเตอรี่	กระบวนการ Recycle	ความสามารถ Recycle (ตันต่อปี)
	Richmond, VA (US)			
Japan				
Sony Electronics Inc. – Sumitomo Metals and Mining Co. (JP)		Li-ion	P	120-150
Nippon Recycle Center Corp. (JP)	Osaka (JP) Aichi (JP) Miyagi (JP)	Ni-Cd, NiMH, Li-ion, Alkaline	P	
Dowa Eco-System Co. Ltd. (JP)		Various including Li-ion	P	1000*
JX Nippon Mining and Metals Co. (JP)		Various including Li-ion	P	5000*
China				
GEM Co. (CN)	Jingmen, Hubei (CN)	NiMH, Li-ion	H	20,000 – 30,000*
Hunan BRUNP (CN)	Ningxiang, Changsha, Hunan (CN)	Various including NiMH and Li-ion	H	3,600-10,000* >6,000

หมายเหตุ:

P = Pyrometallurgy

H = Hydrometallurgy,

BE = Belgium

CA = Canada

CH = Switzerland

CN = China

DE = Germany

FI = Finland

FR = France

JP = Japan

NO = Norway

SG = Singapore

UK = United Kingdom

US = United State of America

* Recycling Capacity of the facility

ที่มา: (Lebedeva, et al., 2016)

2.5 สรุปโครงสร้างอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์

อุตสาหกรรมต้นน้ำของการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ คือ การผลิตชิ้นส่วนเพื่อประกอบเป็นเซลล์แบตเตอรี่ที่สำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ การผลิตแคโทด (Cathode) แอโนด (Anode) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และเยื่อกั้นที่มีรูพรุน (Separator) โดยวัตถุดิบ/แร่ธาตุสำคัญที่ใช้ผลิตมีทั้งสิ้น 6 ชนิด โดยสามารถแบ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตขั้วแคโทด 4 ชนิด คือ ลิเทียม โคบอล แมงกานีส และฟอสฟอรัส (ไม่รวมนิกเกิลเนื่องจากมีสัดส่วนในการนำมาใช้สำหรับผลิตแบตเตอรี่ต่ำมากที่ร้อยละ 4) และวัตถุดิบสำหรับผลิตขั้วแอโนด 1 ชนิด คือ แกรไฟต์ ผู้ผลิตรายใหญ่ในตลาดแคโทด มี 3 ราย ได้แก่ Umicore (เบลเยียม) Nichia (ญี่ปุ่น) และ Toda Kogyo (ญี่ปุ่น) ซึ่งมีปริมาณผลิตรวมกันประมาณร้อยละ 60 ของปริมาณผลิตทั้งหมด ในขณะที่ผู้ผลิตแอโนดรายใหญ่มี 3 ราย ได้แก่ Hitachi Chemicals (ญี่ปุ่น) Nippon Carbon (ญี่ปุ่น) และ BTR Energy (จีน) ซึ่งมีส่วนแบ่งทางตลาดรวมกันร้อยละ 65 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ทั้งนี้ ผู้ผลิตรายใหม่ที่จะเข้าสู่ตลาดแอโนดมีจำนวนค่อนข้างน้อย ต่างจากการผลิตแคโทดที่มีผู้เล่นรายใหม่เข้าสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง

เมื่อได้ชิ้นส่วนทั้ง 4 ประเภทแล้วจะเข้าสู่อุตสาหกรรมกลางน้ำของการผลิตแบตเตอรี่ โดยผลิตเป็นเซลล์แบตเตอรี่ (Cell) เพื่อจะนำไปประกอบร่วมกับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นโมดูล (Module) และแพ็ก (Pack) แบตเตอรี่ต่อไป อุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่สำหรับใช้ใน xEV จำเป็นต้องมียุทธศาสตร์ความรู้ในการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งองค์ความรู้เหล่านี้จะอยู่กับบริษัทผลิตเซลล์แบตเตอรี่เพื่อใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น ผู้ผลิตรายหนึ่งจึงมีรูปแบบวิธีการดำเนินการผลิตหรือจัดหาเซลล์แบตเตอรี่เพื่อนำมาใช้ใน xEV แตกต่างกัน ซึ่งจำแนกได้ 3 กรณีดังนี้ กรณีผู้ผลิตรายหนึ่งผลิตเซลล์แบตเตอรี่เอง หรือซื้อกิจการผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ เช่น BYD Tesla (ให้ Panasonic ดูแลการผลิตเซลล์) และ Daimler กรณีผู้ผลิตรายหนึ่งร่วมทุนกับผู้ผลิตแบตเตอรี่ตั้งบริษัทผลิตเซลล์แบตเตอรี่ เช่น Toyota และ Panasonic ที่ร่วมลงทุนในบริษัท PEVE ซึ่งวิธีการนี้มีข้อดีคือ ใช้เงินลงทุนน้อยกว่า และสามารถแบ่งปันองค์ความรู้ซึ่งกันและกัน เพื่อออกแบบแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับการใช้งานในรถยนต์ของตนเอง และกรณีผู้ผลิตรายหนึ่งจัดซื้อเซลล์แบตเตอรี่ (Supply Agreement) เพื่อนำมาประกอบเป็นแพ็กแบตเตอรี่สำหรับ xEV ของตนเอง เช่น BMW ใช้เซลล์แบตเตอรี่ของ Samsung SDI หรือ General Motor ใช้แพ็กแบตเตอรี่ของ LG Chem

จากนั้น เมื่อแบตเตอรี่ถูกนำไปใช้งานกระทั่งประสิทธิภาพลดลง จนไม่สามารถนำมาใช้งานกับรถยนต์ได้อีก จะมีกระบวนการพิจารณาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่นั้น ๆ ว่าควรนำไปใช้ซ้ำ (Reuse) หรือถูกนำไปแยกส่วนเพื่อ Recycle กล่าวคือเมื่อพิจารณาแล้วว่า แบตเตอรี่ยังคงเหลือความจุประมาณร้อยละ 80 ของความจุทั้งหมด และหากสามารถซ่อมแซมได้แบตเตอรี่นั้นจะถูกนำกลับไปใช้ (Reuse) ใน xEV อีกประมาณ 4 ปีครั้ง แต่ถ้าไม่สามารถซ่อมแซมจนมีความจุสูงกว่าร้อยละ 80 ได้ จะถูกนำไปใช้เป็นอุปกรณ์สำรองพลังงาน (Stationary Energy Storage) เพื่อใช้ในกรณีฉุกเฉิน หรือช่วยเสริมไฟฟ้าเข้าสู่ระบบในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้ามากเกินไปได้ โดยสามารถใช้งานต่อได้อีก 4-5 ปี แต่หากพิจารณาแล้วว่าแบตเตอรี่ไม่สามารถใช้งานได้อีกแล้ว เนื่องจากเกิดอุบัติเหตุ จะถูกนำไปแยกส่วนเพื่อ Recycle โดยวัตถุดิบที่ได้จากการ Recycle จะถูกนำไปผลิตเป็นแบตเตอรี่ใหม่ และส่วนที่ไม่สามารถ Recycle ได้ จะถูกนำไปฝังกลบตามกรรมวิธีกำจัดของเสีย ทั้งนี้ เพื่อความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ การพิจารณา Recycle แบตเตอรี่ นอกจากต้องคำนึงถึงเรื่องประสิทธิภาพของแบตเตอรี่แล้ว ยังต้องคำนึงถึงอัตราการเก็บรวบรวมแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วอีกด้วย

สำหรับผู้ผลิตรายใหญ่ในอุตสาหกรรม Recycle แบตเตอรี่ในภูมิภาคต่าง ๆ ได้แก่ บริษัท Umicore (ยุโรป) Retrive Technology (สหรัฐอเมริกา) JX Nippon Mining and Metals (ญี่ปุ่น) และ GEM (จีน) โดยบริษัทเหล่านี้มีเทคโนโลยีการ Recycle แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่าง ๆ และทุกบริษัท (ยกเว้น Retrive) มี

บริษัทลงแรงเพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบที่ได้จากการ Recycle ให้มีกลายเป็นวัตถุดิบที่พร้อมสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรม ซึ่งจะเป็นผู้รับซื้อวัตถุดิบจากการ Recycle นำไปจำหน่ายให้ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมต้นน้ำต่อไป

2.6 เอกสารอ้างอิง

Battery University, 2017. *Availability of Lithium*. [Online] Available at: http://batteryuniversity.com/learn/article/availability_of_lithium [Accessed 20 March 2018].

Battery University, 2017. *BU-309: How does Graphite Work in Li-ion?*. [Online] Available at: http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_309_graphite [Accessed 20 March 2018].

Behera, M. R., 2016. *Manganese Ore Beneficiation*. s.l.:Balasore Alloys.

Bloomberg New Energy Finance, 2017. *Lithium price spike has moderate effect on batteries*. [Online] Available at: <https://about.bnef.com/blog/lithium-price-spike-has-moderate-effect-on-batteries/> [Accessed 20 March 2018].

B. U., 2017. *BU-310: How does Cobalt Work in Li-ion?*. [Online] Available at: http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_310_cobalt [Accessed 20 March 2018].

Canaccord Genuity, 2017. *Battery sector to drive major increase in graphite demand*. [Online] Available at: <https://www.livewiremarkets.com/wires/battery-sector-to-drive-major-increase-in-graphite-demand> [Accessed 20 March 2018].

Chung, D. et al., 2015. *Automotive Lithium-ion Battery (LIB) Supply Chain and U.S. Competitiveness Considerations*, Colorado, USA: Clean Energy Manufacturing Analysis Center.

Chung, D., Elgqvist, E. & Santhanagopalan, S., 2016. *Automotive Lithium-ion Cell Manufacturing: Regional Cost Structures and Supply Chain Consideration*, Colorado, USA: Clean Energy Manufacturing Analysis Center.

Clean Energy Manufacturing Analysis Center, 2017. *Benchmarks of global clean energy manufacturing*, Colorado, USA: Clean Energy Manufacturing Analysis Center.

Daimler Media Site, 2016. *World's largest 2nd-use battery storage is starting up*. [Online] Available at: <http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Worlds-largest-2nd-use-battery-storage-is-startingup.xhtml?oid=13634457> [Accessed 20 March 2018].

ELIBAMA, 2014. *Li-ion Batteries Recycling*, s.l.: ELIBAMA.

European Commission, 2017. *Critical Raw Materials*. [Online] Available at: http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en [Accessed 20 March 2018].

Gaulier, G. & Zignago, S., 2016. *BACI: International Trade Database at the Product Level. The 1994-2007 version*, s.l.: CEPII.

Global Energy Metal Crop, 2017. *Cobalt Supply*. [Online] Available at: <https://www.globalenergymetals.com/cobalt/cobalt-supply/> [Accessed 20 March 2018].

Global Trade Atlas, 2017. *Import Statistics*. [Online] Available at: <https://www.gtis.com/gta/> [Accessed 28 March 2018].

Graedel, T. et al., 2011. *Recycling Rates of Metals: A Status Report*, Paris, France: United Nation Environment Programme.

Infomine, 2018. *Manganese Prices and Manganese Price Charts*. [Online] Available at: <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/manganese/> [Accessed 20 March 2018].

Kohl, K., 2016. *The "Holy Grail" of Battery Techonology*. [Online] Available at: <https://www.energyandcapital.com/articles/the-holy-grail-of-battery-technology/5320> [Accessed 22 March 2018].

Lebedeva, N., Persio, F. D. & Boon-Brett, L., 2016. *Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe*, Petten: European Commission.

Lowe, M., Tokuka, S., Trigg, T. & Gereffi, G., 2010. *Lithium-ion batteries for electric vehicles: The U.S. value chain*, North carolina, USA: Center on Globalization, Governance & Competitiveness.

Mantuano, D. P., Gorella, G., Elias, R. C. A. & Mansur, M. B., 2006. Analysis of a hydrometallurgical route to recover base metals from spent rechargeable batteries by liquid-liquid extraction with Cyanex 272. *Journal of Power Sources*, 159(2), pp. 1510-1518.

NES Global Talent, 2017. *The Current and Upcoming Lithium Projects in Australia*. [Online] Available at: <https://www.nesgt.com/blog/2017/08/the-current-and-upcoming-lithium-projects-in-australia> [Accessed 20 March 2018].

Nexxon, n.d. *About li-ion batteries*. [Online] Available at: <http://www.nexxon.co.uk/technology-2/about-li-ion-batteries/> [Accessed 26 March 2018].

Nissaninsider, 2016. *Powering ahead with second-life battery system*. [Online] Available at: <http://nissaninsider.co.uk/powering-ahead-with-second-life-battery-system/> [Accessed 20 March 2018].

Nornickel, 2016. *Nornickel Annual Report 2016*, Moscow, Russian: Noeilsk Nickel.

Notter, D. A. et al., 2010. Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles. *Environmental Science & Technology*, 44(17), pp. 6550-6556.

Phys.org, 2009. *Panasonic Develops High Energy Lithium-ion Battery with High Reliability*. [Online] Available at: <https://phys.org/news/2009-10-panasonic-high-energy-lithium-ion-battery.html> [Accessed 26 March 2018].

Qnovo, 2015. *69. Inside The Battery of a Nissan Leaf*. [Online] Available at: <https://qnovo.com/inside-the-battery-of-a-nissan-leaf/> [Accessed 26 March 2018].

Resource Trade.Earth, 2016. *Lithium Cabonate Data*. [Online] Available at: <https://resourcetrade.earth/> [Accessed 20 March 2018].

Richa, K., Babbitt, C. W. & Gaustad, G., 2017. Eco-Efficiency Analysis of a Lithium-Ion Battery Waste Hierarchy Inspired by Circular Economy. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), pp. 715-730.

Richa, K., Babbitt, C. W., Nenadic, N. G. & Gaustad, G., 2017. Environmental trade-offs across cascading lithium-ion battery life cycles. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(1), pp. 66-81.

Ryan, J., 2017. *China is about to bury Elon Musk in Batteries*. [Online] Available at: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-06-28/china-is-about-to-bury-elon-musk-in-batteries> [Accessed 17 April 2018].

Schulz, K. J., DeYoung, J. H., Seal, R. R. & Bradley, D. C., 2017. *Critical mineral resources of the United States-Economic and environmental geology and prospects for future supply*, Virginia, USA: U.S. Geological Survey.

Scott, S. F., 2011. *Overview of Flow Studies for Recycling Metal Commodities in The United States*, Virginia, USA: U.S. Geological Survey.

Shankleman, J., Biesheuvel, T., Ryan, J. & Merrill, D., 2017. *We're Going to Need More Lithium*. [Online] Available at: <https://www.bloomberg.com/graphics/2017-lithium-battery-future/> [Accessed 22 March 2018].

Siemens, 2017. *Your partner for battery manufacturing*, Nuremberg, Germany: Siemens AG.

Siemens, n.d. *Battery Manufacturing Process*. [Online] Available at: <http://w3.siemens.com/markets/global/en/battery-manufacturing/applications/process/pages/default.aspx> [Accessed 22 March 2018].

Smith, M., 2015. *Is The Elusive 'Ideal' Electric-Car Battery Hiding In Plain Sight?*. [Online] Available at: https://www.greencarreports.com/news/1098218_is-the-elusive-ideal-electric-car-battery-hiding-in-plain-sight [Accessed 26 March 2018].

TDILLARD, 2015. *Dissecting The Nissan Leaf Battery*. [Online] Available at: <https://insideevs.com/dissecting-leaf-battery-wvideo/> [Accessed 26 March 2018].

Todd, J., Chen, J. & Clogston, F., 2013. *Analysis of the Electric Vehicle Industry*, Washington DC, USA: International Economic Development Council.

Toyota, I., 2015. *Repurposing Hybrid Batteries in Yellowstone National Park*. [Online] Available at: http://www.toyota-global.com/insidetoyota/hybrid_batteries/ [Accessed 20 March 2018].

U.S. Geological Survey, 2018. *Mineral commodity summaries 2018*, Virginia, USA: U.S. Geological Survey.

Wang, X., Gaustad, G., Babbitt, C. W. & Richa, K., 2014. Economies of scale for future lithium-ion battery recycling infrastructure. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 83, pp. 53-62.

Watanabe, C., 2017. *Why Battery Cost Could Put the Brake on Electric Car Sales*. [Online] Available at: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-11-28/electric-cars-need-cheaper-batteries-before-taking-over-the-road> [Accessed 30 March 2018].

Zeng, X., Li, J. & Liu, L., 2015. Solving spent lithium-ion battery problems in China: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1759-1767.

บทที่ 3 แนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่ในประเทศต่างๆ

3.1 แนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่ของสหภาพยุโรป

การบริหารจัดการแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วนั้น ในปี ค.ศ.2006 สหภาพยุโรปได้มีการกำหนด Battery Directive เพื่อกำหนดกฎระเบียบสำหรับการจัดเก็บ Recycle และกำจัดขยะแบตเตอรี่ให้คุณภาพด้านสิ่งแวดล้อมตลอดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ดีขึ้น เพื่อตอบสนองต่อปริมาณของแบตเตอรี่จำนวนมากที่นำเข้ามาใช้งานในสหภาพยุโรป โดยมีการประมาณการไว้ว่า แบตเตอรี่ที่ใช้ในยานพาหนะมีปริมาณมากถึง 800,000 ตันต่อปี จากโรงงานแบตเตอรี่ประมาณ 190,000 ตันต่อปี และถ่านไฟฉายประมาณ 160,000 ตันต่อปี โดยใน Battery Directive นั้น กำหนดเป้าหมายของการ Recycle ตามชนิดของแบตเตอรี่ แต่ไม่ได้มีการกำหนดว่า แบตเตอรี่นั้นมาจากการใช้งานในอุปกรณ์ใด นอกจากนั้น สหภาพยุโรปมีการตั้งข้อกำหนดสำหรับการบริหารจัดการยานพาหนะที่หมดอายุการใช้งานแล้ว³⁻¹ หรือ End-of-life vehicles (ELV) directive ขึ้นในปี ค.ศ.2000 โดยมีจุดประสงค์เพื่อจำกัดปริมาณ และความเป็นพิษของ ELV ที่เพิ่มขึ้น ผ่านการกำหนดอัตราการ Reuse Recovery และ Recycle เพื่อนำ ELV กลับมาใช้ใหม่ และนอกจากนั้นยังต้องทำให้แน่ใจว่ากระบวนการดังกล่าวเหมาะสม และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการลดการใช้วัสดุที่เป็นพิษ (โดยเฉพาะ ตะกั่ว,ปรอท, แคดเมียม และโครเมียม) ที่มาจากการผลิตรถยนต์อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามใน ELV directive นั้น ถูกกำหนดขึ้นเพื่อบริหารจัดการ ELV โดยรวม โดยไม่มีข้อกำหนด หรือวิธีการปฏิบัติเฉพาะสำหรับชิ้นส่วนต่าง ๆ ของ ELV หรือ แบตเตอรี่ที่ใช้ได้มาจาก ELV โดยข้อกำหนดทั้ง 2 ข้อนั้น สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3-1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ข้อกำหนดส่วนใหญ่เป็นข้อกำหนดเชิงปริมาณของกระบวนการเก็บ และกระบวนการ Reuse Recovery และ Recycle แต่ไม่มีการกำหนดขั้นตอน และปริมาณของแบตเตอรี่ในแต่ละกระบวนการที่แน่นอน

ตารางที่ 3-1 การเปรียบเทียบระหว่าง Batteries และ ELV Directives

	Batteries Directive	ELV Directive
Action	Collection: ทำให้มั่นใจว่าผู้จำหน่ายสามารถเก็บแบตเตอรี่ใช้แล้วกับคืนได้ตามอัตราที่กำหนด Recycling: ทำให้มั่นใจว่ากระบวนการ Recycle มีประสิทธิภาพตามที่ตั้งเป้าไว้	ทำให้มั่นใจว่าผู้ประกอบการสามารถบรรลุเป้าหมายของการ Reuse and recovery และ Reuse and recycling ได้ตามเป้าหมาย
Target for collection	+25% (2012) +45% (2016) *รวมทั้งประเทศ	None
Target for reuse	None	2006:
Target for recycling	2010: PbA : 65% Efficiency NiCd: 75% Efficiency Others: 50% Efficiency	85% (reuse and recovery) 80% (reuse and recycling) 2015: 95% (reuse and recovery) 85% (reuse and recycling)

ที่มา : (Arbor, 2016)

³⁻¹ ยานพาหนะที่หมดอายุการใช้งานแล้ว ต่อจากนี้จะเรียกว่า ELV (End-of-life vehicle)

กรณีศึกษาการบริหารจัดการแบตเตอรี่ในทวีปยุโรป

สหภาพยุโรปเป็นแห่งแรก ๆ ของโลกที่เริ่มใช้งาน xEV จึงทำให้ข้อกำหนด และกระบวนการบริหารจัดการแบตเตอรี่นั้นจะล้าหน้าไปมากกว่าที่อื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตาม การ Reuse แบตเตอรี่นั้นยังไม่มีกำหนดวิธีการหรือกระบวนการทดสอบเพื่อนำแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วกลับมาใช้งานใหม่ ในปัจจุบัน ผู้ผลิตรถยนต์ในยุโรปได้มีการให้บริการติดตั้ง Energy Storage System สำหรับที่อยู่อาศัย ซึ่งอาจจะเป็นการเตรียมตัวเพื่อรองรับแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานจาก xEV ในอนาคต โดยผู้ผลิตรถยนต์ที่เริ่มโครงการดังกล่าวในปัจจุบันคือ Nissan และ Daimler เป็นต้น

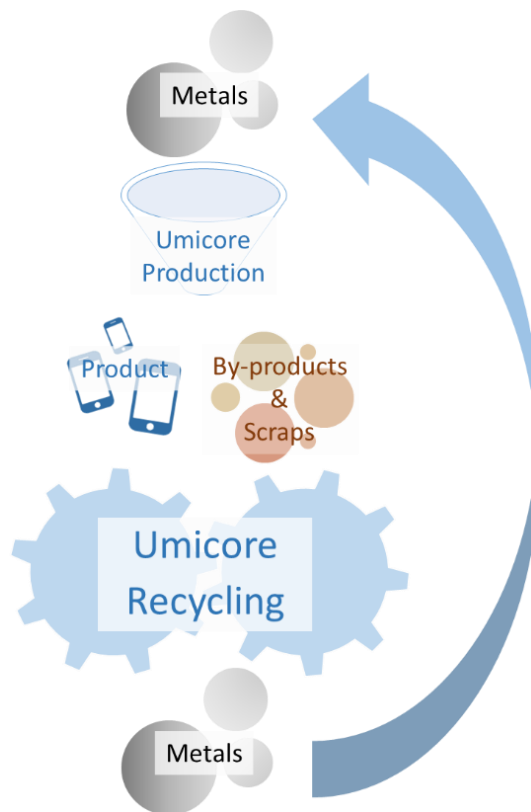
ช่วงเดือนมิถุนายน ค.ศ.2015 บริษัท Nissan ในทวีปยุโรป เป็นบริษัทแรกที่เริ่มจำหน่ายผลิตภัณฑ์ Stationary Battery ที่มาจากการ Reuse แบตเตอรี่ของ Nissan Leaf โดยใช้ชื่อว่า xStorage การจำหน่ายผลิตภัณฑ์ของ Nissan นั้นแตกต่างจาก Daimler โดย Nissan มีอุปกรณ์ให้เลือก 3 ชนิดคือ Solar Panel, xStorage และ Solar Panel ติดตั้งพร้อมกับ xStorage โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดมีราคา 3,881, 6,446 และ 7,635 ปอนด์ตามลำดับ

ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน Daimler AG เปิดตัวธุรกิจ Stationary battery ในเดือน มิถุนายน ค.ศ.2015 ด้วยความร่วมมือระหว่าง Daimler และ Energie Baden – Württemberg AG โดย Stationary battery ใช้แบตเตอรี่ของ Mercedes Benz โดยราคา Stationary Battery ของ Daimler AG นั้นอยู่ระหว่าง 5,000 – 13,000 ยูโร ขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ โดยมีความจุของแบตเตอรี่ให้เลือกระหว่าง 2.5 – 20 กิโลวัตต์ ชั่วโมง และหลังจากที่บริษัทเปิดตัวมาได้ 1 สัปดาห์ ทาง Daimler AG ก็ได้ประกาศว่าได้ร่วมมือกับบริษัท Gectec Energie, Mobility house และ Remondis พัฒนาระบบแบตเตอรี่ขนาด 13 เมกะวัตต์ชั่วโมง ติดตั้งที่โรงงาน Recycle ของ Daimler ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบตเตอรี่ Reuse จากการใช้ใน xEV ทั้งหมด

สืบเนื่องมาจากข้อกำหนดในการเรียกคืนแบตเตอรี่ของสหภาพยุโรปส่งผลให้ผู้ผลิตรถยนต์ใช้โอกาสนี้ขยายธุรกิจโดยการจำหน่าย Stationary Battery เพิ่มเติม เนื่องจากตนเองมีแบตเตอรี่ที่เรียกคืนมาจากการใช้ใน xEV อยู่แล้ว และในอนาคตถ้าหากมีการใช้งาน xEV อย่างแพร่หลายมากขึ้น จำนวนแบตเตอรี่ที่จะถูกเรียกคืนกับมาสู่มือของผู้ผลิต ก็จะมีมากขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้น การใช้แบตเตอรี่ที่ถึงแม้ว่าจะผ่านการใช้งานใน xEV มาแล้ว ในลักษณะการ Reuse เพื่อใช้ใน Stationary Battery System นั้น ช่วยลดปริมาณการใช้วัตถุดิบในการผลิตแบตเตอรี่ใหม่ และเพิ่มมูลค่าจากการใช้งานแบตเตอรี่ของ xEV อีกด้วย ซึ่งการทำให้แบตเตอรี่ xEV มีมูลค่าจากการใช้งานเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ราคาแบตเตอรี่ใหม่ที่จะนำไปใช้ใน xEV มีราคาลดลงเนื่องจาก ผู้ผลิตสามารถนำแบตเตอรี่ xEV ที่ใช้แล้วกลับมาสร้างมูลค่าเพิ่มได้อีกครั้งหนึ่ง

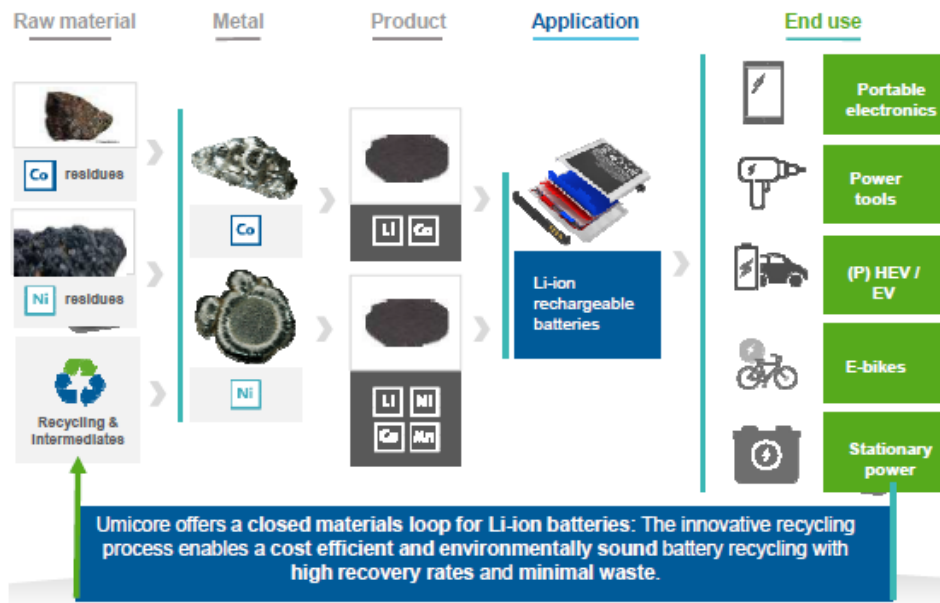
บริษัท Umicore มีกำลังการ Recycle แบตเตอรี่สูงที่สุดอยู่ที่ 7,000 ตันต่อปี หรือเทียบเท่ากับ แบตเตอรี่ของ HEV จำนวน 150,000 แพ็ค Umicore เป็นบริษัทที่ดำเนินการเกี่ยวกับเทคโนโลยีวัสดุ ซึ่งมีจุดเด่นในการสร้างวงจรปิดของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ (ภาพที่ 3-1) โดยการอาศัยกระบวนการ Recycle เพื่อนำวัตถุดิบจากผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว กลับมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ แทนการใช้วัตถุดิบใหม่ ที่มาจากแหล่งวัตถุดิบทางธรรมชาติ ซึ่งเป็นการช่วยลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในกระบวนการผลิต

ภาพที่ 3-1 กระบวนการผลิตแบบระบบปิดของ Umicore



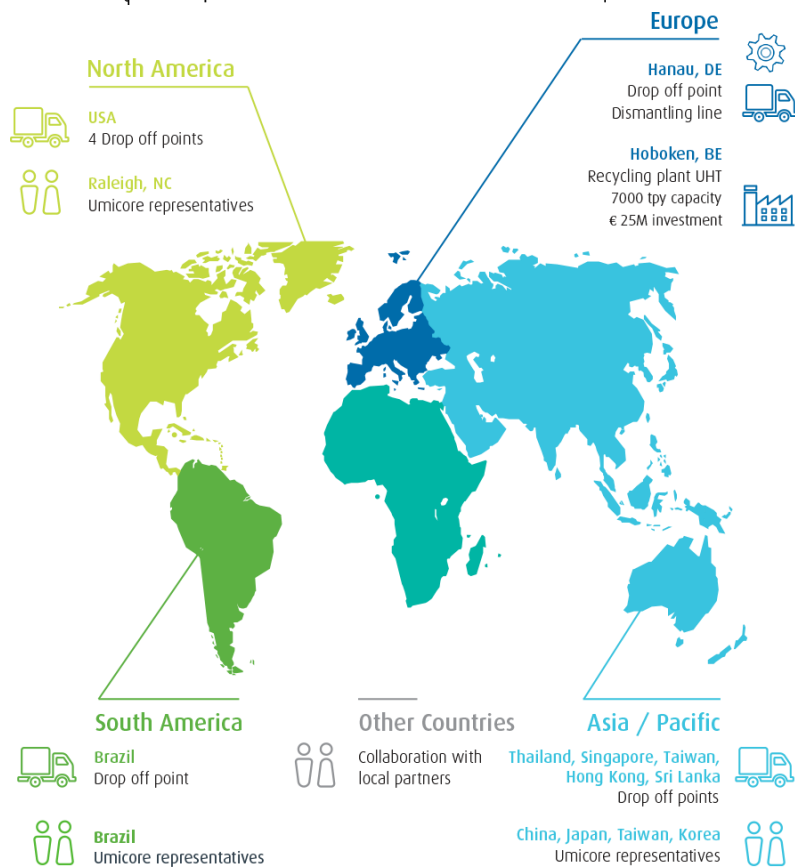
ถึงแม้ในส่วนของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และแบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์นั้น Umicore จะไม่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ดังกล่าวได้เอง แต่ Umicore มีข้อได้เปรียบทางด้านปริมาณการ Recycle และกระบวนการ Recycle ที่ซับซ้อน ซึ่งทำให้สามารถแข่งขันกับ ผู้ผลิตวัตถุดิบสำหรับแบตเตอรี่ได้ และทำให้กระบวนการผลิตแบตเตอรี่มีลักษณะเป็นระบบปิดเช่นเดียวกับการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ ของ Umicore (ภาพที่ 3-2) ซึ่งในปัจจุบันโรงงาน Recycle แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วของ มีอยู่แห่งเดียวที่เมือง Hoboken ในประเทศเบลเยียม และมีจุด Drop-off และตัวแทนของ Umicore กระจายอยู่หลายแห่งทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยด้วยเช่นกัน (ภาพที่ 3-3)

ภาพที่ 3-2 ระบบปิดของวัตถุดิบในการผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ที่เกิดขึ้นจากการ Recycle ของ Umicore



ที่มา : (Arbor, 2016)

ภาพที่ 3-3 ตัวแทนของ และจุด Drop-off ของ Umicore ตามส่วนต่าง ๆ ของโลก



ที่มา : (Arbor, 2016)

3.2 แนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่ของประเทศสหรัฐอเมริกา

สำหรับแนวทางในการบริหารจัดการแบตเตอรี่ของประเทศสหรัฐอเมริกานั้น มีหน่วยงาน Environmental Protection Agency (EPA) เป็นองค์กรที่มีหน้าที่รับผิดชอบทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยในปี ค.ศ.1996 ได้มีการกำหนดมาตรการการจัดการแบตเตอรี่ที่มีส่วนผสมของปรอท และแบตเตอรี่ที่ประจุไฟฟ้าใหม่ได้ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดการใช้ปรอทในแบตเตอรี่ และกำหนดการเก็บ และ Recycle ของปรอท นิกเกิล-แคดเมียม และตะกั่วที่บรรจุอยู่ในแบตเตอรี่ ซึ่งทำให้โลหะหนักเหล่านี้ถูกนำกลับมาใช้ใหม่แทนที่จะถูกปล่อยออกไปสู่ธรรมชาติ ซึ่งกำหนดให้แบตเตอรี่ที่กล่าวมาต้องถูกจัดการตามกฎหมาย Universal Waste Rules ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำให้การ Recycle และการกำจัด Universal Waste มีความสะดวกมากขึ้น โดย Universal Waste ประกอบด้วย 4 ประเภทคือ

1. แบตเตอรี่
2. วัตถุอันตรายทางการเกษตร
3. อุปกรณ์ที่มีปรอทเป็นส่วนประกอบ
4. โคมไฟ

ซึ่งข้อกำหนดใน Universal Waste Rules จะถูกนำไปใช้โดยบุคคล 4 กลุ่ม คือ ผู้รวบรวม Universal Waste ขนาดเล็ก, ผู้รวบรวม Universal Waste ขนาดใหญ่, ผู้ขนส่ง Universal Wastes และผู้กำจัด Universal Waste ซึ่งแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรด และแบตเตอรี่ประเภทนิกเกิลแคดเมียมถูกกำหนดให้ผ่านการ Recycle ทุกครั้ง แต่อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนไม่ได้ถูกจัดกลุ่มดังกล่าว และไม่ถูกเก็บรวบรวมโดยผู้ผลิตเพื่อจะนำไป Recycle ซึ่งในปัจจุบันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่มีปริมาณมากจะถูกส่งนำไปกำจัดโดยวิธีเผาในที่สำหรับกำจัดของเสียอันตราย นอกจากนี้รัฐแต่ละรัฐเองก็มีข้อกำหนดในการบริหารจัดการแบตเตอรี่ต่างกัน โดย รัฐที่มีการออกข้อกำหนดเกี่ยวกับการบริหารจัดการแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแสดงใน

ตารางที่ 3-2 ซึ่งจะเห็นได้ว่กำหนดต่าง ๆ เป็นการบอกให้ผู้ผลิตหรือผู้บริโภคเป็นผู้รับผิดชอบในการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้ว โดยไม่มีการกำหนดด้านวิธีการ หรือปริมาณที่ต้อง Recycle

ตารางที่ 3-2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการบริหารจัดการแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนของรัฐต่าง ๆ

รัฐ	ข้อกำหนด
California (CA)	— ผู้บริโภคต้อง Recycle หรือนำแบตเตอรี่ไปใช้แล้วไปกำจัดกับผู้รับกำจัด หรือรวบรวมแบตเตอรี่ใช้แล้ว — ผู้จำหน่ายแบตเตอรี่ขนาดเล็ก (ไม่ใช่กับยานพาหนะ) ต้องจัดหาระบบการเรียกคืนแบตเตอรี่ใช้แล้วให้แก่ผู้บริโภคแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย
Iowa (IA)	— ผู้จำหน่ายแบตเตอรี่ ต้องจัดหาระบบการเรียกคืนแบตเตอรี่ใช้แล้วให้แก่ผู้บริโภคเพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี
Maine (ME)	— ผู้จำหน่ายแบตเตอรี่ ต้องจัดหาระบบการเรียกคืนแบตเตอรี่ใช้แล้วให้แก่ผู้บริโภคเพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี

รัฐ	ข้อกำหนด
Minnesota (MN)	— ผู้ผลิตต้องเป็นผู้รับผิดชอบในการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้วเพื่อไม่ให้แบตเตอรี่ใช้แล้วเป็นส่วนหนึ่งของของเสียที่ถูกทิ้งสู่ธรรมชาติ
New York (NY)	— ผู้ผลิตต้องเป็นผู้รับผิดชอบในการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้วเพื่อไม่ให้แบตเตอรี่ใช้แล้วเป็นส่วนหนึ่งของของเสียที่ถูกทิ้งสู่ธรรมชาติ
Vermont (VT)	— ผู้จำหน่ายแบตเตอรี่ ต้องจัดหาระบบการเรียกคืนแบตเตอรี่ใช้แล้วให้แก่ผู้บริโภคเพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี — ผู้ผลิตต้องมีการรวบรวม หรือ Recycle แบตเตอรี่ที่ถูกเรียกคืนมาจากผู้บริโภค

ที่มา: (Call2recycle, n.d.)

กรณีศึกษาการบริหารจัดการแบตเตอรี่ในประเทศสหรัฐอเมริกา

จากข้อกำหนดเรื่องการบริหารจัดการแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งในแต่ละรัฐที่มีการออกข้อกำหนดเรื่องการบริหารจัดการแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่หมดอายุการใช้งานแล้ว มีการกำหนดให้ผู้จำหน่าย หรือผู้ผลิตแบตเตอรี่ต้องเป็นผู้รวบรวมแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว ซึ่งในกรณีของแบตเตอรี่ที่ใช้ใน xEV ผู้ผลิต หรือผู้จำหน่ายก็คือ บริษัทผู้ผลิตรถยนต์นั่นเอง ด้วยเหตุนี้ในอนาคตข้างหน้าค่ายรถยนต์จะมีปริมาณแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ค่ายรถหลาย ๆ ค่ายได้พยายามพาตัวเองเข้าไปมีส่วนร่วมในตลาด Energy Storage

บริษัท BMW ในประเทศสหรัฐอเมริกามีความพยายามจะพาตัวเองเข้ามาในตลาด Energy Storage มาเป็นเวลาหลายปีแล้ว เช่น ในปี ค.ศ.2013 BMW ติดตั้งระบบไฟฟ้าแบบ Microgrid ให้มหาวิทยาลัย University of California San Diego โดยใช้แบตเตอรี่จาก BMW mini E มาเป็นระบบจัดเก็บพลังงาน หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 2015 บริษัท NextEra Energy ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม โดยทางบริษัท NextEra Energy ได้เซ็นสัญญาข้อตกลงให้บริษัท BMW จัดหาแบตเตอรี่ BMW i3 และ BMW's ActiveE test fleet มาให้ทางบริษัท NextEra Energy เป็นจำนวน 20 เมกกะวัตต์ชั่วโมง นอกจากนั้นในปี ค.ศ.2016 ได้ร่วมมือกับบริษัท Solarcity ผู้จัดจำหน่ายระบบโซลาร์เซลล์เพื่อบ้านพักอาศัยโดยได้นำแบตเตอรี่จาก BMW i3 (แบตเตอรี่ใหม่) เพื่อใช้เป็นระบบจัดเก็บพลังงาน (ภาพที่ 3-4) โดยมีการออกแบบไว้ว่า ในอนาคตแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วจาก BMW i3 จะสามารถถอดมาติดตั้งกับระบบดังกล่าวได้ทันที แต่น่าเสียดายที่ปัจจุบันบริษัท SolarCity ถูกบริษัท Tesla ซื้อกิจการไปเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ภาพที่ 3-4 Stationary Energy Storage System ที่ใช้แบตเตอรี่จากรถยนต์ BMW i3



ที่มา: (Pyper, 2016)

3.3 แนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่ของประเทศญี่ปุ่น

เนื่องจากประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ส่งผลให้มีขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE) เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ประเทศญี่ปุ่นจึงตั้งกฎหมายขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาที่จะเกิดขึ้นจากปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้น ในปี ค.ศ. 2001 “Law for the Promotion of Efficient Utilization of Resource” ได้ผ่านการเห็นชอบจากรัฐสภา ประเทศญี่ปุ่นให้บังคับใช้ โดยมีจุดประสงค์เพื่อทำให้มั่นใจว่าทรัพยากรถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ และสนับสนุนการใช้งานวัตถุดิบจากการ Recycle และ Reuse เพื่อลดการสร้างขยะอิเล็กทรอนิกส์ และเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม โดยกำหนดให้ทุกองค์กรที่มีส่วนร่วมเกี่ยวกับขยะอิเล็กทรอนิกส์ (ในกรณีนี้คือ แบตเตอรี่) มีส่วนร่วมในการรับผิดชอบในการบริหารจัดการแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว โดยผู้บริโภคมีหน้าที่นำแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วไปส่งมอบให้แก่ผู้รวบรวมซึ่งก็คือผู้จำหน่ายแบตเตอรี่ โดยจะมีหน้าที่รวบรวมส่งไปให้ผู้ผลิตแบตเตอรี่ซึ่งมีหน้าที่ในการ Recycle เป็นจุดสุดท้าย

ในทำนองเดียวกันกับ ELV ก็มีการออกกฎหมายซึ่งมีลักษณะในการกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบ เช่นเดียวกับ “Law for the Promotion of Efficient Utilization of Resource” ซึ่งก็คือ “End-of-Life Vehicle recycling law” โดยกฎหมายข้อนี้กำหนดบทบาทร่วมกันของ เจ้าของรถยนต์, ธุรกิจรวบรวม ELV, ผู้ผลิตรถยนต์ และผู้นำเข้ารถยนต์ เพื่อสร้างสังคมเพื่อการ Recycle ขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการลดลงของของเสีย และการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีคุณค่า ซึ่งแต่ละภาคส่วนมีส่วนรับผิดชอบดังต่อไปนี้

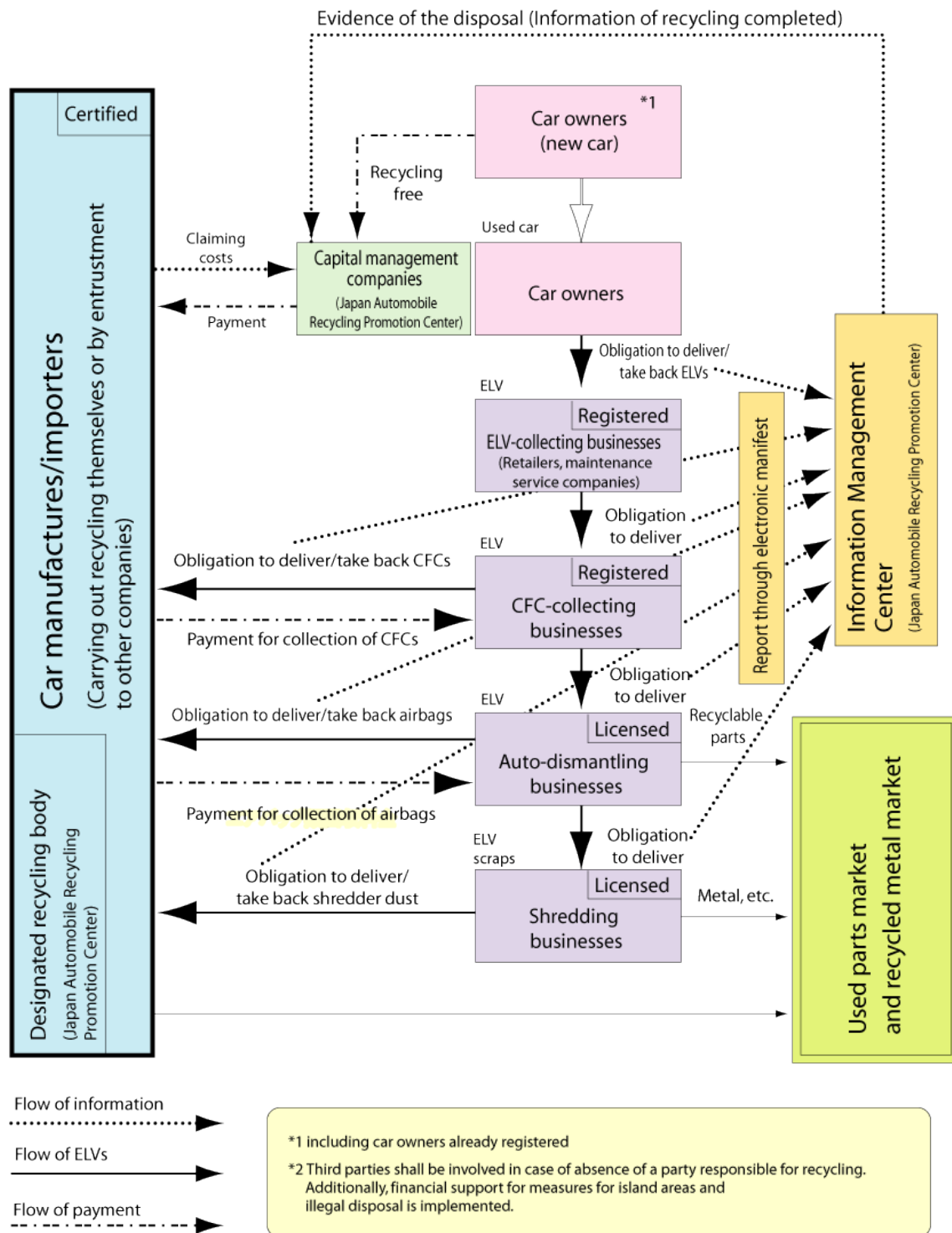
1. เจ้าของรถยนต์ (Car owners) ทำหน้าที่ชำระค่าธรรมเนียม Recycle และส่ง ELV ไปสู่ ผู้ประกอบธุรกิจรวบรวม ELV ซึ่งขึ้นทะเบียนกับผู้รับผิดชอบในพื้นที่นั้น ๆ
2. ผู้ประกอบธุรกิจรวบรวม ELV (ELV collecting businesses) ทำหน้าที่เก็บคือ ELV จากเจ้าของรถยนต์ จากนั้นนำ ELV ไปส่งมอบต่อให้แก่ ผู้ประกอบธุรกิจรวบรวมสาร CFC และ ผู้ประกอบธุรกิจแยกส่วนรถยนต์

3. ผู้ประกอบธุรกิจรวบรวมสารCFC (CFC collecting businesses) ทำหน้าที่แยกสาร CFC ออกจาก ELV โดยกระทำตามมาตรฐานการ Recycle จากนั้นนำสาร CFC ส่งกลับไปให้แก่ผู้ผลิต หรือ นำเข้ารถยนต์ และส่ง ELV ต่อไปให้แก่ผู้ประกอบธุรกิจแยกส่วนรถยนต์
4. ผู้ประกอบธุรกิจแยกส่วนรถยนต์ (Auto dismantling businesses) ทำหน้าที่แยกส่วน ELV โดยกระทำตามมาตรฐานการ Recycle จากนั้น ส่งอุปกรณ์กลับให้แก่ ผู้ผลิต หรือผู้นำเข้ารถยนต์ และส่ง ELV ต่อไปให้แก่ผู้ประกอบธุรกิจย่อยชิ้นส่วน ELV
5. ผู้ประกอบธุรกิจย่อยชิ้นส่วนELV (Shredding Businesses) ทำหน้าที่ย่อย ELV ที่ได้รับมาให้เป็นเศษผงเพื่อนำไป Recycle ต่อ จากนั้นส่งเศษผงของ ELV ให้แก่ ผู้ผลิต หรือนำเข้ารถยนต์
6. ผู้ผลิต หรือนำเข้ารถยนต์ (Car manufacturers or importers) ทำหน้าที่รวบรวม และ Recycle สารCFC, อุปกรณ์ และเศษผงของ ELV

ทั้งนี้รายละเอียดต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังแสดงในภาพที่ 3-5

เนื่องจากการกำหนดให้มีการ Recycle รถยนต์เมื่อหมดอายุการใช้งานแล้วทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในส่วนต่าง ๆ ขึ้น โดยค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะต้องถูกชำระพร้อมกับการซื้อรถยนต์ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการ Recycle พิจารณาจากปริมาณเศษผงของELV, ปริมาณสารCFC, จำนวนอุปกรณ์ และความยากง่ายในการถอดอุปกรณ์ ออก ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละรุ่น และผู้ผลิตรถยนต์ที่ต่างกัน โดยค่าธรรมเนียมจากการ Recycle นั้นจะต้องถูกเปิดเผยโดยผู้ผลิต หรือผู้นำเข้ารถยนต์

ภาพที่ 3-5 แนวคิดของ ELV Recycling Law

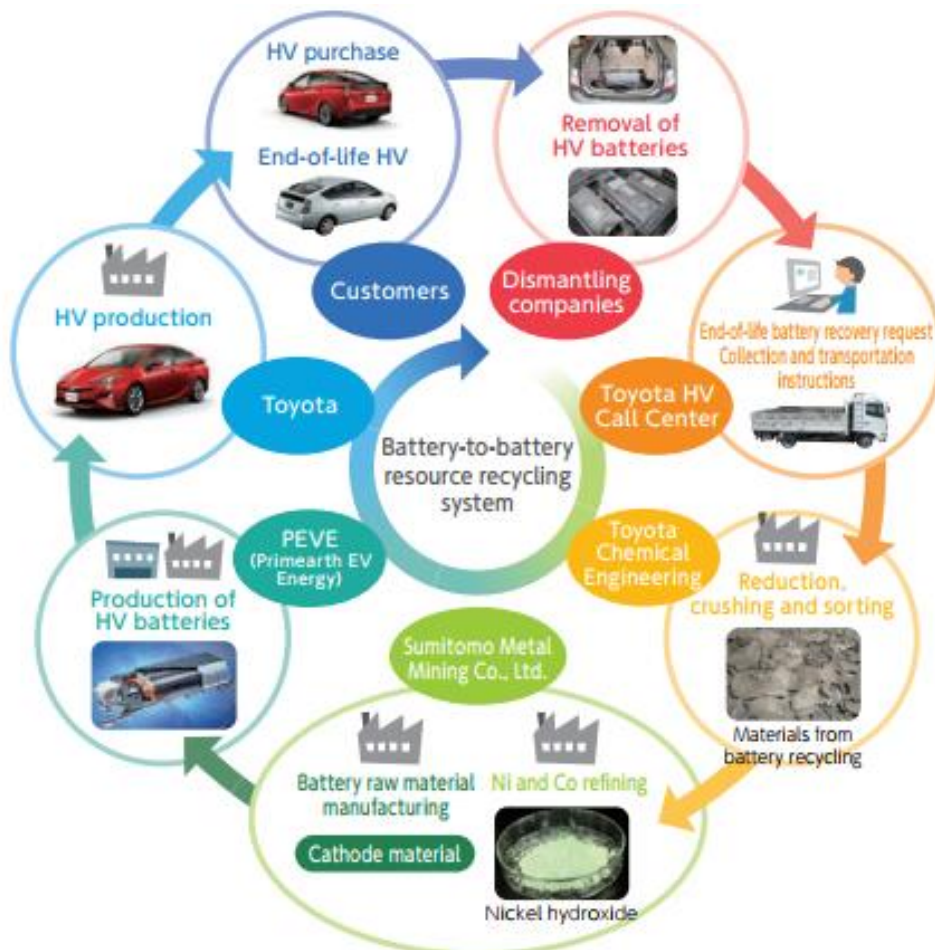


ที่มา: (Ministry of Economy, Trade and Industry, 2006)

กรณีศึกษาการบริหารจัดการแบตเตอรี่ในประเทศญี่ปุ่น

ในปี ค.ศ.2010 บริษัท Toyota ร่วมมือกับ บริษัท Sumitomo Metal Mining ทำการ Recycle แบตเตอรี่เพื่อนำวัตถุดิบที่ได้จากการ Recycle กลับมาผลิตแบตเตอรี่ใหม่ซึ่งถึงเป็นกระบวนการ Recycle แบตเตอรี่แบบ Battery-to-Battery ครั้งแรกของโลกโดยเป็นการ Recycle แบตเตอรี่ประเภทนิเกิลเมทัลไฮไดรด์จากรถยนต์ไฮบริด ซึ่งกระบวนการ Recycle นี้เริ่มต้นจากการถอดแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วออกจากรถยนต์ไฮบริดโดยตัวแทนจำหน่าย ศูนย์บริการของโตโยต้า หรือผู้ที่ได้รับอนุญาตให้ถอดแบตเตอรี่ออกจากรถยนต์ หลังจากนั้นแบตเตอรี่จะถูกส่งไปทำการ Recycle ที่ บริษัท Toyota Chemical Engineering เพื่อทำการ Recycle และคัดแยกวัตถุดิบที่ได้ออกมา หลังจากนั้นวัตถุดิบจะถูกทำให้บริสุทธิ์โดยการหลอมโดย บริษัท Sumitomo Metal Mining เพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตขั้วแคโทดของแบตเตอรี่ ซึ่งจะถูกส่งไปให้ บริษัท Primearth EV Energy (Joint venture ระหว่าง Toyota และ Panasonic) ทำหน้าที่ผลิตแบตเตอรี่เพื่อใช้ในรถยนต์ไฮบริดของ Toyota ต่อไปเป็นแบบวงจรปิด (ภาพที่ 3-6)

ภาพที่ 3-6 รูปแบบการ Recycle แบตเตอรี่แบบ Battery-to-Battery ในความร่วมมือของ บริษัท Sumitomo Metal Mining และ Toyota

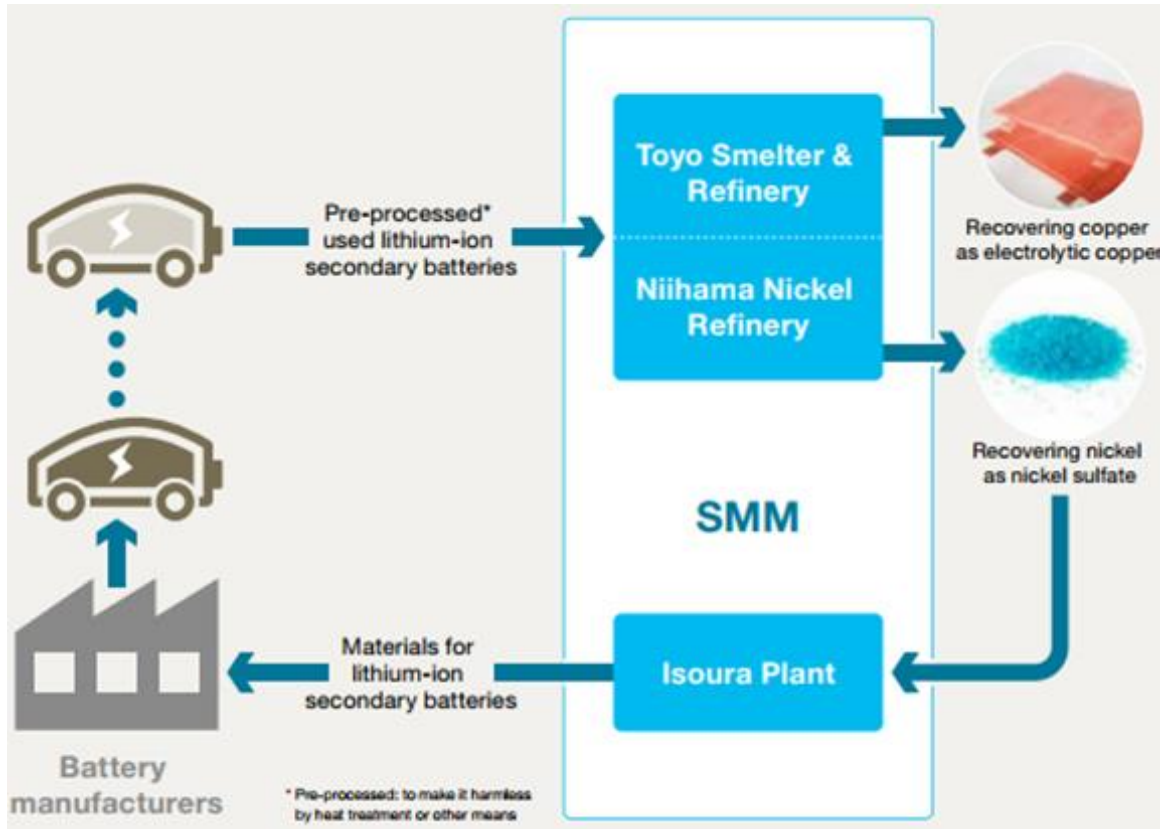


ที่มา : (Toyota, 2017)

ต่อมาในปี ค.ศ.2018 ด้วยความร่วมมือของโรงงาน 3 โรงงานของบริษัท Sumitomo Metal Mining ทำให้ บริษัท Sumitomo Metal Mining สามารถ Recycle แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบ Battery-to-Battery ได้ โดยอาศัยโรงงานถลุงแร่ทองแดง และนิเกิลของ Toyo Smelter & Refinery และ Niihama Nickel

Refinery ตามลำดับ หลังจากนั้นแร่ निकเกิลที่ได้จากการ Recycle จะถูกนำไปถลุงเพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดย Isoura Plant เพื่อส่งต่อไปให้แก่บริษัทที่ทำการผลิตแบตเตอรี่ (ภาพที่ 3-7)

ภาพที่ 3-7 กระบวนการ Recycle แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบ Battery-to-Battery ของบริษัท Sumitomo Metal Mining



ที่มา : (Sumitomo Metal Mining Co., Ltd., 2017)

ในด้านการ Reuse แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วนั้นบริษัท Sumitomo ได้ตั้งบริษัท 4R Energy ขึ้นมาโดยร่วมลงทุนกับ บริษัท Nissan โดยมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนา และทดสอบการนำแบตเตอรี่ xEV ไปใช้งานใน Stationary energy storage system จากการคาดการณ์ว่าประเทศญี่ปุ่นจะมีความต้องการของระบบ Stationary energy storage system เพิ่มขึ้นในอนาคต โดยจะถูกนำไปใช้งานเป็นอุปกรณ์จัดเก็บพลังงานหรืออุปกรณ์จัดเก็บพลังงานสำรอง โดยบริษัท 4R Energy ได้เริ่มจำหน่ายระบบดังกล่าวสำหรับใช้ในบ้านพักอาศัย และอาคารพักอาศัยแล้ว ซึ่งบริษัท 4R Energy ดำเนินธุรกิจตามหลัก 4R ซึ่งประกอบไปด้วย Reuse รีแพร์ริเคท รีไซเคิล และ Recycle มีรายละเอียดดังนี้ (ภาพที่ 3-8)

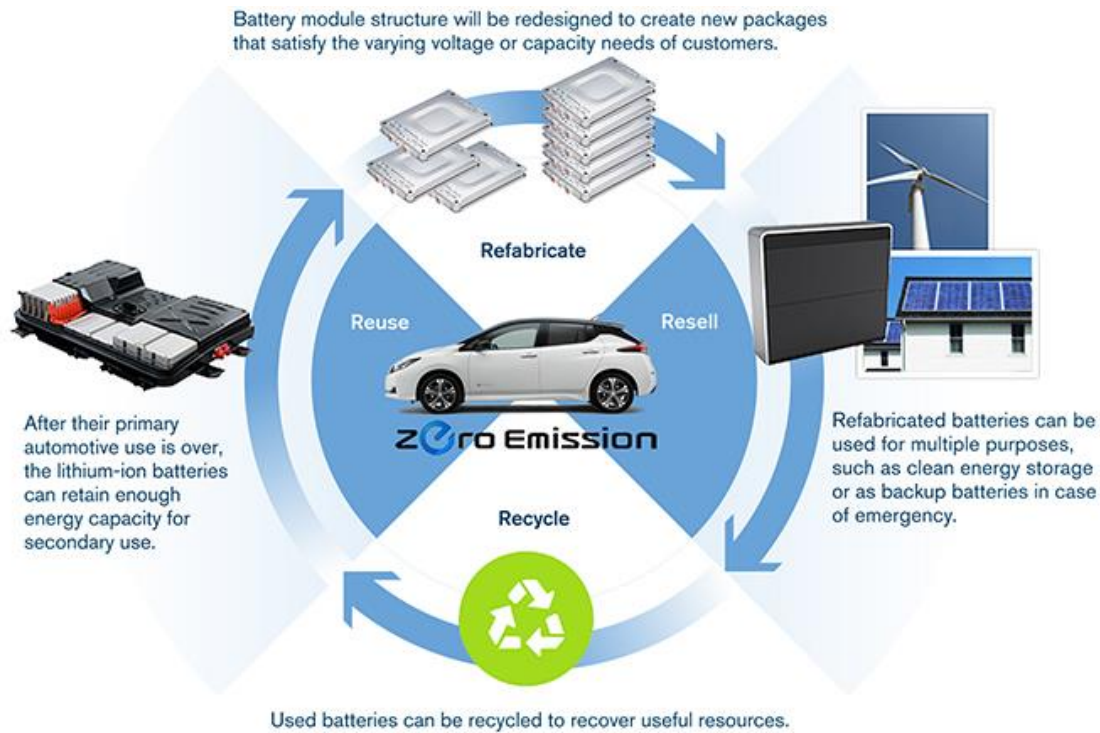
- 1) Reuse เมื่อแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนของรถยนต์ Nissan Leaf หมดอายุการใช้งานสำหรับใช้ในรถยนต์ Nissan Leaf แล้ว แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนยังมีคุณสมบัติเพียงพอที่จะถูกนำไปใช้งานในลักษณะอื่น
- 2) รีแพร์ริเคท เป็นการนำโมดูลแบตเตอรี่ของ Nissan Leaf มาออกแบบ และบรรจุใน แพ็กแบตเตอรี่ใหม่เพื่อให้มีความจุตามความต้องการ

- 3) รีเซลล์ นำแบตเตอรี่ที่ผ่านการ Refabricate มาทำการขายใหม่เพื่อใช้ในการใช้งานแบบต่าง ๆ
- 4) Recycle แบตเตอรี่ Nissan Leaf ที่หมดอายุการใช้งานแล้วสามารถนำมา Recycle เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแบตเตอรี่ใหม่ได้

ทั้งนี้ตัวอย่าง Reuse รีแพบริเคท และรีเซลล์ แบตเตอรี่ของ Nissan Leaf ให้มีความจุตามความต้องการในการใช้งานแบบต่าง ๆ แสดงใน

ภาพที่ 3-9

ภาพที่ 3-8 แนวความคิด 4R ของบริษัท 4R Energy



ที่มา : (Nissan Global, n.d.)

ภาพที่ 3-9 รูปแบบการ Reuse และรีแพบริเคท แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนของรถยนต์ Nissan Leaf เพื่อให้มีความจุตามการนำไปใช้งาน



ที่มา : (4R ENERGY, n.d.)

ในปี ค.ศ. 2018 บริษัท 4R-Energy Corporation ได้ตั้งโรงงานเพื่อ Repack แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน สำหรับใช้งานในรถยนต์ Nissan Leaf จากโมดูลแบตเตอรี่ที่มีความจุสูงกว่าร้อยละ 80 ซึ่งถอดมาจากแพ็คเกจแบตเตอรี่เก่าที่มีความจุเหลือต่ำกว่าร้อยละ 80 โดยทาง 4R-Energy จะจำหน่ายแบตเตอรี่ดังกล่าวเพื่อใช้งานในรถยนต์ Nissan Leaf ซึ่งราคาที่จะจำหน่ายนั้นต่ำกว่าราคาแพ็คเกจแบตเตอรี่ใหม่ถึงร้อยละ 50 หรือประมาณ 300,000 เยน ในส่วนของโมดูลแบตเตอรี่ที่มีความจุต่ำกว่าร้อยละ 80 จะถูกนำไปจำหน่ายเพื่อการใช้งานอื่น ๆ ที่มีความต้องการใช้พลังงานที่ต่ำกว่า โดยทางบริษัท 4R-Energy หวังว่าการจำหน่ายแบตเตอรี่ที่ผลิตจากแบตเตอรี่เก่าของ Nissan Leaf นั้นจะทำให้สามารถเพิ่มมูลค่าที่เหลืออยู่ของแบตเตอรี่ และทำให้ราคารถยนต์ Nissan Leaf นั้นสามารถเข้าถึงได้ง่ายมากขึ้น โดยทางบริษัท 4R-Energy นั้นสามารถตรวจสอบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ได้โดยใช้เวลาเพียง 4 ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าทางวิศวกรของนิสสันที่ใช้เวลาถึง 16 วัน

3.4 แนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่ของประเทศจีน

ในปี ค.ศ.2006 ประเทศจีนได้กำหนดนโยบายเกี่ยวกับการ Recycle แบตเตอรี่ชื่อ “Policy on pollution prevention technique from waste batteries” ขึ้น โดยมีเนื้อหาที่กำหนดไว้ว่าอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ต้องรับผิดชอบในการรวบรวมแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว และต้องติดฉลากบนแบตเตอรี่ หลังจากนั้นในปี ค.ศ.2012 รัฐบาลจีนได้ประกาศโครงการ “Administrative measures on the collection and using of waste electrical and electronic equipment treat fund” ซึ่งเป็นโครงการที่จัดตั้งกองทุนเพื่อนำเงินไปช่วยเหลือผู้ประกอบการบริหารจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งกองทุนนี้ได้รับเงินกองทุนมาจากผู้ผลิตอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ โดยการอัตราการเก็บเงินกองทุน และการช่วยเหลือเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 อัตราการเก็บเงินกองทุน และการช่วยเหลือของกองทุน

	โทรทัศน์	ตู้เย็น	เครื่องซักผ้า	เครื่องปรับอากาศ	คอมพิวเตอร์
อัตราการเก็บเงิน	13 หยวน	12 หยวน	7 หยวน	7 หยวน	10 หยวน
อัตราการช่วยเหลือ	85 หยวน	80 หยวน	35 หยวน	35 หยวน	80 หยวน

ที่มา: (Yu, et al., 2014)

จากปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ประเทศจีนมีการออกข้อกำหนดชื่อว่า “Directory of waste electrical and electronic equipment treatment” ขึ้น ในปี ค.ศ.2015 และนำมาบังคับใช้ในปี ค.ศ.2016 ซึ่งเป็นการเพิ่มแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเข้าไปในกองทุน “Administrative measures on the collection and using of waste electrical and electronic equipment treat fund” อย่างเป็นทางการซึ่งเป็นการกระตุ้นให้เกิดการรวบรวม และ Recycle แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเพิ่มมากขึ้น (Yu, et al., 2014)

ในวันที่ 26 ธันวาคม 2016 นโยบาย “Pollution prevention techniques from waste batteries” ได้ถูกแก้ไข และมีการเพิ่มข้อกำหนดในการ รวบรวม ขนส่ง จัดเก็บ การนำไปใช้ประโยชน์ และการบำบัดแบตเตอรี่ที่หมดอายุใช้งานแล้ว โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. แบตเตอรี่ตะกั่วกรด, แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน, แบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์, แบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม และแบตเตอรี่ประเภทกรดที่มีปรอทบรรจุอยู่ ถูกเน้นในครั้งนี้

2. ผู้ประกอบกิจการ Recycle ถูกส่งเสริมให้ใช้ “Internet of things” หรือเทคโนโลยีสารสนเทศอื่น ๆ เพื่อสร้างระบบการรวบรวมแบตเตอรี่ที่สมบูรณ์ ผู้ผลิตแบตเตอรี่ถูกส่งเสริมให้เพิ่มความรับผิดชอบของผู้ผลิตแบตเตอรี่มากขึ้น และผู้บริโภคถูกส่งเสริมให้ร่วมกันส่งแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วไปที่จุดรวบรวม
3. ต้องมีการบรรจุแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารพิษขณะขนส่ง กระทำการปล่อยประจุไฟฟ้า, การบรรจุหีบห่อแบตเตอรี่แบบแยกชั้น หรือวิธีการอื่น ๆ ที่จำเป็นเพื่อลดความเสี่ยงจากการรั่วไหลของสารพิษจากการกระแทก หรือการระเบิดจากการลัดวงจรขณะขนส่ง
4. ความปลอดภัย และความสามารถในการกันแสงของพื้นที่จัดเก็บต้องถูกทดสอบ นอกจากนั้นอุณหภูมิในพื้นที่จัดเก็บต้องถูกควบคุมเพื่อป้องกันการเกิดการลุกไหม้แบบเฉียบพลัน
5. การเผา หรือการกระทำที่รุนแรงเพื่อสกัดโลหะออกจากแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วเป็นสิ่งต้องห้าม แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วควรถูกแยกส่วนที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อป้องกันการระเหยของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เทคโนโลยีต่าง ๆ ถูกสนับสนุนเพื่อแยกโลหะที่มีมูลค่ากลับมาใช้ใหม่ เช่น การละลายด้วยกรด หรืออัลคาไล, การสกัดที่มีประสิทธิภาพสูง เป็นต้น
6. แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วควรหลีกเลี่ยงที่จะถูกนำไปเผาในเตาเผาขยะ ในกรณีฝังกลบ แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วนั้น แบตเตอรี่จะต้องไม่ถูกแยกส่วน หรือเกิดความเสียหายจากการบด หรือทับ นอกจากนั้นต้องมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว เพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารอันตรายภายในแบตเตอรี่
7. สนับสนุนให้ใช้วิธี แยกส่วน, บด และคัดแยก ด้วยระบบอัจฉริยะ สนับสนุนให้มีการพัฒนา และใช้เทคโนโลยีในการแยกวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ และแผ่นกัน

จากความพยายามพัฒนากฎข้อบังคับสำหรับการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้วเป็นเวลาหลายปี ส่งผลให้ประเทศจีนความก้าวหน้าในการกำหนดข้อบังคับค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตาม สืบเนื่องจากความสามารถในการรวบรวมแบตเตอรี่ใช้แล้วที่ไม่ดีนัก กอปรกับเทคโนโลยี Recycle ที่ไม่สูง ส่งผลให้ประเทศจีนยังตามหลังประเทศที่พัฒนาแล้วในเรื่องการบริหารจัดการแบตเตอรี่อยู่

ในเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ.2018 รัฐบาลจีนประกาศข้อกำหนดในการบริหารจัดการแบตเตอรี่ของรถยนต์ New Energy Vehicle ในประเทศจีน ซึ่งจะมีผลบังคับใช้ในเดือนสิงหาคมปีเดียวกัน โดยในข้อกำหนดดังกล่าวมีมาตรการต่าง ๆ ดังนี้

1. ผู้ผลิตรถยนต์มีความรับผิดชอบต่อการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้ว
2. ผู้ผลิตรถยนต์ต้องสร้างช่องทางในการ Recycle และช่องทางในการรวบรวม จัดเก็บ และขนส่งแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว
3. ผู้ผลิตรถยนต์ต้องสร้างศูนย์บริการเพื่อบำรุงรักษา ซ่อม และแลกเปลี่ยนแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วโดยสะดวก
4. สนับสนุนให้มีการปฏิบัติที่ดีแก่ลูกค้าในการเรียกคืนแบตเตอรี่เพื่อ Recycle เช่น การให้เงินสนับสนุน หรือการรับซื้อคืนแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว
5. สนับสนุนให้ผู้ผลิตแบตเตอรี่มีการใช้มาตรฐานในการผลิต และออกแบบแบตเตอรี่ให้แยกส่วนได้ง่าย เพื่อช่วยในการ Recycle ด้วยระบบอัตโนมัติ
6. ผู้ผลิตแบตเตอรี่ต้องมีการจัดฝึกอบรมทางเทคนิคแก่ผู้ผลิตรถยนต์ในเรื่องการจัดเก็บ และการแยกส่วนแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว

กรณีศึกษาการบริหารจัดการแบตเตอรี่ในประเทศจีน

จากการประกาศข้อกำหนดการบริหารจัดการแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วในเดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ. 2018 ส่งผลให้ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าเป็นผู้รับผิดชอบในการ Recycle แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว ทางบริษัท BYD ซึ่งเป็นหนึ่งในผู้นำด้านการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศจีน ได้ออกมากล่าวถึงความรับผิดชอบ ต่อสิ่งแวดล้อมของ BYD ด้วยการ Recycle แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว ซึ่งทาง BYD ได้ประกาศว่าจะ ตั้งโรงงาน Recycle แบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วในเมืองเซี่ยงไฮ้ โดยมีการคาดการณ์ว่าจะมีพิธีเปิด โรงงานอย่างเป็นทางการในไตรมาสที่ 2 ของปี ค.ศ. 2018

นอกจากบริษัท GEM Jingmen ที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.4.2.6 ยังมีบริษัทอีกหลายบริษัทที่ประกอบ ธุรกิจการ Recycle แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่หมดอายุการใช้งานแล้ว (ตารางที่ 3-4) ซึ่งแต่ละบริษัท มีรูปแบบ การดำเนินธุรกิจดังนี้

ตารางที่ 3-4 บริษัทที่เก็บรวบรวม และ Recycle แบตเตอรี่ในประเทศจีน

Name	Brief and introduction	Scale	License	License for HW	Remark
GEM Jingmen	Main business is clean disposal of scrap resources such as used batteries, cobalt and nickel scrap, e-waste etc.; reclaims ultrafine cobalt and nickel powder and other high-tech products.	Annual disposal capacity of used batteries and various Co and Ni scrap is 30,000 of more, and the annual production capability of reclaimed ultrafine cobalt and nickel powder can reach 3,300 t or more.	On the e-waste dismantling list, and qualifies for e-waste fund.	Yes	Recycling target includes Li-ion and NiMH batteries
BRUNP Hunan	In addition to recycling small secondary batteries, also has recycling capability for power batteries from EVs, including NiMH and Li-Ion Batteries (ternary, manganese, iron)	With a total designed processing capacity of 10,000 t/year. Annually recycles and processes more than 6,000 t	On the e-waste dismantling list	Yes	Involved in the recovery business in NiMH and Li-Ion batteries (ternary, containing Co). It owns a transportation business and provides collection service for amounts over 10-20 t per load.
TES-AMM Suzhou	Mainly engaged in e-waste recycling and resource utilization. Is a qualified enterprise in both e-waste recycling and hazardous waste dismantling	Has a processing line for recovering Li-ion batteries with a capacity of 20-30 t/year.	On the e-waste dismantling list, and qualifies for e-waste fund.	Yes	Because of some limitations in the collection market, the actual recovered amount is below 10 t, and the processing line target is digital Li-ion batteries used mainly for cellphones.
Umicore Jiangmen	Has also made an important breakthrough in the area of cathode material from NiMH batteries, which can be used for HEV packs for domestic industries.	Capacity to produce 10,000 t of NiMH raw material and 5,000 t of Li-ion raw material per year.	No	Yes	Collects waste rechargeable batteries, such as Li-ion, Li-polymer, NiMH, NiCd and reuses the substances in battery materials production.
Ningda Yangzhou	Engaged in recycling non-ferrous metals and rare metals, and in industrial wastewater treatment	Disposal and recycling of nickel and other metals contained in waste raw materials; 3000 t/year.	Yes	Yes	Collects various types of waste NiMH batteries, Li-ion batteries, Li-polymer batteries and battery materials, including cobalt scrap, aluminum, cobalt paper, cathode and anode of Li-ion and NiMH batteries, as well as all the scrap generated in battery production.
Huanwu Nanjing	Located in Nanjing Lishui Economic Development Zone, with industrial plant of 12,000 m ² and annual process capacity of 50,000 t of waste.	Disposal and recycling of nickel contained in waste batteries and other e-waste (including sludge); 2,000 t/year.	Yes	Yes	Provides removal and environmentally sound management and disposal service for waste dry batteries and rechargeable batteries.

ที่มา: (Zeng, et al., 2015)

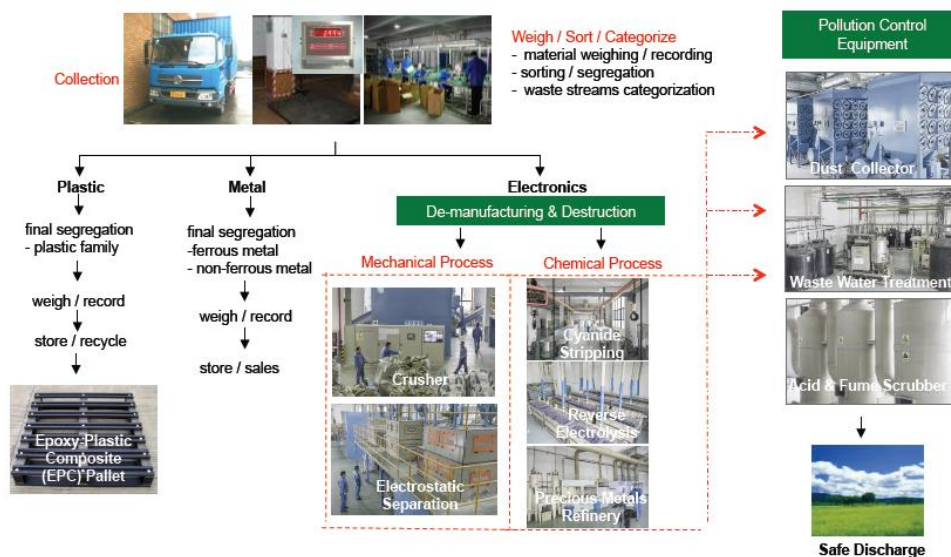
3.4.1 Hunan Brunp recycling Science and Technology Co., Ltd.³⁻²

Hunan Brunp recycling Science and Technology Co., Ltd หรือ BRUNP Hunan ประกอบธุรกิจ Recycle จากผลิตภัณฑ์ 2 ประเภทคือ แบตเตอรี่ และซากรถยนต์ ซึ่ง แบตเตอรี่ที่ BRUNP Hunan ทำการ Recycle นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบตเตอรี่ขนาดเล็กเช่น แบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ และ แบตเตอรี่ที่ใช้ในยานพาหนะ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า BRUNP Hunan มีกำลังในการ Recycle แบตเตอรี่ ได้สูงสุด 10,000 ตันต่อปี ซึ่งปัจจุบัน Recycle แบตเตอรี่ได้ 6,000 ตันต่อปี และสามารถผลิตวัตถุดิบที่ได้จากการ Recycle เช่น ลิเทียม-แมงกานีส-โคบอลไฮดรอกไซด์ กรดนิเกิล-แมงกานีส-ลิเทียม-โคบอล ลิเทียม-โคบอลไฮดรอกไซด์ โคบอลคลอไรด์ นิเกิลซัลเฟต โคบอลต์ซัลเฟต และ โคบอลตอกออกไซด์ ได้ถึง 4,500 ซึ่งถือว่าเป็นบริษัทที่มีกำลังการ Recycle สูงเป็นอันดับ 2 ของโลก และอันดับ 1 ของทวีปเอเชีย สามารถทำให้ BRUNP Hunan เป็นตัวกลางเชื่อมโยงวงจรการใช้งานแบตเตอรี่ได้ โดยการ Recycle แบตเตอรี่จะได้วัตถุดิบที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ นอกจากนี้ BRUNP Hunan ยังเป็นเจ้าของธุรกิจขนส่ง ทำให้ BRUNP Hunan มีกระบวนการขนส่ง และเรียกคืนแบตเตอรี่เป็นของตนเอง

3.4.2 TES-AMM (Suzhou) E-Waste Solution Ltd.³⁻³

TES-AMM (Suzhou) E-Waste Solution Ltd. หรือ TES-AMM Suzhou เป็นบริษัทที่ให้บริการ Recycle ขยะจากอุตสาหกรรมจำพวก พลาสติก และโลหะ Recycle ขยะจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมถึง แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (กำลังการ Recycle 10 ตันต่อปี) และบริการล้างข้อมูลในอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล และ Remarketing ซึ่งทาง TES-AMM ได้รับขยะจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากหลายช่องทาง ได้แก่ ผู้ผลิตชิ้นส่วน และแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์ซ่อมบำรุง และโครงการเรียกคืนขยะเพื่อ Recycle ซึ่งสามารถแบ่งวัสดุเพื่อ Recycle ออกได้เป็น 3 ประเภท คือ พลาสติก โลหะ และขยะทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยวัสดุชนิดต่าง ๆ จะผ่านกระบวนการ Recycle ที่ต่างกัันดังแสดงในภาพที่ 3-10 ซึ่งจะได้อัตราการ Recycle (ภาพที่ 3-11) ซึ่งจะถูกนำไปจำหน่ายเพื่อเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้อุตสาหกรรม

ภาพที่ 3-10 กระบวนการ Recycle ของบริษัท TES-AMM Suzhou

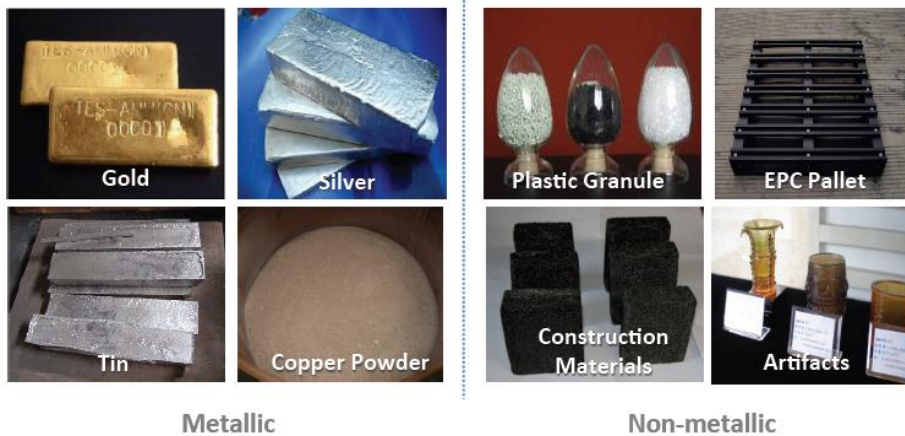


ที่มา: (TES-AMM Corporation (China) LTD, 2016)

³⁻² ต่อจากนี้จะเรียกว่า BRUNP Hunan

³⁻³ ต่อจากนี้จะเรียกว่า TES-AMM Suzhou

ภาพที่ 3-11 วัตถุดิบที่ได้จากการ Recycle ของบริษัท TES-AMM Suzhou



ที่มา: (TES-AMM Corporation (China) LTD, 2016)

3.4.3 Jiangmen Umicore Chancsun New Materials Co., Ltd.³⁻⁴

Umicore Jiangmen เป็นบริษัทร่วมลงทุนระหว่าง Umicore ประเทศเบลเยียม และ Jiangmen Chancsun Industrial ประเทศจีน โดย Umicore ถือหุ้นอยู่ร้อยละ 60 โดย Umicore ถือเป็นบริษัทที่มีกำลังการ Recycle เป็นอันดับ 1 ของโลก นอกจากนั้น Umicore เองยังมีธุรกิจผลิตวัตถุดิบเพื่อผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และนิเกิลเมทัลไฮไดรด์ด้วยเช่นกัน ซึ่งการตั้งบริษัท Umicore Jiangmen นั้น ทำให้สามารถจำหน่ายวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ให้แก่ผู้ผลิตแบตเตอรี่ในประเทศจีน ซึ่งถือว่าเป็นประเทศที่มีกำลังผลิตแบตเตอรี่สูงที่สุดในโลก นอกจากนั้น ยังส่งออกวัตถุดิบที่ผ่านการ Recycle ไปให้ Umicore Korea เพื่อนำไปผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่อีกด้วย โดย Umicore Jiangmen นั้นมีกำลังการผลิตวัตถุดิบสำหรับแบตเตอรี่นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ 10,000 ตันต่อปี และมีกำลังการผลิตวัตถุดิบสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 5,000 ตันต่อปี โดยอาศัยเทคโนโลยี Recycle ที่ทันสมัยจาก Umicore

3.5 สรุปแนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่ในประเทศต่าง ๆ

3.5.1 กฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้ว

กฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้วของประเทศต่าง ๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. การกำหนดผู้รับผิดชอบ เป็นการกำหนดหน้าที่ในการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้วให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในห่วงโซ่มูลค่าของอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ใน xEV ประเทศต่าง ๆ มีการกำหนดหน้าที่รับผิดชอบ 3 หน้าที่ คือ เก็บรวบรวม Recycle และกำจัด แบตเตอรี่ใช้แล้ว
2. การกำหนดเงื่อนไขการดำเนินการ เป็นการกำหนดเงื่อนไขบางอย่างในขั้นตอนการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้ว ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการกำหนด อัตราการเก็บรวบรวมแบตเตอรี่ และประสิทธิภาพในการ Recycle แบตเตอรี่

ทั้งนี้กฎระเบียบการกำหนดผู้รับผิดชอบและเงื่อนไขการดำเนินการของประเทศต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังแสดงใน ตารางที่ 3-5

³⁻⁴ ต่อจากนี้จะเรียกว่า Umicore Jiangmen

ตารางที่ 3-5 กฎระเบียบการกำหนดผู้รับผิดชอบและเงื่อนไขการดำเนินการของประเทศต่าง ๆ

Countries	Collectors	Recyclers	Disposing organizations	Others
สหภาพยุโรป	ผู้จำหน่ายมีหน้าที่เก็บรวบรวมให้ได้ตามสัดส่วนที่กำหนด	ผู้ Recycle ต้อง Recycle ให้มีประสิทธิภาพตามที่กำหนด	-	ผู้ผลิตรถยนต์ และชิ้นส่วนต้องใช้วัตถุดิบที่สามารถ Reuse Recycle และ Recovery ได้ตามที่กำหนด
สหรัฐอเมริกา	ในระดับประเทศ ประเทศสหรัฐอเมริกาไม่มีข้อกำหนดในด้านการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้วของ xEV แต่ในระดับรัฐมีบางรัฐที่มีการออกข้อกำหนดดังกล่าวแล้ว			
รัฐแคลิฟอร์เนีย	ผู้จำหน่ายมีหน้าที่เก็บรวบรวมแบตเตอรี่ (ไม่รวมแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์)	-	-	-
รัฐมินนิโซตา	ผู้ผลิตมีหน้าที่บริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้ว			
รัฐนิวยอร์ก	ผู้จำหน่ายมีหน้าที่เก็บรวบรวม และส่งแบตเตอรี่ต่อไปให้แก่ผู้ผลิตแบตเตอรี่	ผู้ผลิตมีหน้าที่กำจัดหรือ Recycle แบตเตอรี่		-
ประเทศญี่ปุ่น	มีหน่วยงานรับผิดชอบรวบรวมซากรถยนต์	ผู้ผลิตและนำเข้ารถยนต์มีหน้าที่ในการ Recycle เศษซากรถยนต์ และทำลายสาร CFC และถุงลมนิรภัย หรือดำเนินการผ่านหน่วยงานอื่น ให้มีประสิทธิภาพตามที่กำหนด		1. ผู้บริโภคมีหน้าที่ชำระค่าธรรมเนียมในการดำเนินการจัดการซากรถยนต์ 2. มีหน่วยงานรับผิดชอบ แยกสาร CFC ถุงลมนิรภัย และบดทำลายซากรถยนต์
ประเทศจีน	ภาคอุตสาหกรรมมีหน้าที่รวบรวมแบตเตอรี่ใช้แล้ว	-	-	รัฐบาลจัดตั้งกองทุนอุดหนุนผู้ประกอบการบริหารจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ (รวมถึงแบตเตอรี่)

ที่มา: จากการรวบรวมข้อมูลของนักวิจัย

จะเห็นได้ว่าประเทศส่วนใหญ่กำหนดผู้ผลิต หรือผู้จำหน่ายแบตเตอรี่เป็นผู้เก็บรวบรวมแบตเตอรี่ใช้แล้ว โดยประเทศที่กำหนดให้ผู้ผลิตเป็นผู้รวบรวมคือ รัฐมินนิโซตาประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศจีน ในส่วนของสหภาพยุโรป และรัฐนิวยอร์กประเทศสหรัฐอเมริกา ที่กำหนดให้ผู้จำหน่ายแบตเตอรี่เป็นผู้รวบรวมแบตเตอรี่ใช้แล้ว มีเพียงประเทศญี่ปุ่นประเทศเดียวที่ไม่ได้กำหนดให้ผู้ผลิต หรือผู้จำหน่ายแบตเตอรี่ใช้แล้ว แต่ต้องเป็นองค์กรที่ผ่านการรับรองจากทางรัฐบาลญี่ปุ่น ในส่วนของการกำหนดหน้าที่การกำจัด หรือ Recycle แบตเตอรี่นั้น รัฐนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกาคำหนดให้ผู้ผลิตแบตเตอรี่มีหน้าที่กำจัด หรือ Recycle แบตเตอรี่ ในส่วนของประเทศญี่ปุ่นนั้นกำหนดให้ผู้ผลิตรถยนต์ทำหน้าที่กำจัดและ Recycle ซากรถยนต์ทั้งหมด หรือเป็นผู้รับผิดชอบจัดหาผู้ดำเนินการธุรกิจดังกล่าวเพื่อกำจัดหรือ Recycle ซากรถยนต์ของตน จากข้อมูลที่กำลังกล่าวมาทั้งหมดมีเพียงสหภาพยุโรป และประเทศญี่ปุ่น เท่านั้นที่มีการกำหนดเงื่อนไขในการบริหารจัดการแบตเตอรี่เพิ่มเติมจากการกำหนดผู้รับผิดชอบ ซึ่งเงื่อนไขที่กำหนดเพิ่มเติม คือ สหภาพยุโรปมีการกำหนดสัดส่วนการรวบรวม ประสิทธิภาพในการ Recycle และสัดส่วนวัตถุดิบที่สามารถ Reuse Recycle และ Recovery ได้ และประเทศญี่ปุ่นกำหนดกำหนดประสิทธิภาพในการ Recycle

จากตัวอย่างธุรกิจ Recycle แบตเตอรี่ 4 ราย ที่ได้กล่าวไว้ใน คือ บริษัท Umicore ประเทศเบลเยียม บริษัท Retrive Technology ประเทศสหรัฐอเมริกา บริษัท JX Nippon Mining and Metals ประเทศญี่ปุ่น และ บริษัท GEM ประเทศจีน มีการดำเนินการทั้งสิ้น 4 ขั้นตอน คือ เก็บรวบรวมแบตเตอรี่จากผู้บริโภค (Collector) เก็บรวบรวมแบตเตอรี่จากหน่วยงานรวบรวม (Drop-off Point) Recycle แบตเตอรี่ และถลุงโลหะที่ได้จากการรีไซเคิลแบตเตอรี่ (Refinery) ซึ่งแต่ละบริษัทอาจไม่ได้ดำเนินการครบทั้ง 4 ขั้นตอน ขึ้นอยู่กับกฎระเบียบการกำหนดผู้รับผิดชอบของแต่ละประเทศ ทั้งนี้ขั้นตอนการดำเนินงาน และกฎระเบียบการกำหนดผู้รับผิดชอบแสดงอยู่ในตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 ขั้นตอนการดำเนินการ Recycle แบตเตอรี่ และกฎระเบียบการกำหนดผู้รับผิดชอบ

Countries	Collectors	Drop-off	Recycle	Refinery
สหภาพยุโรป	• ผู้จำหน่าย*	• Umicore	• Umicore	• Umicore
สหรัฐอเมริกา (CA)	• ผู้จำหน่าย*	• Retrive	• Retrive	-
ประเทศญี่ปุ่น	• หน่วยงานกลาง*	-	• ผู้ผลิต ผู้นำเข้า รถยนต์ หรือ ดำเนินการผ่าน หน่วยงานอื่น* • JX Nippon	• JX Nippon
ประเทศจีน	• ภาคอุตสาหกรรม* • GEM	-	• GEM	• GEM

*ถูกกำหนดหน้าที่ผ่านกฎระเบียบของแต่ละประเทศ

ที่มา: จากการรวบรวมข้อมูลของนักวิจัย

จากตารางที่ 3-6 จะเห็นได้ว่า สหภาพยุโรป และรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา กำหนดให้ผู้จำหน่ายแบตเตอรี่เป็นผู้รวบรวมแบตเตอรี่ใช้แล้ว ซึ่งจะส่งผลให้จตุรรวบรวมมีการกระจายตัวอยู่ตามผู้จำหน่ายแบตเตอรี่ ส่งผลให้ผู้บริโภคสามารถส่งแบตเตอรี่ใช้แล้วเข้าสู่ระบบบริหารจัดการได้สะดวก การกระจายตัวอยู่

ของผู้รวบรวมแบตเตอรี่นั้น ส่งผลให้บริษัท Umicore และ บริษัท Retrive Technology เก็บรวบรวมแบตเตอรี่จากหน่วยงานรวบรวมอีกทอดหนึ่งเพื่อรวบรวมแบตเตอรี่ให้มีจำนวนมากก่อนส่งไป Recycle ในส่วนของประเทศจีนนั้นมีการกำหนดให้ภาคอุตสาหกรรมเป็นผู้เก็บรวบรวมแบตเตอรี่ ดังนั้น บริษัท GEM จึงมีการตั้งจุดรวบรวมแบตเตอรี่เพื่อเก็บรวบรวมแบตเตอรี่ใช้แล้ว สำหรับเก็บรวบรวมแบตเตอรี่เพื่อนำมา Recycle ต่อไป มีเพียงประเทศญี่ปุ่นประเทศเดียวเท่านั้นที่มีการกำหนดให้ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้ารถยนต์มีหน้าที่ในการ Recycle หรือ กำจัดเศษซากรถยนต์ แต่อย่างไรก็ตามบริษัทรถยนต์ไม่มีความสามารถ หรือไม่มีความต้องการในการ Recycle หรือเศษซากรถยนต์เอง ในกฎระเบียบก็ได้เปิดช่องให้ผู้ผลิต หรือผู้นำเข้ารถยนต์ดำเนินการผ่านบริษัทอื่นได้ บริษัท Recycle ส่วนใหญ่นั้นมีการดำเนินการถลุงโลหะเพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบที่ได้จากการ Recycle แบตเตอรี่ มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นให้เหมาะสมในการผลิตแบตเตอรี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่มีอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ในประเทศ อย่างประเทศจีน และประเทศญี่ปุ่น

นอกจากการบริหารจัดการแบตเตอรี่โดยวิธีการ Recycle ซึ่งในปัจจุบันเป็นวิธีการเดียวที่เริ่มจะมีกฎระเบียบเข้ามาควบคุม ยังมีการบริหารจัดการแบตเตอรี่อีก 2 วิธี คือ Repack และ Reuse โดยประเทศญี่ปุ่นคือประเทศเดียวที่มีธุรกิจ Repack และ Reuse แบตเตอรี่ในประเทศ ซึ่งดำเนินการโดย บริษัท 4R – Energy ในขณะเดียวกัน ผู้ผลิตรถยนต์ในสหภาพยุโรป 2 รายคือ Nissan และ Daimler AG มีการดำเนินธุรกิจ Reuse แบตเตอรี่ โดยจำหน่าย Stationary storage system สำหรับที่พักรถยนต์ และบริษัท BMW ในประเทศสหรัฐอเมริกามีการจำหน่ายแบตเตอรี่ใช้แล้วของรถยนต์ BMW i3 สำหรับใช้กับที่พักรถยนต์ ผ่านทางบริษัท Solarcity แต่เป็นที่น่าเสียดาย ที่บริษัท Solarcity ถูกบริษัท Tesla ซื้อกิจการไปเสียก่อน ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้ใน Stationary Storage System ของบริษัท Solarcity ในปัจจุบันเป็นแบตเตอรี่ใหม่ของบริษัท Tesla

3.6 เอกสารอ้างอิง

4R ENERGY, n.d. *What is 4R-Eenergy*. [Online] Available at: <https://www.4r-energy.com/company/about/> [Accessed 27 April 2018].

Call2recycle, n.d. *Recycling Laws By State*. [Online] Available at: <https://www.call2recycle.org/recycling-laws-by-state> [Accessed 09 April 2018].

Ministry of Economy, Trade and Industry, 2006. *End-of-Life Vehicle Law*. [Online] Available at: <http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/english/law/end.html> [Accessed 09 April 2018].

Nissan Global, n.d. *Battery Secondary-Use 4R Business*. [Online] Available at: <https://www.nissan-global.com/EN/ZEROEMISSION/APPROACH/COMPREHENSIVE/4RBUSINESS/> [Accessed 27 April 2018].

Pyper, J., 2016. *BMW is turning used i3 batteries into home energy storage units..* [Online] Available at: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/bmw-is-turning-used-i3-batteries-into-home-energy-storage-units#gs.clYjBS8> [Accessed 11 April 2018].

Sumitomo Metal Mining Co., Ltd., 2017. *Integrated Report*, s.l.: Sumitomo Metal Mining Co., Ltd..

TES-AMM Corporation (China) LTD, 2016. *Send electronic waste back to home and create a better life.*, s.l.: TES-AMM Corporation (China) LTD.

Toyota, 2017. *Vehicle Recycling*, s.l.: Environmental Affairs Division, Toyota Motor Corporation.

Yu, L. et al., 2014. The development of WEEE management and effects of the fund policy for subsidizing WEEE treating in China. *Waste Management*, Volume 34, pp. 1705-1714.

Zeng, S., Li, J. & Liu, L., 2015. Solving spent lithium-ion battery problems in China: Opportunities and challenges.. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 52, pp. 1759-1767.

บทที่ 4 อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ของประเทศไทย

4.1 การผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์

4.1.1 อุตสาหกรรมต้นน้ำการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์

เนื่องจากประเทศไทยไม่มีเหมืองแร่ที่เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมในส่วนต้นน้ำนี้จึงไม่สามารถทำในประเทศไทยได้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าผู้ประกอบการบางรายของไทย ได้ร่วมลงทุนกับบริษัทต่างชาติที่ทำเหมืองเพื่อนำแร่วัตถุดิบไปผลิตแบตเตอรี่ คือ บริษัท BCP Innovation Pte. Ltd. (BCPI) ซึ่งเป็นบริษัทย่อยของบริษัทบางจาก ได้ซื้อหุ้นบริษัท Lithium Americas Corp. (LAC) ซึ่งดำเนินโครงการเหมืองลิเทียมที่ประเทศอาร์เจนตินา และสหรัฐอเมริกา โดยวัตถุดิบเหล่านี้ BCPI จะนำมาใช้ผลิตแบตเตอรี่สำหรับ Energy storage และสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันบริษัทอยู่ระหว่างศึกษาพื้นที่และแนวทางการลงทุนโรงงานแบตเตอรี่ลิเทียมในพื้นที่โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) โดยปริมาณแร่ลิเทียมดังกล่าวสามารถผลิตแบตเตอรี่เพื่อรองรับรถยนต์ไฟฟ้าได้ 62,500 คันต่อปี⁴⁻¹

4.1.2 อุตสาหกรรมกลางน้ำการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์

อุตสาหกรรมกลางน้ำ ประกอบด้วย การผลิตเซลล์แบตเตอรี่ และการแพ็กแบตเตอรี่

สำหรับการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ ในอดีตที่ผ่านมา ประเทศไทยผลิตเซลล์แบตเตอรี่เพื่อใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ ถ่านไฟฉาย อย่างไรก็ดี เมื่อตลาดแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้ามีแนวโน้มเติบโต ผู้ประกอบการในประเทศไทยจึงให้ความสนใจลงทุนผลิตเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียม ดังนี้ **บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (มหาชน) (หรือ EA)** ซื้อหุ้นจากบริษัทได้หวันชื่อ Amita Technologies Inc. ที่เป็นผู้ผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โพลีเมอร์ (Lithium-Ion Polymer) เพื่อผลิตแบตเตอรี่ในประเทศไทย และยังลงทุนจัดตั้งสถานีประจุไฟฟ้าภายใต้ชื่อ EA Anywhere ที่ดำเนินการโดยบริษัท พลังงานมหานคร รวมทั้งจะผลิตรถยนต์ไฟฟ้าในชื่อ Mine Mobility ซึ่งจะวางจำหน่ายในปี พ.ศ. 2563 **บริษัท โกลบอล เพาเวอร์ ซินเนอร์ยี่ จำกัด (หรือ GPSC)** ร่วมลงทุนกับ บริษัท 24M Technologies, Inc. ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในประเทศสหรัฐอเมริกา ปัจจุบัน GPSC ยังอยู่ในช่วงวิจัยและพัฒนา โดยตั้งเป้าจะผลิตแบตเตอรี่สำหรับ Energy storage ก่อน แล้วจึงต่อยอดมาผลิตแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าต่อไป และ **บริษัท เบต้า เอ็นเนอร์ยี่ ซิลิโคน จำกัด** ที่ลงทุนกว่าพันล้านบาทก่อสร้างโรงงานผลิตแบตเตอรี่ในนิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ โดยบริษัทได้ลงนามความร่วมมือด้านเทคโนโลยีการผลิตเซลล์ลิเทียมไอออนแบตเตอรี่ชนิด NMC (นิกเกิล แมงกานีส โคบอลต์) และอุปกรณ์กักเก็บพลังงาน (Energy Storage) กับบริษัท New Resources Technology Pte. Ltd. ประเทศสิงคโปร์ โดยมีกำลังการผลิตในช่วงแรก 220 กิโลวัตต์/ชั่วโมง

นอกจากนี้ ภาครัฐโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) มีมาตรการส่งเสริมการผลิตแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (หมวด 4.8.3.1 การผลิตแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า) รวมทั้งการผลิต Energy storage (หมวดที่ 5.2.6.1 การผลิตแบตเตอรี่ที่มีความจุสูง) โดยจะได้รับสิทธิประโยชน์ ระดับ A2 ยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลเป็นเวลา 8 ปี และสิทธิประโยชน์อื่น ๆ ตามข้อกำหนดของ BOI นอกจากนี้ BOI ยังมีมาตรการส่งเสริมการ

⁴⁻¹ ที่มา: บริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน), 2018

ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ ทำให้มีผู้ผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าขอรับส่งเสริมการลงทุน เพื่อผลิต (แพ็ก) แบตเตอรี่ส่งให้กับผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า กล่าวคือ บริษัท ธนบุรี เอ็นเนอร์ยี่ สตอเรจ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด ผลิตแบตเตอรี่ให้กับค่ายรถยนต์เมอร์เซเดส-เบนซ์ บริษัท เอสเอไอซี มอเตอร์ - ซีพี จำกัด ผลิตแบตเตอรี่ให้กับ ค่ายรถยนต์เอ็มจี (MG) แบรนדרถยนต์ของตัวเอง และ บริษัท ดีทีเอส แดร์คเซลไมเออร์ ออโตโมทีฟ ซีเอสเอ็มเอส (ประเทศไทย) ผลิตแบตเตอรี่ให้กับค่ายรถยนต์บีเอ็มดับเบิลยู โดยปัจจุบันมีผู้ขอรับการส่งเสริมการลงทุนผลิต แบตเตอรี่แล้ว 6 ราย สรุปได้ดัง ตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผู้ขอรับการส่งเสริมการลงทุนจาก BOI ในกิจการผลิตแบตเตอรี่

บริษัท	หมวด การลงทุน	เงินลงทุน (ล้านบาท)	ที่ตั้ง
บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (มหาชน)	5.2.6.1	2,000	ฉะเชิงเทรา
บริษัท โกลบอล เพาเวอร์ ซินเนอร์ยี่ จำกัด	5.2.6.1	1,480	ชลบุรี
บริษัท เบต้า เอ็นเนอร์ยี่ โซลูชั่น จำกัด	5.2.6.1	1,100	สมุทรปราการ
บริษัท ธนบุรี เอ็นเนอร์ยี่ สตอเรจ แมนูแฟค เจอร์ จำกัด	4.8.3.1	600	สมุทรปราการ
บริษัท เอสเอไอซี มอเตอร์ - ซีพี จำกัด	4.8.3.1	n/a	ชลบุรี
บริษัท ดีทีเอส แดร์คเซลไมเออร์ ออโตโมทีฟ ซีเอสเอ็มเอส (ประเทศไทย)	4.8.3.1	540	ชลบุรี

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน และรวบรวมโดยคณะผู้วิจัย

4.1.3 อุตสาหกรรมปลายน้ำการผลิตแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์

ส่วนของอุตสาหกรรมปลายน้ำ คือ การประกอบแพ็กแบตเตอรี่เข้ากับรถยนต์ (Car integration) ที่ดำเนินการ โดยผู้ผลิตรถยนต์ ทั้งนี้ นอกจาก BOI จะส่งเสริมการผลิตแบตเตอรี่แล้ว ยังส่งเสริมการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าทุก ประเภท โดยมีเงื่อนไขดังตารางที่ 4-2 ซึ่งส่งผลให้ผู้ผลิตรถยนต์ลงทุนผลิตรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยแล้ว 8 ราย (ตารางที่ 4-3)

ตารางที่ 4-2 เงื่อนไขและสิทธิประโยชน์ในการขอรับการส่งเสริมจาก BOI

เงื่อนไขและสิทธิประโยชน์	HEV	PHEV	BEV
เงื่อนไข			
1. การเสนอแผนงานรวม (Package)	จะต้องเสนอเป็นแผนงานรวม (Package) ที่ประกอบด้วย โครงการประกอบรถยนต์และโครงการผลิตหรือใช้ชิ้นส่วนสำคัญ แผนการนำเข้าเครื่องจักรและติดตั้ง แผนการผลิตรถยนต์ปีที่ 1-3 แผนการผลิตหรือจัดหาชิ้นส่วนอื่นๆ แผนการจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้วและแผนการพัฒนาผู้ผลิตตัวถังหรือชิ้นส่วนในประเทศ (Local Supplier) ที่มีผู้สัญชาติไทยถือหุ้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 51 ในการฝึกอบรมด้านเทคโนโลยีและการให้ความช่วยเหลือทางเทคนิค		
2. การผลิตหรือใช้ชิ้นส่วนสำคัญ	จะต้องมีการผลิตหรือใช้ชิ้นส่วนสำคัญอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น แบตเตอรี่ Traction Motor ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (BMS) หรือระบบควบคุมการขับเคลื่อน (DCU) เป็นต้น		
3. มาตรฐาน Type approval	รถยนต์ที่ผลิตจะต้องผ่านมาตรฐาน Type Approval ของ UN Regulations ประเภท L M หรือ N		
4. กำหนดระยะเวลาดำเนินการ - จะต้องมีการประกอบรถยนต์และการผลิตหรือใช้ชิ้นส่วนสำคัญอย่างน้อย 1 ชิ้น	ภายใน 3 ปี	ภายใน 3 ปี	ในปีที่ 6 นับแต่วันออกบัตรส่งเสริม - ในปีที่ 1-2 นับแต่วันออกบัตรส่งเสริมจะอนุญาตให้นำเข้ารถยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ทั้งคัน (CBU) โดยได้รับยกเว้นอากรขาเข้าเพื่อทดลองตลาด - ภายใน 3 ปี นับแต่วันออกบัตรส่งเสริมจะต้องมีการประกอบรถยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่
5. หมดเขตยื่นคำขอ	31 ธันวาคม 2017	31 ธันวาคม 2018	31 ธันวาคม 2018
สิทธิประโยชน์			
ยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล	-	3 ปี	5 ปี
ยกเว้นอากรนำเข้าเครื่องจักร ยกเว้นอากรนำเข้าวัตถุดิบสำหรับการผลิตเพื่อส่งออก	/	/	/
สิทธิประโยชน์อื่นๆที่ไม่ใช่ภาษี	/	/	/
สิทธิเพิ่มเติม	กรณีเป็นผู้ได้รับส่งเสริมในกิจการผลิตรถยนต์ประเภทยานยนต์มาตรฐานสากล (Eco-Car) ให้สามารถนับปริมาณรถยนต์ไฟฟ้า เป็นปริมาณการผลิตจริง (Actual Production) ของกิจการผลิตรถ Eco-car ได้		
	สำหรับโครงการที่มีการผลิตชิ้นส่วนสำคัญมากกว่า 1 ชิ้น จะได้รับสิทธิยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลเพิ่มขึ้นขึ้นละ 1 ปี แต่รวมแล้วไม่เกิน 6 ปี	- ได้รับยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลเพิ่มเติมอีก 3 ปี สำหรับโครงการที่มีการผลิตหรือใช้ชิ้นส่วนสำคัญอย่างน้อย 1 ชิ้น ภายใน 3 ปี นับแต่วันออกบัตรส่งเสริม - ได้รับยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลเพิ่มเติมอีก 2 ปี สำหรับโครงการที่มีการผลิตหรือใช้ชิ้นส่วนสำคัญอย่างน้อย 1 ชิ้น ในปี 4 นับแต่วันออกบัตรส่งเสริม - ได้รับยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลเพิ่มเติมอีก 1 ปี สำหรับโครงการที่มีการผลิตหรือใช้ชิ้นส่วนสำคัญอย่างน้อย 1 ชิ้น ในปี 5 นับแต่วันออกบัตรส่งเสริม - สำหรับโครงการที่มีการผลิตหรือใช้ชิ้นส่วนสำคัญมากกว่า 1 ชิ้น จะได้รับสิทธิยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลเพิ่มขึ้นขึ้นละ 1 ปี แต่รวมแล้วไม่เกิน 10 ปี ทั้งนี้ กรณีได้รับสิทธิยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลมากกว่า 8 ปี จะต้องมีการถ่ายทอดเทคโนโลยี	

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน

ตารางที่ 4-3 ผู้ขอรับการส่งเสริมการลงทุนจาก BOI ในกิจการผลิตรถยนต์ไฟฟ้า

บริษัท	ประเภท ยานยนต์ไฟฟ้า	เงินลงทุน (ล้านบาท)	กำลังการผลิต (คันต่อปี)	ที่ตั้ง	สถานะ โครงการ
บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด	HEV	19,020	70,000	ฉะเชิงเทรา	อนุมัติ
บริษัท ฮอนด้า ออโตโมบิล (ประเทศไทย) จำกัด	HEV	5,802	n/a	พระนครศรีอยุธยา	อนุมัติ
บริษัท นิสสัน มอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด	HEV	10,960	80,000	สมุทรปราการ	อนุมัติ
บริษัท ออโต้สแลยแอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด	HEV	11,480	120,000	ระยอง	อนุมัติ
บริษัท เมอร์เซเดส-เบนซ์ แมนูแฟคเจอร์ริง (ประเทศไทย) จำกัด	PHEV	607	n/a	สมุทรปราการ	อนุมัติ
บริษัท บีเอ็มดับเบิลยู แมนูแฟคเจอร์ริง (ประเทศไทย) จำกัด	PHEV	705	n/a	ระยอง	อนุมัติ
บริษัท เอสเอไอซี มอเตอร์-ซีพี จำกัด	PHEV	1360	n/a	ชลบุรี	อนุมัติ
บริษัท เอฟโอเอ็มเอ็ม (เอเชีย) จำกัด	BEV	716	10,000	ชลบุรี	อนุมัติ
บริษัท มิตซูบิชิ มอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด	PHEV	n/a	n/a	ชลบุรี	อยู่ในระหว่าง การพิจารณา
บริษัท ซูซูกิ มอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด	HEV	n/a	n/a	ระยอง	อยู่ในระหว่าง การพิจารณา

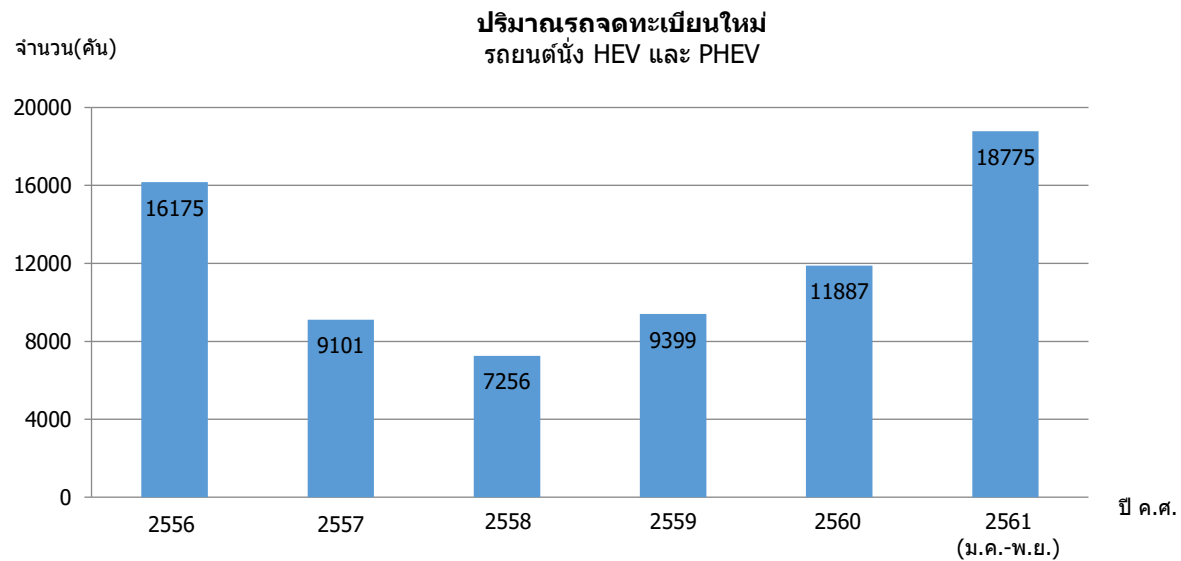
ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน และรวบรวมโดยคณะผู้วิจัย

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าขั้นตอนการแพ็กแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าจะดำเนินการโดยผู้ผลิตรถยนต์ แต่ภายในแพ็กแบตเตอรี่ยังประกอบไปด้วยชิ้นส่วนอื่น ๆ เช่น เคสของแบตเตอรี่ สายไฟแรงดันสูง ระบบไฟฟ้าและระบบควบคุมต่าง ๆ ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านี้ทำให้เกิดอุตสาหกรรมที่สร้างรายได้ และเป็นโอกาสให้ทั้งผู้ประกอบการทั้งรายเดิม และรายใหม่สามารถผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับแพ็กแบตเตอรี่ได้

4.2 การใช้ยานแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์

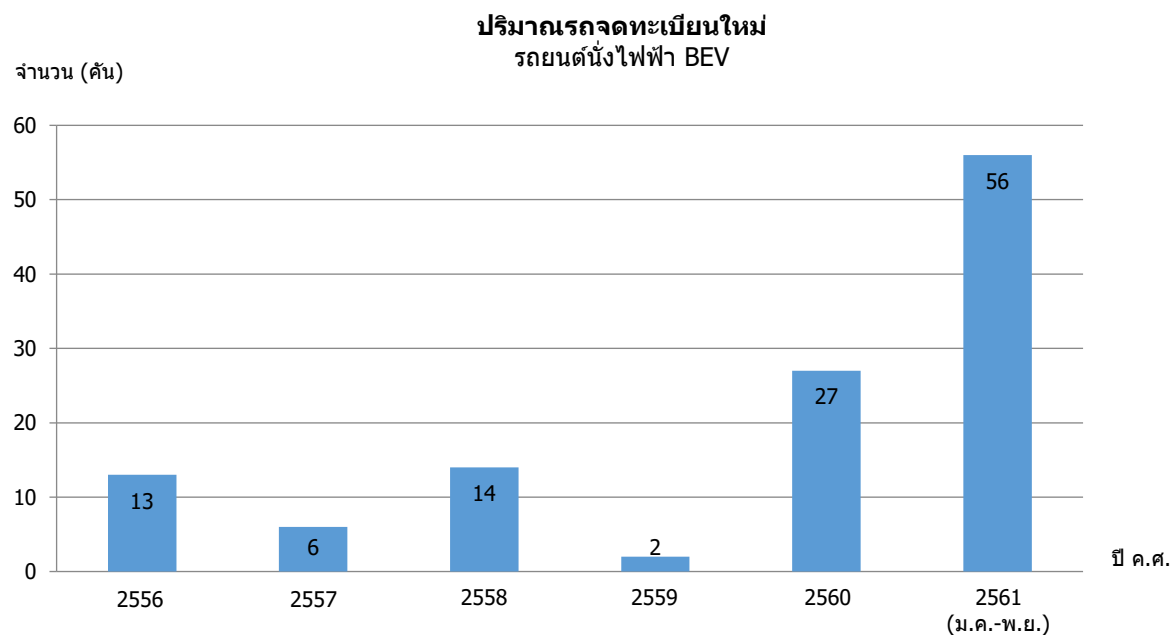
ข้อมูลปริมาณจดทะเบียนใหม่รถยนต์ไฟฟ้าจากกรมการขนส่งทางบก พบว่าจากปี 2013 ถึง เดือนพฤศจิกายน 2018 จำนวนรถยนต์นั่งไฟฟ้าในประเทศไทย ประกอบด้วยรถยนต์นั่งแบบไฮบริด (ทั้ง HEV และ PHEV รวมกัน) เฉลี่ยประมาณ 12,000 คันต่อปี (ตารางที่ 4-1) และมีรถยนต์นั่งไฟฟ้า (BEV) เฉลี่ยประมาณ 24 คันต่อปี (ตารางที่ 4-2) นอกจากนี้ยังมีรถจักรยานยนต์ไฮบริดจดทะเบียนระหว่างเดือนมกราคม ถึง พฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2561 จำนวน 106 คัน (ภาพที่ 4-3) และรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 133 คันต่อปี (ภาพที่ 4-4)

ภาพที่ 4-1 ปริมาณรถยนต์นั่งไฮบริด (ทั้ง HEV และ PHEV รวมกัน) จดทะเบียนใหม่



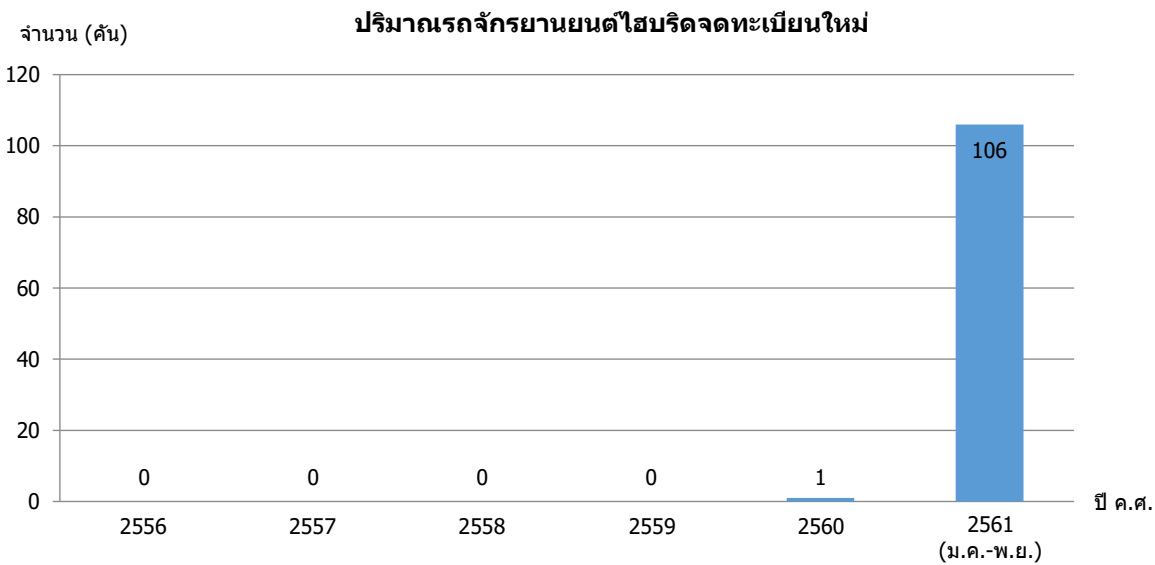
ที่มา: กรมการขนส่งทางบก

ภาพที่ 4-2 ปริมาณรถยนต์นั่งไฟฟ้า (BEV) จดทะเบียนใหม่



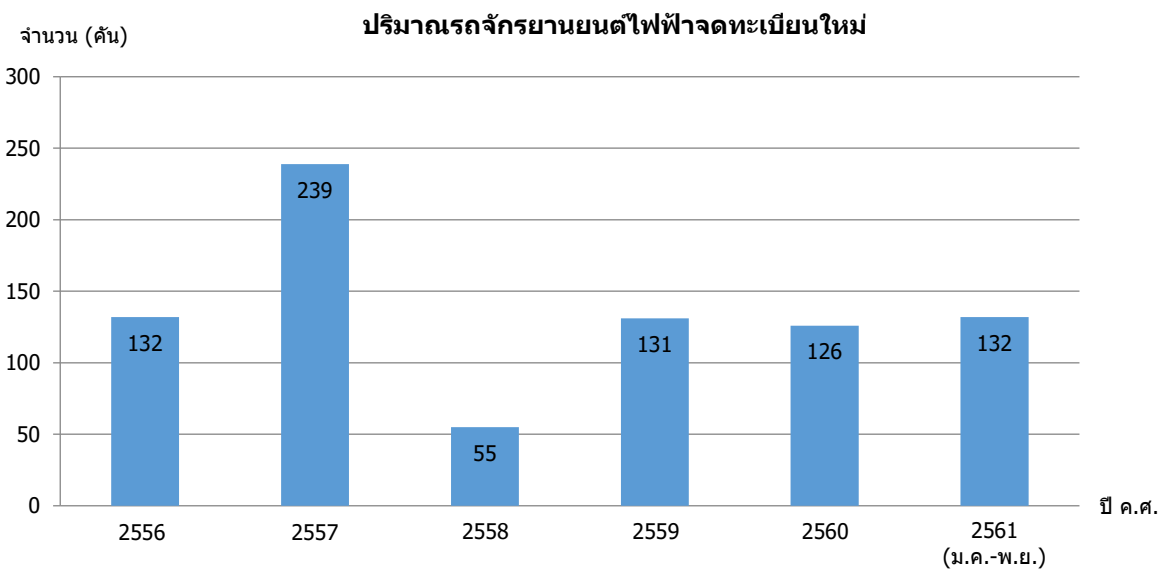
ที่มา: กรมการขนส่งทางบก

ภาพที่ 4-3 ปริมาณรถจักรยานยนต์ไฮบริด (ทั้ง HEV และ PHEV รวมกัน) จดทะเบียนใหม่



ที่มา: กรมการขนส่งทางบก

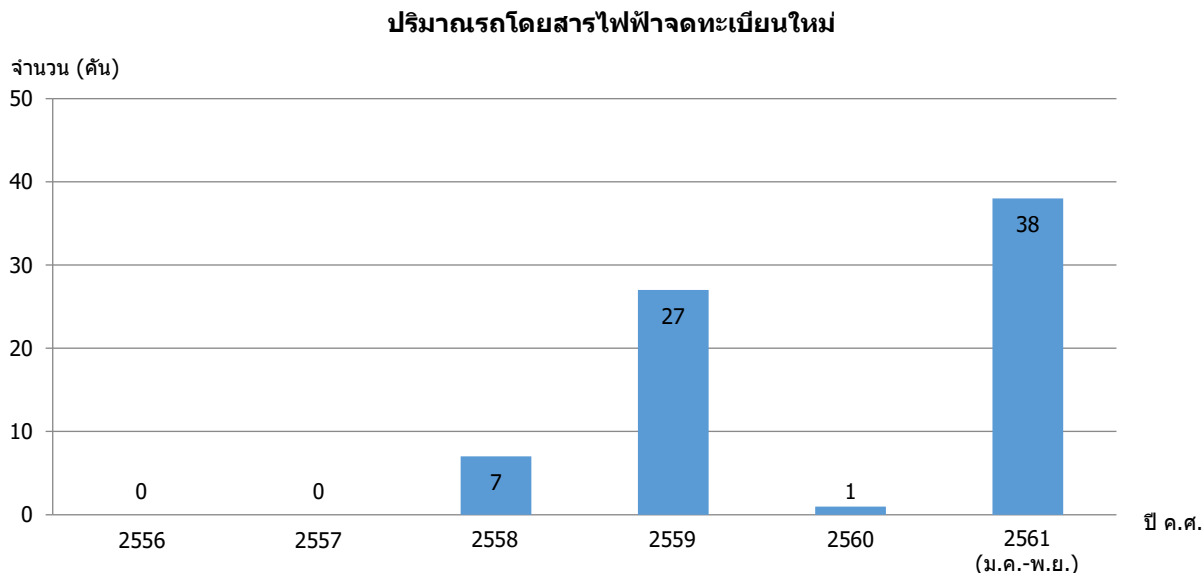
ภาพที่ 4-4 ปริมาณรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า (BEV) จดทะเบียนใหม่



ที่มา: กรมการขนส่งทางบก

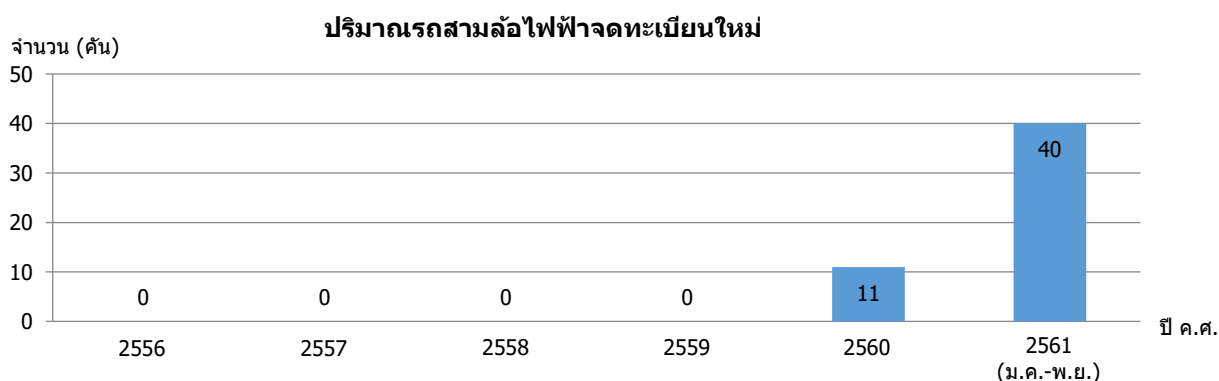
ข้อมูลปริมาณจดทะเบียนรถโดยสารไฟฟ้าจากกรมการขนส่งทางบก พบว่าจากปี พ.ศ. 2556 ถึง เดือน พฤศจิกายน 2561 ประเทศไทยมีการจดทะเบียนรถโดยสารไฟฟ้ารวมทั้งหมด 73 คัน (ภาพที่ 4-5) และรถสามล้อไฟฟ้ารวมทั้งหมด 51 คัน (ภาพที่ 4-6)

ภาพที่ 4-5 ปริมาณรถโดยสารไฟฟ้า (BEV) จดทะเบียนใหม่



ที่มา: กรมการขนส่งทางบก

ภาพที่ 4-6 ปริมาณรถสามล้อไฟฟ้า (BEV) จดทะเบียนใหม่

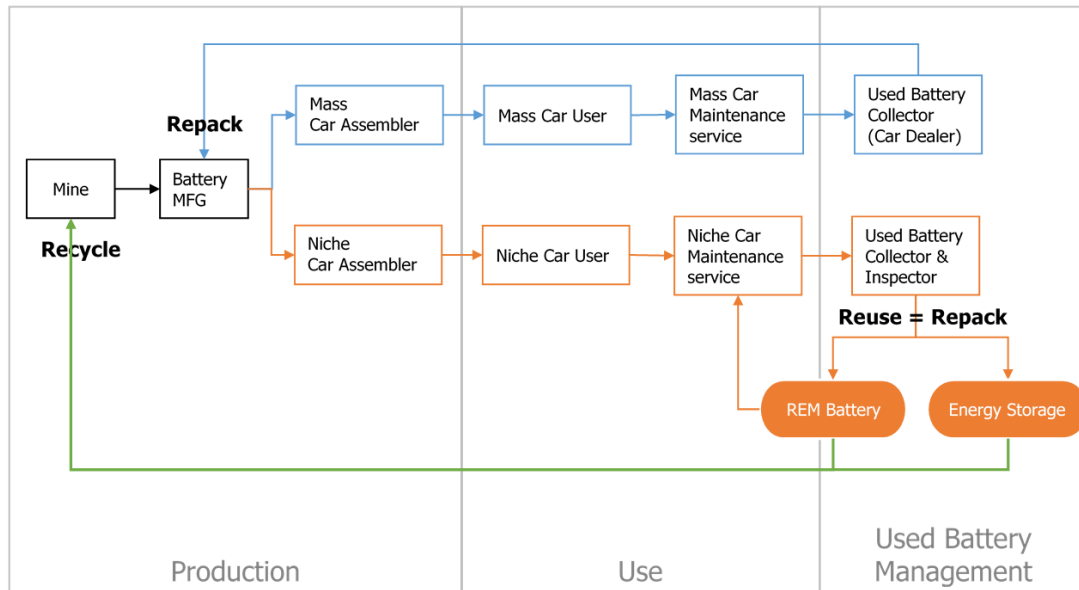


ที่มา: กรมการขนส่งทางบก

4.3 การจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ที่ใช้งานแล้ว

การจัดการแบตเตอรี่ลิเทียมที่ใช้แล้วหากถูกเพิกเฉยและไม่ได้รับการจัดการที่ถูกต้อง แบตเตอรี่ที่ใช้แล้วอาจจะถูกปล่อยทิ้งเป็นขยะซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นอันตรายมาก สำหรับประเทศไทย ในปัจจุบันจะจัดการแบตเตอรี่ที่จั่วกรดเป็นส่วนใหญ่ ส่วนแบตเตอรี่ลิเทียมขณะนี้กรมโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ระหว่างกำหนดหลักเกณฑ์การบริหารและจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้ว รวมทั้งจัดทำแผนการบริหารและกำจัดซากแบตเตอรี่รถยนต์ และกรมควบคุมมลพิษอยู่ระหว่างกำหนดผลิตภัณฑ์แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าไว้ในพระราชบัญญัติการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และซากผลิตภัณฑ์อื่น ๆ พ.ศ. นอกจากนี้ กรมผู้ผลิตรถยนต์ที่ขอรับส่งเสริมการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าจาก BOI ต้องนำเสนอแผนการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้แล้ว ให้ BOI พิจารณาพร้อมกับแผนการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าด้วย

ภาพที่ 4-7 แนวทางการบริหารจัดการแบตเตอรี่



ที่มา: จากการรวบรวมข้อมูลของนักวิจัย

ในปัจจุบันผู้ผลิตราย Mass Production⁴⁻² มีการบริหารจัดการแบตเตอรี่อยู่แล้ว โดยมีตัวแทนจำหน่ายรถยนต์ทำหน้าที่เก็บรวบรวม (Collector) แบตเตอรี่ใช้แล้วส่งไปที่บริษัทแม่ในต่างประเทศเพื่อรวบรวม และกำจัดต่อไป แต่ในกรณีรถยนต์ไฟฟ้าตลาดเฉพาะ หรือ Niche Market⁴⁻³ ยังไม่มีการดำเนินการจัดการดังกล่าว ซึ่งในด้านหนึ่งอาจเกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และในอีกด้านหนึ่ง ถือเป็นโอกาสทางธุรกิจใหม่ (ภาพที่ 4-7) ดังนี้

1. นำเซลล์แบตเตอรี่ที่มีสุขภาพ (State of health) ดี มาประกอบเป็นแพ็คเกจแบตเตอรี่เพื่อใช้งานเป็นแบตเตอรี่มือสองสำหรับรถไฟฟ้า Niche
2. นำเซลล์แบตเตอรี่ที่มีสุขภาพ (State of health) ต่ำลงมา มาประกอบเป็นแพ็คเกจแบตเตอรี่เพื่อใช้งานเป็นระบบกักเก็บพลังงานแบบตั้งอยู่กับที่

ทั้งนี้ เซลล์แบตเตอรี่ที่มีสุขภาพแย่มากจนไม่สามารถนำไปใช้งานได้จะถูกส่งไป Recycle เพื่อนำวัตถุดิบกลับมาใช้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ใหม่ ซึ่งการบริหารจัดการแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้แล้วทำให้วงจรชีวิตของแบตเตอรี่เป็นระบบปิด ส่งผลให้เกิดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ และนอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่แบตเตอรี่ได้ โดยแบตเตอรี่ที่ยังมีสภาพเหลืออยู่จะถูกใช้งานซ้ำจนไม่สามารถใช้งานได้แล้ว จึงถูกนำกลับไป Recycle ส่งผลให้มูลค่าของการผลิตแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้านั้นถูกกระจายไปยังส่วนต่างๆ ในวงจรชีวิตของแบตเตอรี่ ซึ่งเกิดจากการนำกลับมาใช้ซ้ำจนเกิดประโยชน์สูงสุด

4.3.1 การบริหารจัดการแบตเตอรี่โดยการ Reuse

การ Reuse แบตเตอรี่สามารถผลิตแบตเตอรี่ที่มีคุณสมบัติต่ำกว่าแบตเตอรี่ที่ผลิตใหม่ (แบตเตอรี่มือสอง) ซึ่งมีวิธีดำเนินการ ดังนี้

⁴⁻² รถยนต์ Mass Production คือ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล

⁴⁻³ รถยนต์ Niche Market คือ รถยนต์นั่งขนาดเล็ก รถโดยสาร และรถสามล้อ ซึ่งต่อจากนี้จะเรียกว่ารถไฟฟ้า Niche

1. รวบรวมแบตเตอรี่ใช้แล้ว - การรวบรวมเซลล์แบตเตอรี่ถือเป็นขั้นตอนสำคัญเนื่องจาก หากไม่มีขั้นตอนนี้ เซลล์แบตเตอรี่ก็จะไม่ถูกนำเข้ามาสู่กระบวนการบริหารจัดการแบตเตอรี่ โดยหลายประเทศในโลกมีการกำหนดผู้รับผิดชอบในการรวบรวมแบตเตอรี่ใช้แล้ว ซึ่งส่วนใหญ่กำหนดให้ผู้จำหน่ายหรือผู้ผลิตแบตเตอรี่เป็นผู้เก็บรวบรวม ในกรณีนี้ คือ ผู้นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่เพื่อจำหน่ายในประเทศ หรือผู้ผลิตรถไฟฟ้า โดยการเก็บรวบรวมแบตเตอรี่ตั้งแต่ต้นทางเช่นนี้ จะส่งผลให้ผู้รวบรวมแบตเตอรี่สามารถทราบถึงคุณสมบัติของแบตเตอรี่ว่าเป็นแบตเตอรี่ประเภทใด ซึ่งง่ายต่อการนำไปคัดแยกในกระบวนการต่อไป
2. คัดแยกประเภทของแบตเตอรี่ใช้แล้ว - เนื่องจากแบตเตอรี่มีความแตกต่างกันทั้งในด้าน รูปร่าง ขนาด หรือแร่ธาตุที่ใช้ในการผลิตขั้วอิเล็กโทรไลต์ การจำแนกแบตเตอรี่จะทำให้สามารถจำแนกแบตเตอรี่แต่ละชนิดออกจากกันได้ ซึ่งง่ายต่อการดำเนินการขั้นตอนต่อไป โดยสามารถกระทำได้โดยการใช้วิธีการสังเกตในการจำแนกรูปร่างของเซลล์แบตเตอรี่ และขนาดสามารถจำแนกได้จากการวัดขนาด หรืออ่านข้อมูลที่ระบุบนเซลล์แบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ทรงกระบอกที่ระบุหมายเลขขนาดไว้ว่า 18650 เป็นแบตเตอรี่ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร และมีความยาว 65 มิลลิเมตร การแยกธาตุที่ใช้ในการผลิตสามารถทำได้ยากที่สุด แต่หากในระหว่างการรวบรวมแบตเตอรี่ใช้แล้ว ผู้ผลิตแบตเตอรี่หรือผู้นำเข้าสามารถระบุประเภทของธาตุที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ได้ ก็จะทำให้การแยกประเภทธาตุทำได้ง่ายมากยิ่งขึ้น
3. ตรวจ State of health ของแบตเตอรี่ใช้แล้ว - เมื่อจำแนกลักษณะภายนอกและธาตุที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่เสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการจำแนกแบตเตอรี่ตามสุขภาพ หรือ State of health เพื่อจำแนกว่าแบตเตอรี่แต่ละชิ้นเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในลักษณะใด โดยการตรวจ State of health สามารถกระทำได้หลายวิธีตามมาตรฐาน แต่ในขั้นตอนนี้อาจใช้เวลานาน ดังนั้น อาจจะใช้วิธีการทางสถิติเข้ามาเพื่อช่วยลดระยะเวลาในขั้นตอนนี้ลง
4. การกระตุ้นแบตเตอรี่ - เนื่องจากแบตเตอรี่เมื่อผ่านการใช้งานในระยะเวลาหนึ่งแล้วจะมีความสามารถในการกักเก็บพลังงานลดลง หากพิจารณาแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดแล้ว สามารถนำมาอัดประจุไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นให้แผ่นธาตุของแบตเตอรี่สามารถกลับมาทำงานได้อีกครั้งหนึ่ง โดยการกระตุ้นแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนอาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม ถึงวิธีการกระตุ้นให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่แต่ละประเภท
5. การประกอบแพ็คแบตเตอรี่ - จากการบวนการที่ผ่านมาจะได้เซลล์แบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมสำหรับใช้งานในรถไฟฟ้า ที่สามารถนำมาประกอบเป็นแพ็คแบตเตอรี่มือสองได้ โดยให้นำเซลล์แบตเตอรี่มาต่อเป็นวงจรแบตเตอรี่ให้มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น มีพื้นที่ว่างแพ็คแบตเตอรี่เท่าใด รถไฟฟ้าที่ใช้จะวิ่งด้วยระยะทางเท่าไร มอเตอร์ที่ใช้มีคุณสมบัติอย่างไร เป็นต้น โดยลักษณะและจำนวนของแบตเตอรี่ในการต่อวงจรแบตเตอรี่ จะส่งผลต่อการออกแบบโครงสร้างของแพ็คแบตเตอรี่ และระบบระบายความร้อนด้วย การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite element analysis) สามารถช่วยออกแบบระบบระบายความร้อนของแพ็คแบตเตอรี่ได้ ซึ่งนอกจากเซลล์แบตเตอรี่แล้ว แพ็คแบตเตอรี่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการประกอบแพ็คแบตเตอรี่ เช่น ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (BMS) สะพานไฟ (Bus bar) เซอร์วิสปลั๊ก (Service plug) และ กล่องจุดต่อสายไฟ (Junction box) เป็นต้น ขึ้นส่วนดังกล่าว อาจจะนำมาจากแพ็คแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว หรือผลิตขึ้นมาใหม่ก็ได้เช่นกัน
6. การทดสอบแพ็คแบตเตอรี่ - เมื่อประกอบแพ็คแบตเตอรี่เสร็จแล้ว แพ็คแบตเตอรี่จะต้องถูกทดสอบสมรรถนะ และความปลอดภัยในการใช้งาน โดยสมรรถนะของแบตเตอรี่ทดสอบเพื่อยืนยันว่าแพ็ค

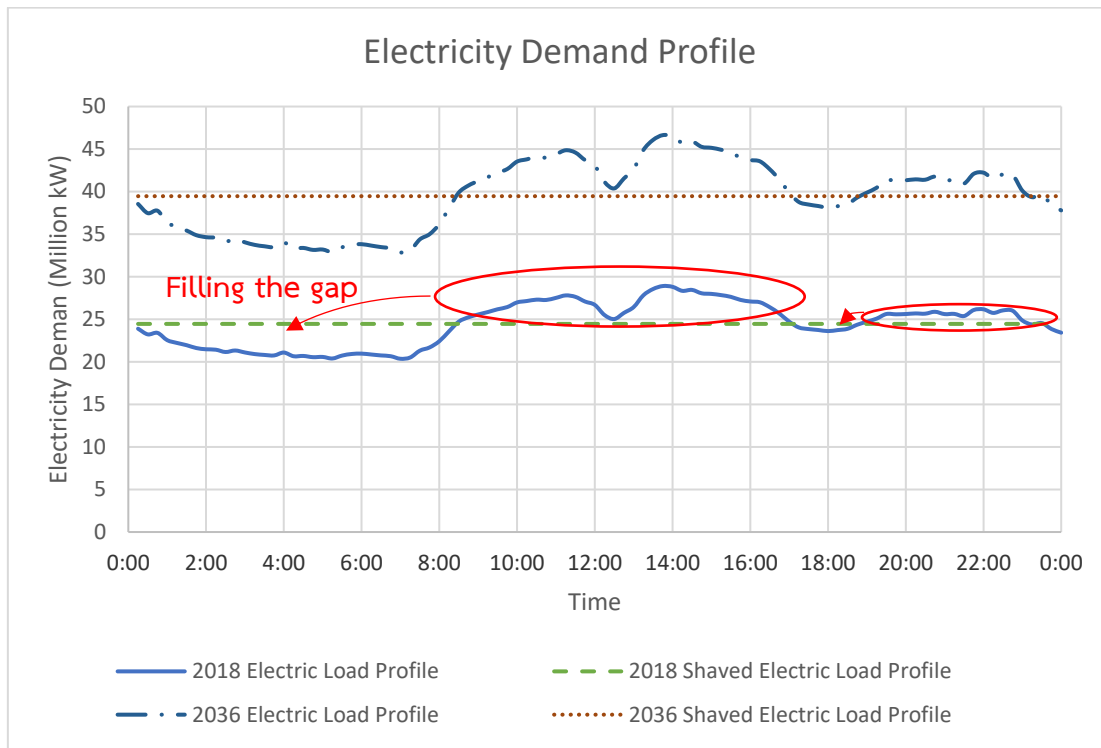
แบตเตอรี่มีค่าความต่างศักย์ และความจุพลังงานตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ รวมถึงการตรวจสอบ State of health รวมของแพ็คเกจแบตเตอรี่ ส่วนของความปลอดภัยในการใช้งาน เป็นการทดสอบการป้องกันไฟรั่ว ไฟดูด ขณะใช้งาน หรือหากในอนาคตมีการอ้างอิงมาตรฐาน UN Regulation No.100 ซึ่งเป็นมาตรฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยของแพ็คเกจแบตเตอรี่จะต้องมีการทดสอบด้วยเช่นกัน

การ Reuse แบตเตอรี่สามารถดำเนินการได้ 2 แนวทาง คือการ Reuse แบตเตอรี่ เพื่อนำแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วในยานยนต์ไฟฟ้ามาใช้งานใหม่ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าชีวิตที่ 2 (Second Life) โดยนำเซลล์แบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอต่อการใช้งานในรถไฟฟ้ามาผลิตเป็น Energy storage เพื่อจำหน่ายให้กับผู้ที่ต้องการบริหารจัดการพลังงาน ถึงแม้ว่าแบตเตอรี่จะมีประสิทธิภาพต่ำไม่สามารถใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าได้แล้ว แต่ในการใช้งานใน Energy storage ผู้ออกแบบระบบสามารถนำแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพต่ำมาต่อกันเป็นวงจร แบตเตอรี่เพื่อให้ Energy storage มีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้ และการ Repack แบตเตอรี่ โดยนำเซลล์แบตเตอรี่ที่มีสุขภาพดีเพียงพอที่จะนำมาใช้งานในรถไฟฟ้าได้ จากแพ็คเกจแบตเตอรี่ที่ชำรุดจากรถยนต์ที่เกิดอุบัติเหตุ หรือเซลล์แบตเตอรี่ของแพ็คเกจแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วมาประกอบเป็นแพ็คเกจแบตเตอรี่สำหรับใช้ในรถไฟฟ้า แต่สามารถผลิตแบตเตอรี่ที่มีคุณสมบัติต่ำกว่าแบตเตอรี่ที่ผลิตใหม่

การใช้งาน Energy storage ส่งผลดีต่อระบบโครงข่ายพลังงาน (Power grid) 4 ประการ ดังนี้

1. เพิ่มเสถียรภาพให้กับการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) เช่น แสงแดด หรือ พลังงานลม เป็นต้น ซึ่งประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมีความผันผวนตามสภาพอากาศ โดยการใช้ Energy storage จะช่วยลดความผันผวนดังกล่าวได้
2. การลดความหนาแน่นในโครงข่ายพลังงาน เนื่องประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ในขณะที่สภาพอากาศที่ส่งผลให้เกิดปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้าจำนวนมาก เช่น มีแดดจัด หรือลมแรง จะส่งผลให้เกิดความหนาแน่นในโครงข่ายไฟฟ้าได้ ดังนั้นการใช้ Energy storage จะทำหน้าที่กักเก็บพลังงานส่วนเกินเพื่อลดความหนาแน่นลงได้
3. ช่วยควบคุมความถี่ของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งการผลิตหลายแหล่งในระบบให้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการได้
4. ช่วยในการแปลงสภาพความต้องการใช้ไฟฟ้า (Load balancing) เนื่องจาก ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้า มีแตกต่างกันตามช่วงเวลา (ดังแสดงในภาพที่ 4-8) ผู้ผลิตพลังงานไฟฟ้าต้องเพื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการในขณะที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ซึ่งกำลังการผลิตดังกล่าวจะถูกใช้งานเพียงไม่กี่ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นการใช้ Energy storage จะช่วยให้สามารถกักเก็บพลังงานในช่วงที่มีความต้องการใช้พลังงานต่ำ เพื่อมาใช้ในการช่วงเวลาที่ต้องการใช้พลังงานสูงได้ ซึ่งจะสามารถช่วยลดความต้องการของกำลังการผลิตไฟฟ้าลงได้

ภาพที่ 4-8 ความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยใน 1 วัน



ที่มา: ข้อมูลจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้านครหลวง สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน และการวิเคราะห์จากคณะผู้วิจัย

จากประโยชน์ด้าน Load balancing สามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการทำให้สมดุล (Balancing) มาคำนวณหาความต้องการของ Energy storage ได้ จากภาพที่ 4-8 จะเห็นได้ว่าลักษณะความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา โดยปริมาณความต้องการใช้พลังงานตั้งแต่เวลา 0.00 น. ถึง 8.00 น. (Off-peak) อยู่ในระดับต่ำ แต่ในทางกลับกันปริมาณความต้องการใช้พลังงานตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น. (Peak) อยู่ในระดับสูง หากนำลักษณะการใช้พลังงานมาคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ย เพื่อเป็นเป้าหมายในการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้พลังงานให้เท่ากันตลอดทั้งวัน ปริมาณความต้องการการใช้พลังงานเฉลี่ยประมาณ 25 ล้าน โดยหากสามารถย้ายความต้องการในช่วง Peak มาในช่วง Off-peak ได้ ก็จะสามารถลดค่าความต้องการใช้พลังงานสูงสุดของระบบโครงข่ายพลังงานในประเทศไทยได้

นอกจากนี้ จากข้อมูล Load balancing พบว่า ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยต้องใช้ Energy storage ที่มีความจุรวมประมาณ 27 ล้านกิโลวัตต์ (หรือเทียบเท่ารถยนต์ไฟฟ้า 9 แสนคัน) และหากพิจารณาจากการพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2536 ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ประเทศไทยต้องใช้ Energy storage ที่มีความจุรวมประมาณ 42 ล้านกิโลวัตต์ (หรือเทียบเท่ารถยนต์ไฟฟ้า 1.4 ล้านคัน) สำหรับการทำให้ Load balancing ในปี พ.ศ. 2536

นอกจากนั้นการ Reuse แบตเตอรี่เพื่อใช้ใน Energy storage สามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่แบตเตอรี่ที่หมดอายุจากการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าได้ เนื่องจากแบตเตอรี่ยังมีประสิทธิภาพในการเก็บพลังงานเหลืออยู่ถึงร้อยละ 80

ถ้าหากไม่ Reuse เพื่อใช้ใน Energy storage ภาระของมูลค่าแบตเตอรี่จะตกไปอยู่กับผู้ใช้รถยนต์แต่เพียงผู้เดียว กล่าวคือ ผู้ซบซัยานยนต์ไฟฟ้าต้องรับผิดชอบแบตเตอรี่เต็มมูลค่า แต่สามารถใช้แบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 20 เท่านั้น แต่เมื่อมีการนำแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้ามาใช้ใน Stationary energy storage แล้ว ผู้ซบซัยานยนต์ไฟฟ้าและผู้ใช้ Stationary energy storage อาจจะแบ่งกันรับผิดชอบมูลค่าเต็มของแบตเตอรี่

ปัจจุบันมีการดำเนินธุรกิจ Reuse เซลล์แบตเตอรี่ที่มีสุขภาพดี มาประกอบเป็นแพ็กแบตเตอรี่เพื่อใช้งานเป็นแบตเตอรี่มือสองสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า โดยเป็นการดำเนินธุรกิจโดย บริษัท 4 อาร์ เอ็นเนอร์ยี คอร์ปอเรชัน จำกัด ในประเทศญี่ปุ่น แบตเตอรี่มือสองที่จำหน่าย คือ แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า นิสสัน ลีฟ ซึ่งมีราคาต่ำกว่าแบตเตอรี่ใหม่ถึงร้อยละ 50 ทั้งนี้ บริษัท 4 อาร์ เอ็นเนอร์ยี คอร์ปอเรชัน จำกัด ยังไม่เปิดเผยข้อมูลวิธีการดำเนินการนำเซลล์แบตเตอรี่ใช้งานแล้วมาประกอบเป็นแพ็กแบตเตอรี่เพื่อใช้งานเป็นแบตเตอรี่มือสองสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า แต่มีการระบุว่า สาเหตุที่ทำให้ บริษัท สามารถดำเนินธุรกิจดังกล่าวได้ คือ บริษัทสามารถลดเวลาการตรวจสอบสภาพแบตเตอรี่จาก 16 วันเหลือเพียง 4 ชั่วโมงเท่านั้น ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาขั้นตอนวิธีการประกอบแพ็กแบตเตอรี่เพื่อใช้งานเป็นแบตเตอรี่มือสองสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า และวิธีการตรวจสอบสภาพแบตเตอรี่ใช้แล้วเพิ่มเติม เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินธุรกิจดังกล่าว ซึ่งแบตเตอรี่มือสองสามารถจำหน่ายเป็นอะไหล่สำหรับผู้ผลิตรถไฟฟ้า Niche ที่ต้องการใช้งานแบตเตอรี่มือสองสำหรับผลิตรถยนต์ไฟฟ้าของตน หรือให้แก่ผู้บริการเดินรถไฟฟ้า Niche สำหรับเป็นอะไหล่มือสองของรถไฟฟ้าใน Fleet ของผู้ให้บริการนั้นๆ

4.3.2 การบริหารจัดการแบตเตอรี่โดยการ Recycle

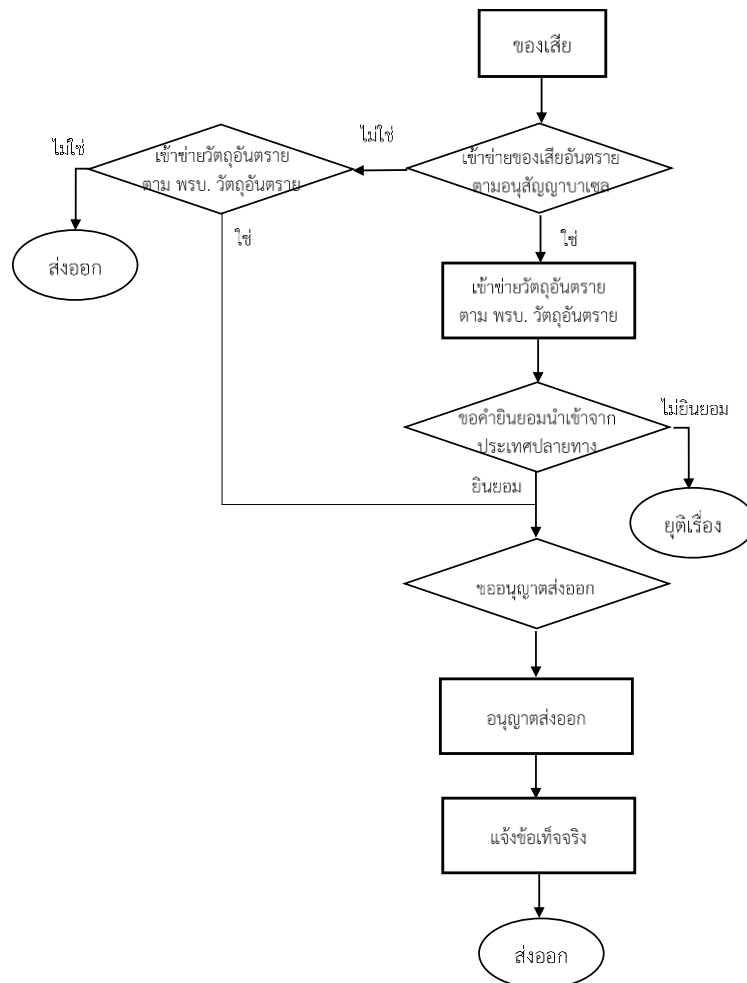
การ Recycle แบตเตอรี่ คือ การนำแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้วมาผ่านกระบวนการทางกายภาพหรือเคมี เพื่อแปรสภาพแบตเตอรี่ให้กลายเป็นวัตถุดิบตั้งต้น (Raw material) สำหรับการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ แต่อย่างไรก็ตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่จากกระบวนการ Recycle ยังมีคุณสมบัติไม่ตรงตามการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ เพื่อทำให้วัตถุดิบมีคุณสมบัติตามความต้องการวัตถุดิบที่ได้จากการ Recycle อาจจะต้องผ่านกระบวนการถลุงอีกครั้งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของวัตถุดิบให้เพียงพอต่อการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ หรือเปลี่ยนวัตถุดิบที่ได้จากการรีไซเคิลให้เป็นวัตถุดิบแคโทด หรือแอโนดสำหรับการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งการบริหารจัดการแบตเตอรี่โดยการ Recycle มีจุดประสงค์เพื่อให้ระบบนิเวศของการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าเข้าใกล้ระบบนิเวศน์แบบหมุนเวียน (Circular ecology) มากที่สุด และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ มากกว่าเป็นกระบวนการผลิตวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ ทั้งนี้ธุรกิจ Recycle แบตเตอรี่มีข้อจำกัดอยู่ 4 ข้อดังนี้

1. ถ้าไรจากการประกอบธุรกิจ Recycle แบตเตอรี่ต่ำ มีงานวิจัยบางงานให้ข้อสังเกตว่าการ Recycle แบตเตอรี่นั้นยังไม่เกิดกำไร แต่ธุรกิจเกิดขึ้นและอยู่ได้เนื่องจากนโยบายสนับสนุน และนโยบายการบริหารจัดการแบตเตอรี่ของรัฐบาลในแต่ละประเทศ
2. ประเทศไทยยังไม่มีผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ ผลิตภัณฑ์บางชนิดที่ได้จากการ Recycle ต้องส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศที่มีโรงงานผลิตเซลล์แบตเตอรี่
3. การจะทำให้ประสิทธิภาพในการ Recycle สูงขึ้น อาศัยเทคโนโลยี และองค์ความรู้ ต่างจากการ Recycle แบตเตอรี่ที่ระกั่วกรวดของประเทศไทยในปัจจุบันที่ใช้กระบวนการหลอมโลหะ ทำให้ยังมีช่องว่างทางเทคโนโลยีอยู่พอสมควร

4. กระบวนการ Recycle อาศัยพลังงาน และสารเคมีจำนวนมาก หากไม่มีการบริหารจัดการที่ดีอาจไม่ตอบโจทย์เรื่องการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และสิ่งแวดล้อม

ทั้งนี้ หากพิจารณาจากเหตุผลดังกล่าวการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้แล้วโดยการ Recycle อาจไม่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยในปัจจุบันผู้ผลิตรถยนต์ในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้วิธีการส่งออกแบตเตอรี่ใช้แล้วไป Recycle ยังต่างประเทศ ซึ่งการนำเข้าหรือส่งออกของเสียไม่สามารถกระทำได้ในทันที เนื่องจากการนำเข้าหรือส่งออกของเสียต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 และ/หรืออนุสัญญาบาเซล ซึ่งมีวิธีการดำเนินการเพื่อส่งออกดังแสดงในภาพที่ 4-9

ภาพที่ 4-9 ขั้นตอนการส่งออกของเสียไปจัดการยังต่างประเทศ



ที่มา: สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม

การส่งออกแบตเตอรี่ใช้แล้ว ผู้ส่งออกต้องยื่นหนังสือขอหาหรือว่าการส่งออกของเสียนั้นเข้าข่ายจะต้องปฏิบัติตาม พระราชบัญญัติ วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 และ/หรือ อนุสัญญาบาเซลหรือไม่ โดยสามารถยื่นหนังสือขอหาหรือ พร้อมเอกสารประกอบ และผลวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียครบ 100% (Certificate of analysis for waste composition) ที่วิเคราะห์โดย ห้องปฏิบัติการของหน่วยงานราชการ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เอกชนที่ขึ้น

ทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ที่ได้รับการรับรองโดยหน่วยงานที่มีอำนาจจากประเทศปลายทาง ซึ่งต้องได้รับการรับรองตามมาตรฐานสากล เช่น ISO/IEC 17025:2005 หากผลการหารือออกมาว่า ของเสียที่จะส่งออกไปนั้นไม่เข้าข่ายของเสียอันตรายตามอนุสัญญาบาเซล และไม่เป็นวัตถุอันตรายตาม พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ผู้ประกอบการสามารถส่งออกได้ในทันที หากของเสียเข้าข่ายของเสียอันตรายตามอนุสัญญาบาเซล และไม่เป็นวัตถุอันตรายตาม พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ผู้ประกอบการจะต้องดำเนินการขออนุญาตส่งออก และหากของเสียเข้าข่ายของเสียอันตรายตามอนุสัญญาบาเซลด้วย ผู้ประกอบการจะต้องขอคำยินยอมการนำเข้าจากประเทศปลายทางด้วย หากพิจารณาจากบัญชีรายชื่อของเสียอันตรายตามอนุสัญญาบาเซล และบัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนไม่เข้าข่ายของเสียอันตรายตามอนุสัญญาบาเซล แต่เป็นวัตถุอันตรายประเภทที่ 3 ตาม พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ซึ่งต้องขออนุญาตส่งออกจากสำนักควบคุมวัตถุอันตรายกรมโรงงานอุตสาหกรรม และจะต้องแนบสัญญาระหว่างผู้ส่งออกและผู้กำจัดที่ประเทศปลายทางด้วย หากได้รับการอนุมัติผู้ประกอบการจะได้หนังสืออนุญาตส่งออก จากนั้นจะต้องยื่นหนังสือแจ้งข้อเท็จจริงแก่สำนักควบคุมวัตถุอันตรายกรมโรงงานอุตสาหกรรม ล่วงหน้าก่อนส่งออกอย่างน้อย 7 วัน จึงจะส่งแบตเตอรี่ใช้แล้วออกไปกำจัดที่ประเทศปลายทางได้

4.4 บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบันผู้ประกอบการในประเทศไทยเริ่มสนใจลงทุนในธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแบตเตอรี่เพิ่มมากขึ้น รวมถึงการลงทุนเพื่อผลิตแบตเตอรี่ในประเทศไทย ควบคู่ไปกับการลงทุนเพื่อผลิตรถยนต์ไฟฟ้าจากผู้ผลิตรถยนต์ในประเทศไทยซึ่งต้องใช้งานแบตเตอรี่จากผู้ผลิตแบตเตอรี่ที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุน โดยผู้ผลิตรถยนต์ที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนนั้นมีแผนการดำเนินการบริหารจัดการแบตเตอรี่เพื่อจัดการบริหารแบตเตอรี่ใช้แล้วที่จะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในอนาคตได้อย่างถูกต้อง

แต่อย่างไรก็ตาม รถไฟฟ้าที่ใช้ภายในประเทศไทย ไม่ได้ถูกผลิตขึ้นจากผู้ผลิตรถยนต์ที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนเพียงเท่านั้น ยังมีผู้ผลิตรถไฟฟ้าตลาดเฉพาะ ที่ผลิตรถไฟฟ้าสำหรับใช้งานในประเทศไทยด้วย โดยผู้ผลิตเหล่านี้อาจจะยังไม่มีแผนการดำเนินการบริหารจัดการแบตเตอรี่ของตนเอง ดังนั้น นอกจากการบริหารจัดการแบตเตอรี่จากผู้ผลิตรถไฟฟ้าตลาดเฉพาะก็เป็นเรื่องสำคัญเช่นกัน ผ่านกระบวนการ 6 ขั้นตอน คือ การรวบรวม การคัดแยกประเภทแบตเตอรี่ การตรวจสอบ SOH การกระตุ้นแบตเตอรี่ การประกอบแพ็คแบตเตอรี่ และการทดสอบแพ็คแบตเตอรี่ ซึ่งแพ็คแบตเตอรี่ที่ประกอบขึ้นมานั้นสามารถนำไปใช้งานได้ 2 ประเภท คือ เป็นแบตเตอรี่มือสองสำหรับใช้งานในรถไฟฟ้า Niche และใช้งานเป็น Energy Storage โดยความแตกต่างของการใช้งาน 2 ประเภทขึ้นอยู่กับสุขภาพของแบตเตอรี่ใช้แล้ว โดยเซลล์แบตเตอรี่ที่มีสุขภาพดียังสามารถใช้งานในรถไฟฟ้าได้ จะถูกประกอบเป็นแพ็คแบตเตอรี่มือสองสำหรับใช้งานในรถไฟฟ้า และเซลล์แบตเตอรี่มีสุขภาพรองลงมาซึ่งไม่สามารถใช้งานในรถไฟฟ้าได้ แต่ยังใช้งานได้อยู่ จะถูกนำไปประกอบเป็น Energy Storage เพื่อใช้งานเป็นระบบกักเก็บพลังงานแบบตั้งอยู่กับที่

สำหรับแบตเตอรี่ที่มีสุขภาพแย่มากแล้วจะนำไป Recycle เพื่อนำวัตถุดิบสำหรับผลิตเซลล์แบตเตอรี่กลับมาใช้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ใหม่ โดยการ Recycle นั้น อาจจะยังไม่เหมาะกับประเทศไทยมากนัก เนื่องจาก เป็นธุรกิจที่อาจจะยังเกิดกำไร และในประเทศไทยยังไม่มีอุตสาหกรรมผลิตเซลล์แบตเตอรี่ในประเทศ โดยปัจจุบันผู้ผลิตรถยนต์ในประเทศไทย ดำเนินการบริหารจัดการแบตเตอรี่โดยการส่งแบตเตอรี่ใช้งานแล้วไป

Recycle ที่ต่างประเทศ ซึ่งการส่งออกแบตเตอรี่ไป Recycle ที่ต่างประเทศต้องได้ขออนุญาตส่งออกจากสำนักควบคุมวัตถุอันตรายกรมโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากแบตเตอรี่ใช้แล้วถือเป็นวัตถุอันตรายจำพวกที่ 3 ตาม พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535

ทั้งนี้ กระบวนการบริหารจัดการแบตเตอรี่ใช้งานแล้ว นอกจากจะเป็นการดำเนินการเพื่อลดผลเสียที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ยังเป็นช่องทางให้เกิดการดำเนินธุรกิจใหม่ ซึ่งสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าได้อีกด้วย