การศึกษาเปรียบเทียบการลงทุนโรงงานประกอบแบตเตอรี่ ลิเธียมไอออน ในประเทศไทย

น.ส.ปภาวรินทร์ กะริอุณะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INVESTMENT COMPARATIVE STUDY OF LITHIUM-ION BATTERY ASSEMBLY PLANT IN THAILAND

Miss Papawarin Kariuna

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management
Inter-Department of Energy Technology and Management
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University
Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบการลงทุนโรงงานประกอบแบตเตอรี่ ลิเธียมไอออน ในประเทศไทย
โดย	น.ส.ปภาวรินทร์ กะริอุณะ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันต์ สัมปัตตะวนิช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปภาวรินทร์ กะริอุณะ : การศึกษาเปรียบเทียบการลงทุนโรงงานประกอบแบตเตอรี่ ลิเธียมไอออน ในประเทศไทย. (INVESTMENT COMPARATIVE STUDY OF LITHIUM-ION BATTERY ASSEMBLY PLANT IN THAILAND) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ.สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน

ศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ในประเทศไทย สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ชนิด NMC และ LMO โดยเปรียบเทียบโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่เอง และโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่น พบว่า โรงงานแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่น แบตเตอรี่ชนิด NMC มีราคาต้นทุน 131 $/kWh หรือ 11,439 USD/Battery pack และ LMO มีราคาต้นทุน 124 $/kWh หรือ 10,566 USD/Battery pack ส่วนโรงงานที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง แบตเตอรี่ชนิด NMC มีราคาต้นทุน 124$/kWh หรือ 8,904.43 USD/battery pack และ LMO มีราคาต้นทุน 118$/kWh หรือ 8,433.6 USD/Battery Pack จากการศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุน ด้วยดัชนีชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่น โรงงานแบตเตอรี่ชนิด NMC มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 389.10 MMUSD อัตตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 17.78% มีระยะเวลาในการคืนทุน (Payback period) 4.5 ปี โรงงานแบตเตอรี่ชนิด LMO มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 170.20 MMUSD อัตตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 14.38% มีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) 5.1ปี ส่วนโรงงานที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่เอง โรงงานแบตเตอรี่ชนิด NMC มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) -878.68 MMUSD อัตตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 5.29% มีระยะเวลาในการคืนทุน (Payback period) 7.4 ปี และโรงงานแบตเตอรี่ชนิด LMO มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) -243.65 MMUSD อัตตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 9.97% มีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) 6 ปี

สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6380191520 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORD: Battery lithium ion, Cost estimation, Payback period

Papawarin Kariuna : INVESTMENT COMPARATIVE STUDY OF LITHIUM-ION BATTERY ASSEMBLY PLANT IN THAILAND. Advisor: Assoc. Prof. SUTHAS RATANAKUAKANGWAN

This study paper involves the Investment Comparative Study of Lithium-Ion Battery Assembly Plant in Thailand, particularly for an electric vehicle. The Lithium-ion battery types are NMC and LMO. This study attempts to investigate the comparison in the worthiness of assembly factory investment for The battery factory that imports battery cells from other manufacturers will have the cost of NMC batteries cost 131 $ per kWh or 11,439 USD per Battery pack, and LMO batteries cost 124 $ per kWh or 10,566 USD per Battery pack. On the other hand, the factory that can produce battery cells all-in-house will have the cost of NMC batteries at 124 $/kWh or 8,904.43 USD/battery pack, and LMO batteries cost 118$/kWh or 8,433.6 USD/Battery Pack. The Investment Comparative Study of Battery Factory by economic indicators, Battery factories that import battery cells from other manufacturers by NMC type battery factory Net present value (NPV) 389.10 MMUSD Internal rate of return (IRR) 17.78% Payback period 4.5 years LMO battery plant Net present value (NPV) 170.20 MMDUS Internal Rate of Return (IRR) 14.38% with Payback Period 5.1 years. As for the factory that can produce battery cells all-in-house NMC Net Present Value (NPV) -878.68 MMUSD Internal Rate of Return (IRR) 5.29% Payback period 7.4 years LMO battery factory Net present value (NPV) -243.65 MMUSD Internal rate of return (IRR) 9.97% Payback period of 6 years.

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature .....
Academic Year:	2021	Advisor's Signature .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษา คำเสนอแนะ และชี้แนะแนวทางในการทำสารนิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันต์ สัมปัตตะวนิช ในฐานะประธานการสอบสารนิพนธ์ และกรรมการการสอบสารนิพนธ์ ที่ให้ข้อเสนอแนะให้เห็นถึงจุดบกพร่องบางประการที่จะช่วยทำให้สารนิพนธ์ได้รับการแก้ไขให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบองค์ความรู้ ทฤษฎี แนวคิด ประสบการณ์จริงในการทำงาน และให้คำปรึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำหลักสูตร เจ้าหน้าที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบพระคุณกรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กระทรวงพลังงาน และบริษัทโรงกลั่นน้ำมัน ทีพีไอ (1997) จำกัด ที่สนับสนุนทุนการศึกษาตลอด ปีการศึกษา และทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ เพื่อให้สารนิพนธ์เล่มนี้สามารถทำวิจัยจนแล้วเสร็จ และมีความสมบูรณ์ของเนื้อหา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ กลุ่มเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนการเรียนครั้งนี้อย่างดีมาโดยตลอด

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า สารนิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยงข้องกับเรื่องดังกล่าว หารมีข้อบกพร้องประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปภาวรินทร์ กะริอุณะ

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

ตารางที่ ..... ซ

สารบัญรูปภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย 6

1.3. ขอบเขตการวิจัย 6

1.4. วิธีการดำเนินการวิจัย 7

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 แบตเตอรี่ลิเธียม ไอออน 8

2.2. สถานการณ์ตลาดของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 20

2.3. Battery Performance and Cost Model, BatPaC version 5.0 21

2.4. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน และผลตอบแทนของโครงการ 21

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 25

3.1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 32
4.1. การวิเคราะห์ราคาของ Battery Pack ผ่านแบบจำลอง BatPaC 35
4.2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของแบตเตอรี่ 37
4.3. การเปรียบเทียบราคาของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC และ LMO ต่อความสามารถในการกักเก็บไฟฟ้าของแบตเตอรี่ และระยะทางของรถยนต์ไฟฟ้าในการขับขี่ 43
4.4. การนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุเหลือทิ้ง 46
4.5. เปรียบเทียบความคุ้มค่าทางการเงิน ด้วยแบบจำลองกระแสเงินสดคิดลดของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC และ LMO 48
4.6. ประเมินความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC และ LMO 51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 54
5.1. สรุปผลการวิจัย 54
5.2. ข้อเสนอแนะ 55
บรรณานุกรม 56
ประวัติผู้เขียน 59

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่

หน้า

ตารางที่ 1 อัตราการผลิตพื้นฐานของแบบจำลอง BatPaC 26

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ (p – factors) ในการปรับต้นทุนของแบบจำลอง BatPaC 27

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและพื้นที่การใช้งาน ในแต่ละขั้นตอนการผลิตของแบบจำลอง BatPaC 28

ตารางที่ 4 รายการค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของโครงการ 29

ตารางที่ 5 ราคาอ้างอิงของต้นทุนวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ 30

ตารางที่ 6 ผลผลิตของวัตถุดิบและแบตเตอรี่ในขั้นตอนการผลิต 30

ตารางที่ 7 อัตราการผลิตแบตเตอรี่ต่อปีของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 32

ตารางที่ 8 การประมาณต้นทุนของโรงงานประกอบแบตเตอรี่จากแบบจำลอง BatPaC 33

ตารางที่ 9 รายการค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการ 34

ตารางที่ 10 ปริมาณของส่วนประกอบวัตถุดิบตั้งต้นเซลล์แบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO 35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 การคาดการณ์สถานการณ์ตลาดรถยนต์ไฟฟ้า 1

รูปที่ 2 สัดส่วนตลาดรถยนต์ไฟฟ้าทั่วโลก เมื่อเปรียบเทียบตามประเทศ 2

รูปที่ 3 แนวโน้มตลาดรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบตามภูมิภาค 2

รูปที่ 4 การคาดการณ์ตลาดรถยนต์ไฟฟ้าในไทย 3

รูปที่ 5 ความสนใจในการซื้อรถยนต์ไฟฟ้า 4

รูปที่ 6 แบตเตอรี่ชนิดต่างๆที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า 8

รูปที่ 7 ส่วนประกอบภายในเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 9

รูปที่ 8 หลักการการทำงานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 10

รูปที่ 9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ อายุการใช้งาน ต้นทุนของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแต่ละชนิด 12

รูปที่ 10 การคาดการณ์สัดส่วนตลาดของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ชนิดต่างๆ 13

รูปที่ 11 รูปแบบของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 14

รูปที่ 12 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่โมดูล (Battery Module) 15

รูปที่ 13 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่แพ็ค (Battery Pack) 16

รูปที่ 14 ขั้นตอนการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ (Battery cell) 18

รูปที่ 15 ขั้นตอนการประกอบแบตเตอรี่โมดูล (Battery Module) 19

รูปที่ 16 ขั้นตอนการประกอบ Battery Pack 19

รูปที่ 17 แนวโน้วราคาของเซลล์แบตเตอรี่ และBattery Pack ตั้งแต่ปี 2556 - 2563 20

รูปที่ 18 การคาดการณ์ราคาของ Battery Pack และความต้องการของตลาด 20

รูปที่ 19 แผนผังของโรงงานผลิตแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 25

รูปที่ 20 ราคาต้นทุนของแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO ของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง 36

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 21 ราคาต้นทุนของแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO ของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น 37

รูปที่ 22 สัดส่วนต้นทุนต่อหน่วยของ battery pack ชนิด NMC และ LMO ของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง 39

รูปที่ 23 สัดส่วนต้นทุนต่อหน่วยของ battery pack ชนิด NMC และ LMOของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น 40

รูปที่ 24 ต้นทุนต่อหน่วยของแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO 41

รูปที่ 25 สัดส่วนต้นทุนวัตถุดิบของ Battery pack ชนิด NMC 42

รูปที่ 26 สัดส่วนต้นทุนวัตถุดิบของ Battery pack ชนิด LMO 43

รูปที่ 27 เปรียบเทียบราคาต้นทุนของแบตเตอรี่กับความสามารถในการกักเก็บไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO 44

รูปที่ 28 เปรียบเทียบราคาต้นทุนของแบตเตอรี่กับระยะทางของรถยนต์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO 45

รูปที่ 29 การวิเคราะห์การนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ขององค์ประกอบของส่วนประกอบอื่นภายในแบตเตอรี่ 47

รูปที่ 30 วิเคราะห์การนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ขององค์ประกอบของอิเล็กโทรด และอิเล็กโทรไลต์ 47

รูปที่ 31 วิเคราะห์วัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่จากขั้นตอนกระบวนการผลิต 48

รูปที่ 32 DCF Diagram เปรียบเทียบของแบตเตอรี่ NMC และ LMO 49

รูปที่ 33 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) ของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO 50

รูปที่ 34 กราฟแสดงความอ่อนไหวของโครงการต่อปัจจัยการลงทุน 51

รูปที่ 35 กราฟแสดงความอ่อนไหวของโครงการต่อปัจจัยค่าดำเนินงาน 52

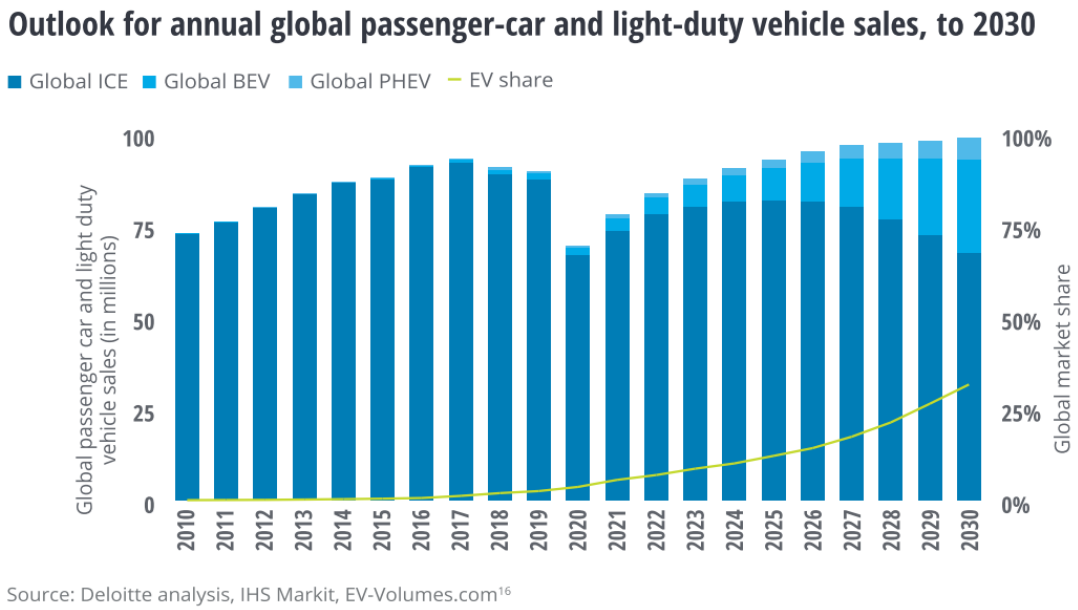
รูปที่ 36 กราฟแสดงความอ่อนไหวของโครงการต่อปัจจัยรายรับ 53

Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

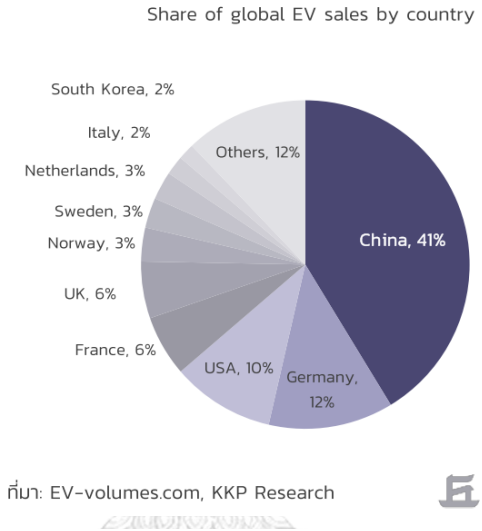
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันแนวโน้มการใช้รถยนต์ไฟฟ้าทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในที่นี้จะหมายความถึงเฉพาะรถยนต์ที่สามารถอัดประจุไฟฟ้าได้ (Plug-in Electric Vehicle: EVs) ได้แก่ รถยนต์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่ล้วน (Battey Electric Vehicle: BEV) และรถยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV) จากการตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านมลพิษ และการรณรงค์ใช้เชื้อเพลิงสะอาด จากนโยบายในหลากหลายประเทศ เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล จากการคาดการณ์สถานการณ์ตลาดรถยนต์ไฟฟ้าของ Deloitte พบว่ารถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) คาดว่ามียอดขายสูงถึง 25.3 ล้านคันคิดเป็น 81% ของรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด และรถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) คาดว่ามียอดขายอยู่ที่ 5.8 ล้านคันภายในปี 2573 โดยคาดการณ์อัตราการเติบโต (Growth rate) อยู่ที่ 29% รถยนต์ไฟฟ้าจะมีส่วนแบ่งตลาดประมาณ 32% ของยอดขายรถยนต์ใหม่ทั้งหมด ในขณะที่รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine: ICE) ชะลอตัวลง จากความนิยมของรถยนต์ ICE ลดลง (1) (ดังรูปที่ 1)

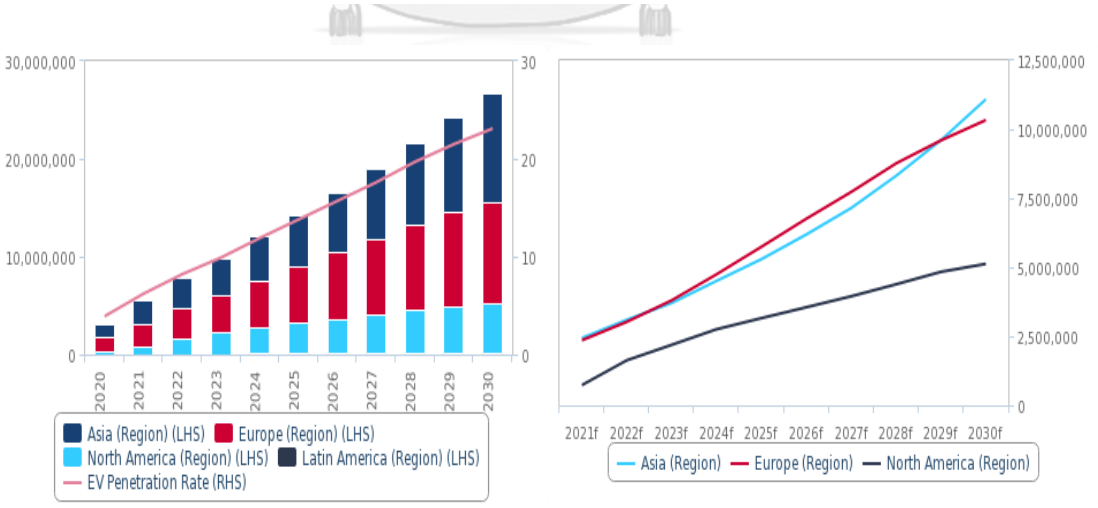


รูปที่ 1 การคาดการณ์สถานการณ์ตลาดรถยนต์ไฟฟ้า

สถานการณ์ตลาดรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบตามภูมิภาค จะเห็นว่ายอดขายรถยนต์ไฟฟ้าของเอเชียนั้นแซงหน้าตลาดยุโรปอย่างรวดเร็ว มีอัตราการเติบโตอย่างต่อเนื่อง หนึ่งในเหตุผลมาจากตลาดรถยนต์ไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดคือประเทศจีน ที่ครอบคลุมส่วนแบ่งตลาดรถยนต์ไฟฟ้าถึง 41% (2) (ดังรูปที่ 2) และจากการวิเคราะห์ของ Fitch Solutions พบว่ายอดขายรถยนต์ไฟฟ้าในเอเชียคิดเป็น 43.7% ของยอดขายรถยนต์ไฟฟ้าทั้งหมด และคาดการณ์ว่าจะลดลงเพียงเล็กน้อยเป็น 41.5% ภายในปี 2573 (3) (ดังรูปที่ 3)



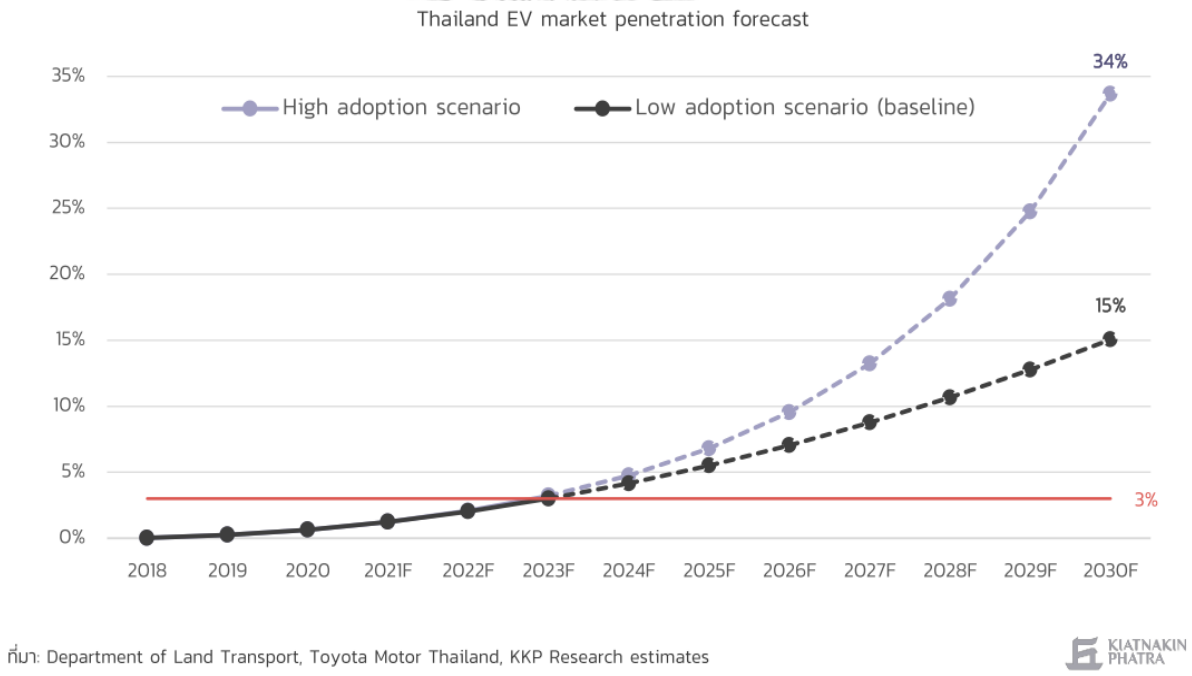
รูปที่ 2 สัดส่วนตลาดรถยนต์ไฟฟ้าทั่วโลก เมื่อเปรียบเทียบตามประเทศ



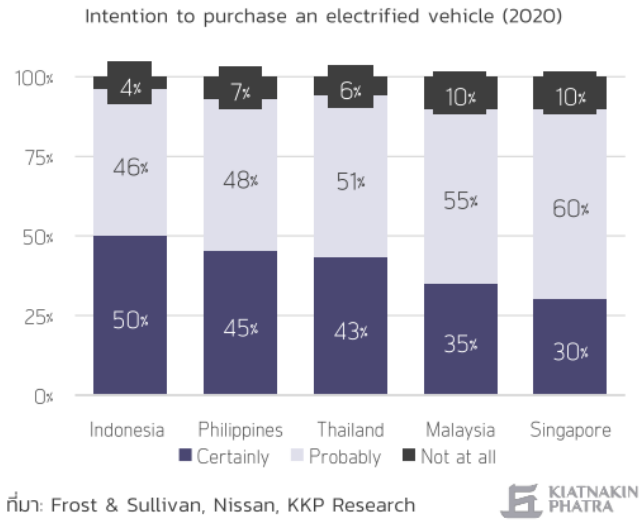
รูปที่ 3 แนวโน้มตลาดรถยนต์ไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบตามภูมิภาค

ในเอเชียมีผู้ผลิตแบตเตอรี่รายใหญ่ของโลกมากถึง 70% อย่างในประเทศจีนนั้นมีผู้ผลิตรายใหญ่อย่าง CATL, BYD เป็นต้น ประเทศจีนครอบคลุมห่วงโซ่อุตสาหกรรมแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ มีกำลังของทรัพยากรที่จำเป็น และการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างก้าวกระโดดอีกด้วย (4)

ในประเทศไทยสถานการณ์ตลาดรถยนต์ไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องมาจากการรับรู้และเข้าใจในเทคโนโลยีการขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น การแก้ปัญหามลพิษในอากาศที่มีเพิ่มมากขึ้น จากการคาดการณ์ของเกียรตินาคินภัทร คาดว่าตลาดรถยนต์ไฟฟ้าในไทยน่าจะเพิ่มสูงขึ้น 34% ภายในปี 2573 (ดังรูปที่ 4) และจากการสำรวจของ Frost & Sullivan ร่วมกับ Nissan พบว่า 43% ของกลุ่มตัวอย่างในไทย ตั้งใจจะซื้อรถคันใหม่เป็นรถยนต์ไฟฟ้าภายใน 3 ปีข้างหน้า (ดังรูปที่ 5) (2)



รูปที่ 4 การคาดการณ์ตลาดรถยนต์ไฟฟ้าในไทย



รูปที่ 5 ความสนใจในการซื้อรถยนต์ไฟฟ้า

ภายใต้นโยบายของภาครัฐโดยคณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติ ได้มีการตั้งเป้าหมายการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าที่ไม่ปล่อยไอเสีย (Zero – Emissions Vehicles: ZEV) ให้ได้อย่างน้อย 30% ของการผลิตยานยนต์ทั้งหมดภายในปี 2578 เพื่อที่จะนำประเทศไทยเข้าสู่การเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ (Low – carbon society)

ประเทศไทยถือเป็นฐานการผลิตหลักของรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) แต่ในปัจจุบันกระแสความนิยมของรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจทำให้ต้องมีการปรับตัวอย่างมาก หากจะเปลี่ยนมาผลิตรถยนต์ไฟฟ้าเองภายในประเทศ ยังคงมีข้อเสียเปรียบในการผลิต คือ ยังต้องอาศัยการนำเข้าแบตเตอรี่ในราคาที่สูงจากภาระภาษี ทำให้เกิดการเสียเปรียบด้านราคาของรถยนต์ไฟฟ้าที่นำเข้าทั้งคันจากประเทศจีน (Completely Built - Up: CBU) ที่ไม่มีภาษีนำเข้าจากข้อตกลงเสรีการค้าอาเซียน – จีน นั้นทำให้ผู้ผลิตไม่จำเป็นที่จะต้องมาตั้งฐานการผลิตในประเทศไทย (2)

นอกจากนี้การผลิตรถยนต์ไฟฟ้าแทนรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) จะทำให้ประเทศไทยนั้นสร้างมูลค่าเพิ่มของการผลิตได้ลดลง เนื่องจากมูลค่าเพิ่มส่วนใหญ่ของการผลิตรถยนต์ไฟฟ้านั้นอยู่ที่การผลิตแบตเตอรี่เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นถ้าหากประเทศไทยต้องการที่จะผลิตรถยนต์ไฟฟ้า จำเป็นจะต้องมีเทคโนโลยี และความสามารถในการผลิตชิ้นส่วนที่มีมูลค่าเพิ่มสูงให้ได้ เช่น การผลิตแบตเตอรี่ (4)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากความต้องการรถยนต์ไฟฟ้าที่มากขึ้น และการปรับตัวในอุตสาหกรรมดังที่กล่าวมาข้างต้น จำเป็นที่จะต้องเพิ่มแรงจูงใจให้แก่นักลงทุนหรือผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องเข้ามาลงทุน เพื่อที่จะทำให้ไทยกลายเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ของภูมิภาคอาเซียน หรือเอเชียได้ (5) ปัจจัยที่สร้างแรงจูงใจต่อการลงทุนอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ในประเทศไทย คือ

แผนนโยบายเพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า ทางภาครัฐมีการดำเนินการผ่านสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (บีโอไอ) เพื่อกระตุ้นให้เกิดการลงทุนกิจการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าที่มีคุณค่าต่อการพัฒนาด้านเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมรถยนต์ในประเทศ รวมทั้งกิจการผลิตชิ้นส่วน และอุปกรณ์ ที่ใช้ในการประกอบรถยนต์ไฟฟ้าทุกประเภท โดยกำหนดให้กิจการผลิตอุปกรณ์สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าทุกประเภทถือเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ซึ่งกิจการผลิตแบตเตอรี่ได้รับสิทธิและประโยชน์ตามประเภทกิจการ (Activity-based Incentives) ดังนี้

1) กิจการผลิตแบตเตอรี่ กรณีมีขั้นตอนการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ (Battery Cell) ถือเป็นกลุ่มกิจการ A1 จะได้รับสิทธิประโยชน์ยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล โดยให้ได้รับการลดหย่อนภาษีเงินได้นิติบุคคลเป็นระยะเวลา 8 ปี ไม่จำกัดวงเงินภาษีเงินได้นิติบุคคลที่จะได้รับการยกเว้น รวมทั้งได้รับการลดหย่อนอากรขาเข้าวัตถุดิบและวัสดุตามจำเป็นตามมาตรา 30 ในอัตราร้อยละ 90 สำหรับวัตถุดิบและวัสดุจำเป็นที่ไม่มีการผลิตในประเทศ เป็นระยะเวลา 2 ปี

2) กิจการผลิตแบตเตอรี่ กรณีมีขั้นตอนการผลิตแบตเตอรี่โมดูล (Battery Module) ถือเป็นกลุ่มกิจการ A2 จะได้รับสิทธิประโยชน์ยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล เป็นระยะเวลา 8 ปี เป็นสัดส่วนร้อยละ 100 ของเงินลงทุน (ไม่รวมค่าที่ดิน และเงินหมุนเวียน) รวมทั้งได้รับการลดหย่อนอากรขาเข้าวัตถุดิบและวัสดุตามจำเป็นตามมาตรา 30 ในอัตราร้อยละ 90 สำหรับวัตถุดิบ และวัสดุจำเป็นที่ไม่มีการผลิตในประเทศ เป็นระยะเวลา 2 ปี

3) กิจการผลิตแบตเตอรี่ กรณีมีขั้นตอนการผลิต Battery Pack หรือ Assembly เท่านั้น ถือเป็นกลุ่มกิจการ A3 จะได้รับสิทธิประโยชน์ยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล เป็นระยะเวลา 5 ปี เป็นสัดส่วนร้อยละ 100 ของเงินลงทุน (ไม่รวมค่าที่ดิน และเงินหมุนเวียน)

ทั้งนี้เพื่อเป็นการกระตุ้นให้มีการผลิตแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในภูมิภาค ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาและส่งเสริมกิจการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศให้เกิดขึ้นอย่างยั่งยืน (6)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1.2.1. เพื่อศึกษาความคุ้มค่าในการตั้งโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) และ Lithium Manganese Oxide (LMO) ในประเทศไทย ที่มีขนาดกำลังการผลิต 10 GWh

1.2.2. เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุนตั้งโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน เปรียบเทียบโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง และโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่น ด้วยดัชนีชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

1.3. ขอบเขตการวิจัย

1.3.1. ศึกษาโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ในประเทศไทย โรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมีขนาดกำลังผลิต 10 GWh อัตราการผลิตพื้นฐานของโครงการ 100,000 แพ็คต่อปี

1.3.2. โรงงานประกอบแบตเตอรี่ผลิตแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) ขนาดความจุไฟฟ้า 80 kWh มีกำลังไฟฟ้า 100 kW

1.3.3. ชนิดแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่นำมาใช้คือ ชนิด Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) และ Lithium Manganese Oxide (LMO) แบตเตอรี่ชนิด NMC เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมรถยนต์ไฟฟ้า มีความสามารถในการกักเก็บประจุไฟฟ้าได้ดี ในขณะที่แบตเตอรี่ชนิด LMO มีประสิทธิภาพในการอัดประจุได้เร็ว และมีความเสถียรด้านอุณหภูมิ

1.3.4. ศึกษาเปรียบเทียบโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่เอง กับโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่น

1.3.5. วิเคราะห์ต้นทุนในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ต้นทุนต่อหน่วย และค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยใช้แบบจำลอง Battery Performance and Cost (BatPaC) model version 5.0 ของ Argonne National Laboratory

1.3.6. อายุโครงการ 10 ปี

1.3.7. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน และผลตอบแทนของโครงการ โดยใช้แบบจำลองกระแสเงินสดคิดลด (Discounted Cash Flow Model; DCF) เพื่อพิจารณาการตัดสินใจในการลงทุน โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจได้แก่

1.3.7.1. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

1.3.7.2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

1.3.7.3. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

1.3.8. วิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ (Sensitivity Analysis)

1.4. วิธีการดำเนินการวิจัย

ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ในเชิงเทคนิคของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) และ Lithium Manganese Oxide (LMO) โดยอ้างอิงจากขั้นตอนกระบวนการผลิตแบตเตอรี่ โดยอ้างอิงกับรายการการผลิตพื้นฐานของโรงงานจากขั้นตอนกระบวนการผลิต รายการค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการ และรายการค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของโครงการ ตลอดจนการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

เปรียบเทียบสัดส่วนต้นทุนต่อหน่วยของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) และ Lithium Manganese Oxide (LMO) ต่อความสามารถในการกักเก็บไฟฟ้าของแบตเตอรี่ และระยะทางในการขับขี่

เปรียบเทียบโรงงานแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง และโรงงานที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่นรวมทั้งวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการประกอบด้วย มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return; IRR) และระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period)

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องมือที่รองรับการสร้างแบบจำลอง และการออกแบบแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ การประมาณต้นทุนการผลิตแบตเตอรี่ที่แม่นยำผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excel ที่พัฒนาขึ้นโดย Argonne National Laboratory

Chulalongkorn University

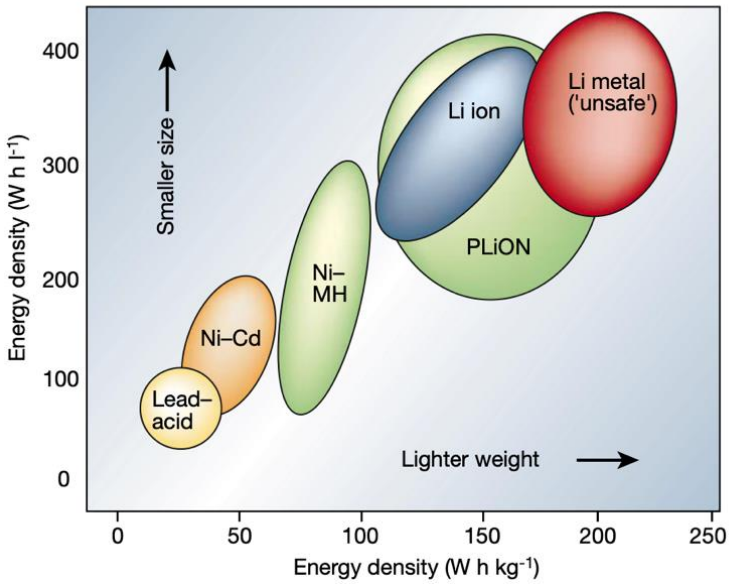
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อให้เกิดแรงจูงใจในการลงทุนการผลิตแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าภายในประเทศ เพื่อเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจภายในประเทศ และส่งเสริมกิจการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศให้เกิดขึ้นอย่างยั่งยืน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบตเตอรี่ลิเธียม ไอออน

ในปัจจุบันแบตเตอรี่ถูกผลิตออกมาหลากหลายประเภท หลากหลายขนาดและรูปแบบ เพื่อความเหมาะสมในการใช้งานในประเภทต่างๆ โดยหากแยกตามการนำมาใช้ซ้ำสามารถแยกได้ออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือแบบใช้ครั้งเดียว (Primary cell or non-rechargeable battery) และแบบที่ชาร์จพลังงานซ้ำได้ (Secondary cell or rechargeable battery) ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดแตกต่างกันออกไปตามวัสดุที่ใช้ประกอบเพื่อผลิตแบตเตอรี่ ความหลากหลายของชนิดวัสดุนี้เกิดจากวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ต้นทุนการผลิต ความหนาแน่นของพลังงาน (Energy Density) อายุการใช้งาน (Cycle life) ความปลอดภัย ขนาดของแบตเตอรี่ และความสามารถในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น Wh/kg หรือ Wh/L (วัตต์-ชั่วโมง ต่อ กิโลกรัม และ วัตต์-ชั่วโมง ต่อลิตร ตามลำดับ) ซึ่งแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมีความสามารถในการเก็บพลังงานได้มากกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นทั้งในเชิงปริมาตร (Volumetric energy density) และเชิงมวล (Gravimetric energy density) (ดังรูปที่ 6) รวมทั้งมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ทำให้มีความสะดวกในการใช้งาน จึงนิยมใช้ในอุปกรณ์พกพาต่างๆ เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ในปัจจุบันแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนได้รับความนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ไฟฟ้า สมรรถนะของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการทำเป็นขั้วแบตเตอรี่และการออกแบบแบตเตอรี่ (7)

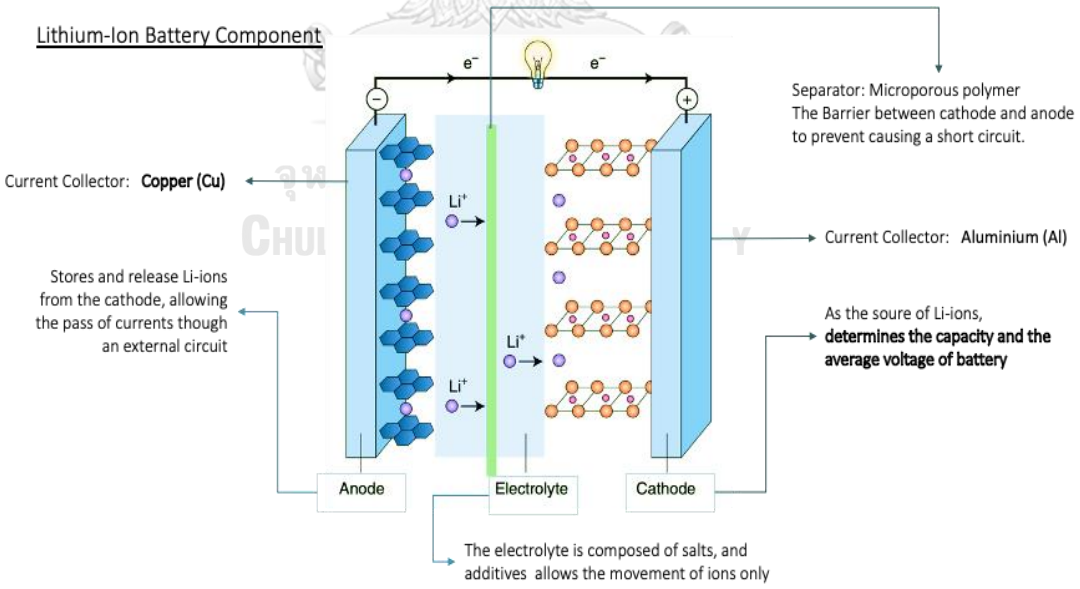


รูปที่ 6 แบตเตอรี่ชนิดต่างๆที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า

2.1.1. เซลล์แบตเตอรี่ลิเธียม ไอออน

ส่วนประกอบของลิเธียมไอออนแบตเตอรี่ (ดังรูปที่ 7) แสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบภายในเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนั้นประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

1) ขั้วไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย ขั้วลบ หรือขั้วแอโนด (Anode) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทคาร์บอน เช่น แกรไฟต์ (Graphite) หรือ ซิลิคอน (Silicon) และขั้วบวก หรือขั้วแคโทด (Cathode) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ โดยวัสดุต่างชนิดที่มีโครงสร้างแตกต่างกันจะมีความสามารถในการกักเก็บพลังงานได้ต่างกัน
2) อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เป็นสารละลายเกลือ ซึ่งเป็นตัวที่นำให้ไอออนไหลผ่านจากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนด
3) แผ่นกั้นภายในแบตเตอรี่ (Separator) เป็นวัสดุจำพวกพอลิเมอร์ (Microporous polymer) ซึ่งทำหน้าที่กั้นระหว่างขั้วแคโทด และขั้วแอโนด ไม่ให้สัมผัสกัน เพื่อป้องกันการลัดวงจรของกระแสภายในแบตเตอรี่
4) ตัวรับกระแส (Current collector) เป็นโลหะตัวนำที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนสามารถไหลออกสู่วงจรภายนอก และเกิดการนำกระแสไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ต่างๆ



รูปที่ 7 ส่วนประกอบภายในเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

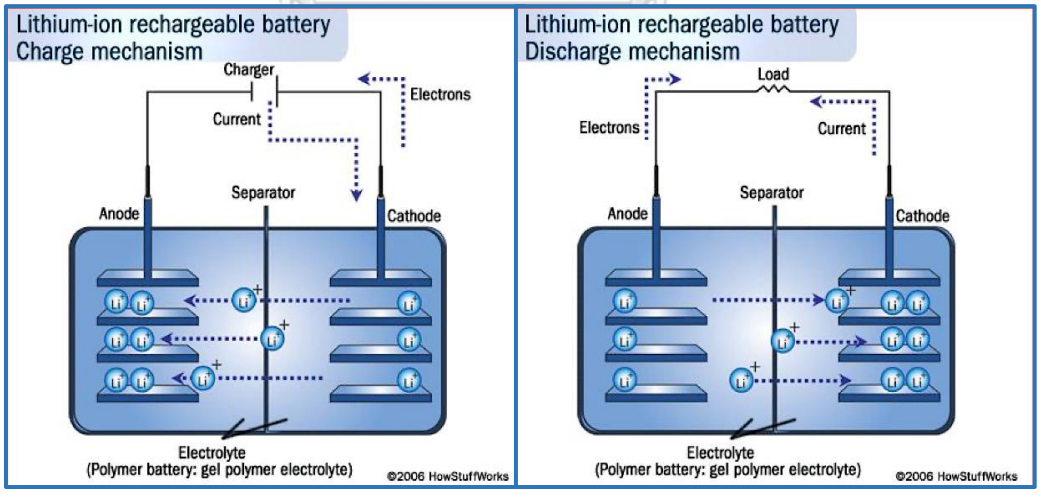
2.1.2. หลักการการทำงานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนจะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1) ขณะอัดประจุไฟ (Charge mechanism) เมื่ออัดประจุไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ซึ่งทำให้ลิเธียมไอออนไหลออกจากโครงสร้างวัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทดเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโตรไลต์ แผ่นกั้นแบตเตอรี่ และเข้าไปสอดตัวยังโครงสร้างวัสดุที่ใช้ทำขั้วแอโนด (Intercalate) ในขณะเดียวกันอิเล็กตรอนจะไหลออกจากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนด โดยผ่านทางวงจรไฟฟ้าภายนอก เพื่อรักษาสมดุลของประจุ (Charge balance) ผลของปฏิกิริยานี้จะทำให้ขั้วแคโทด และขั้วแอโนดอยู่ในสภาวะไม่เสถียร

2) ขณะที่ใช้งาน (Discharge mechanism) ปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่สามารถเกิดขึ้นได้เอง (Spontaneous reaction) โดยลิเธียมไอออนเดิมที่อยู่ในโครงสร้างวัสดุที่ใช้ทำขั้วแอโนด จะไหลกลับสู่โครงสร้างที่ใช้ทำขั้วแคโทด พร้อมกับอิเล็กตรอนจะไหลผ่านวงจรไฟฟ้า โดยอิเล็กตรอนจะไหลผ่านโลหะ Current collector และให้พลังงานไฟฟ้าออกมา ทำให้ระบบมีสภาพเสถียรอีกครั้ง

ปฏิกิริยานี้จะสิ้นสุดลง เมื่อลิเธียมไอออนไหลกลับเข้าสู่ขั้วแคโทดจนหมด หากนำแบตเตอรี่ไปใหม่อีกครั้งต้องอัดประจุไฟฟ้าอีกครั้ง และจะเกิดเช่นนี้ต่อเนื่อง จนกว่าแบตเตอรี่จะเสื่อมสภาพและหมดอายุการใช้งาน (8) (ดังรูปที่ 8)



รูปที่ 8 หลักการการทำงานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

2.1.3. ชนิดของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

โดยความสามรถในการกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาใช้เป็นขั้วแคโทด วัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นขั้วแคโทด เปรียบเทียบประสิทธิภาพ อายุการใช้งาน ราคา (7) (ดังรูปที่ 9)

1) ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Cobalt Oxide: LCO) นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีประสิทธิภาพสูง ในการกักเก็บประจุไฟฟ้า เนื่องจากมีส่วนประกอบโคบอลต์ปริมาณสูง ทำให้มีราคาแพง แต่ช่วงการใช้งานสั้น (short lifespan) จึงต้องอัดประจุใหม่บ่อย นอกจากนี้ความสามารถในการคงทนต่อความร้อนต่ำอีกด้วย

2) ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์ (Lithium Manganese Oxide: LMO) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีแรงดันไฟฟ้าที่สูงมากกว่าแบตเตอรี่ที่มีโคบอลต์เป็นส่วนประกอบ มีความต้านทานไฟฟ้าภายในต่ำทำให้สามารถอัดและคายประจุไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว และมีความเสถียรทางอุณหภูมิสูง มีความปลอดภัย ต้นทุนต่ำ เนื่องจากไม่มีโคบอลต์เป็นส่วนประกอบ แต่ความทนทานต่อสารเคมีต่ำ มีอายุการใช้งานสั้น

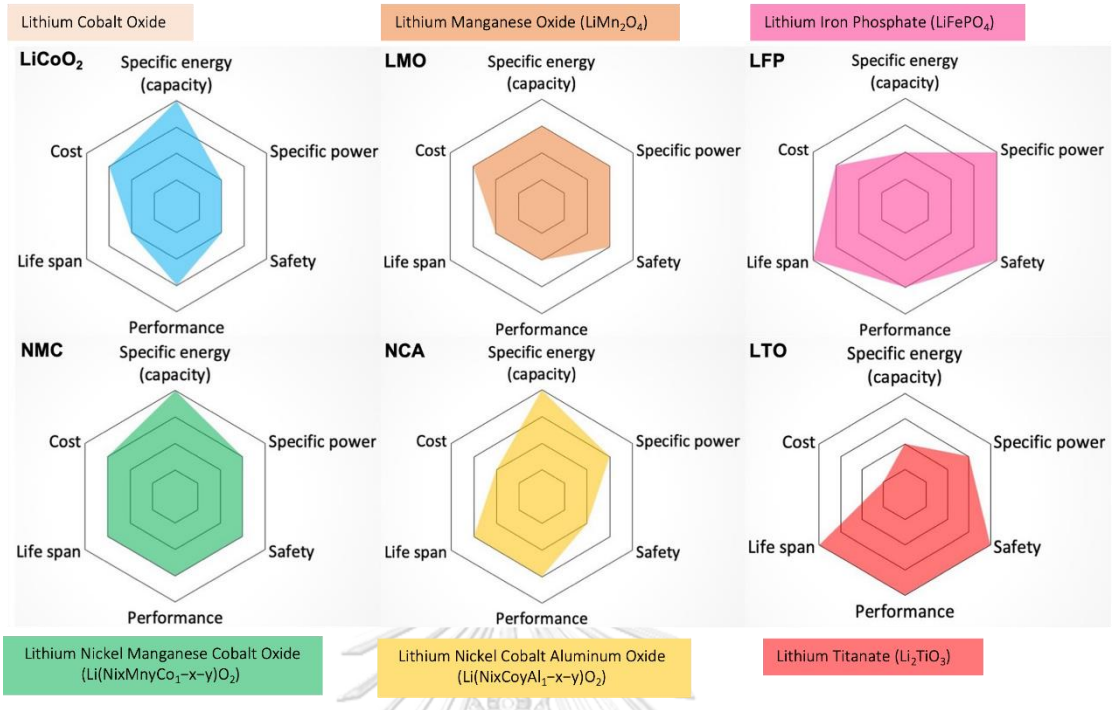
3) ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide: NMC) แบตเตอรี่ที่มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานสูง เนื่องจากมีส่วนประกอบของโคบอลต์ แต่ราคาไม่แพงเท่า LCO และมีคุณสมบัติทางความร้อนที่ดี จึงทำให้มีความต้องการของตลาดสูง นิยมใช้อย่างมากในรถยนต์ไฟฟ้า

4) ลิเธียมนิกเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์ (Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide: NCA) แบตเตอรี่ที่มีคุณสมบัติคล้าย NMC มีค่าพลังงานจำเพาะสูง (High specific energy) และสามารถกักเก็บพลังงานได้ดี มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า NMC แต่ในด้านความปลอดภัยยังมีข้อจำกัดที่ต้องปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5) ลิเธียมไอออนฟอสเฟต (Lithium Iron Phosphate: LFP) แบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมีที่ดี มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ทำให้อัดประจุได้อย่างรวดเร็ว มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความปลอดภัยสูง แต่ความสามารถในการกักเก็บพลังงานต่ำ

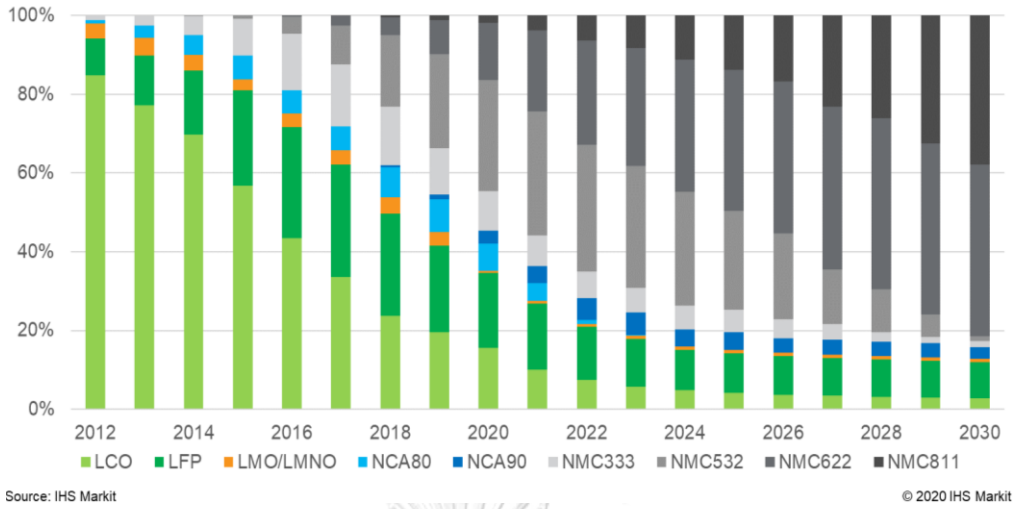
6) ลิเธียมไททาเนต (Lithium Titanate: LTO) แบตเตอรี่ที่มีความปลอดภัยสูง และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถอัดประจุได้ที่อุณหภูมิต่ำได้ไว ทนต่อความร้อน แต่มีราคาสูง



รูปที่ 9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ อายุการใช้งาน ต้นทุนของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแต่ละชนิด

จะเห็นได้ว่าการคาดการณ์สัดส่วนตลาดแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการด้านประสิทธิภาพ อายุการใช้งานและความปลอดภัย (ดังรูปที่ 10) พบว่าแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC มีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น มีความนิยมสูงในหลากหลายบริษัทผลิตรถยนต์ไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น Audi, Volvo เป็นต้น อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด LMO ถึงจะมีความนิยมลดลง แต่มีแรงดันไฟฟ้าที่สูง มีความต้านทานไฟฟ้าภายในต่ำ ทำให้สามารถอัดและคายประจุไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว มีต้นทุนที่ต่ำกว่า ปละมีโอกาสในการผันผวนของราคาน้อยกว่า เนื่องจากไม่มีโคบอลต์เป็นส่วนประกอบ และมีความเสถียรด้านอุณหภูมิอีกด้วย ในบริษัทผลิตรถยนต์ไฟฟ้าก็มีการนำ LMO มาใช้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น Nissan, Chevy Volt เป็นต้น (9)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 10 การคาดการณ์สัดส่วนตลาดของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ชนิดต่างๆ

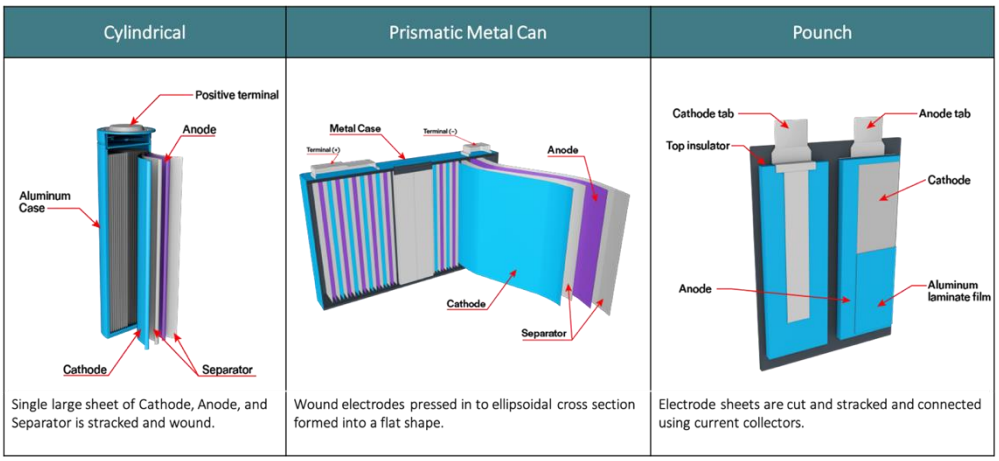
2.1.4. รูปแบบของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

เซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้นำมาประกอบขึ้นอยู่กับการออกแบบแบตเตอรี่ตามความต้องการการใช้งาน ต้นทุนการผลิต ความปลอดภัย และขนาดของแบตเตอรี่ รูปแบบของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนั้น แบ่งออกเป็น 3 แบบดังนี้ (ดังรูปที่ 11)

1) แบบ Cylindrical cell รูปแบบดั้งเดิมของเซลล์แบตเตอรี่ เป็นรูปทรงกระบอกมาตรฐานทั่วไป ข้อดีของรูปแบบนี้ คือมีความคงทนสูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ทนต่อความดันภายในเซลล์ได้ดี ข้อเสียคือไม่มีประสิทธิภาพในการจัดพื้นที่ และมีค่าความจุพลังงานต่อน้ำหนักต่ำ

2) แบบ Prismatic cell รูปแบบนี้ขั้วไฟฟ้าจะมีลักษณะที่แบน ซึ่งทำให้ใช้พื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถออกแบบการแพ็คได้หลากหลายรูปแบบ แต่ข้อเสียคือ มีต้นทุนในการผลิตสูง การจัดการความร้อนไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ และมีอายุการใช้งานต่ำ

3) แบบ Pouch cell รูปแบบนี้มีข้อดีคือ น้ำหนักเบา ต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถออกแบบการแพ็คได้หลากหลาย แต่ข้อเสียคือ มีโอกาสสัมผัสกับความชื้นในอากาศค่อนข้างสูง อายุการใช้งานต่ำในสภาวะอุณหภูมิสูง และต้องออกแบบการแพ็คเผื่อการบวมของเซลล์ในอนาคต



รูปที่ 11 รูปแบบของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

2.1.5. ส่วนประกอบของแบตเตอรี่โมดูล (Battery Module) และแบตเตอรี่แพ็ค (Battery Pack)

ส่วนประกอบของแบตเตอรี่โมดูล (Battery Module) จะขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์แบตเตอรี่ที่นำมาใช้ (11) (ดังรูปที่ 12) ได้แก่

1) กล่องแบตเตอรี่ (Casing): เคสโลหะหุ้มด้านนอกเซลล์แบตเตอรี่ เพื่อป้องกันการบีบอัด

2) โครงยึด (Clamping frame): โครงยึดเหล็กที่ยึดแบตเตอรี่โมดูล ไว้กับกล่องแบตเตอรี่

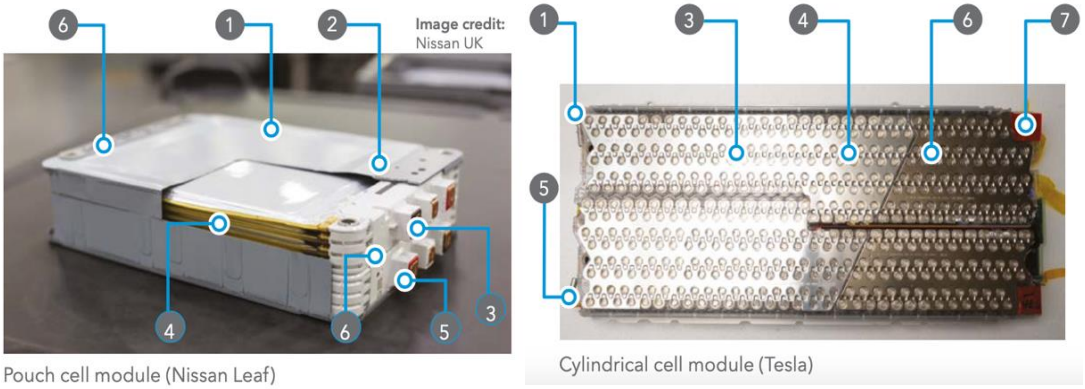
3) อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature sensors): อุปกรณ์ตรวจจับภายในแบตเตอรี่โมดูล ทำหน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ เพื่อให้ระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System) ควบคุมความเย็น และการจ่ายพลังงานที่ปลอดภัย

4) เซลล์แบตเตอรี่ (Battey cells): แบตเตอรี่โมดูลในแบตเตอรี่แพ็คนั้น จะประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่จำนวนเท่ากันทุกโมดูล โดยจำนวนจะขึ้นอยู่กับการออกแบบ และความต้องการการใช้งาน

5) ขั้วต่อ (Terminals): มี 2 ขั้วต่อบนแบตเตอรี่โมดูล เพื่อเชื่อมต่อโมดูลอื่นผ่าน Bus bars

6) การเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ (Cell Interconnects): ทำหน้าที่เชื่อมต่อเซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์เข้าด้วยกัน

7) ระบบระบายความร้อน (Cooling system): ของเหลวหล่อเย็นระหว่างแถวของเซลล์แบตเตอรี่ เพื่อระบายความร้อน และป้องกันการคายความร้อนสูง (Thermal runaway) จากแบตเตอรี่



รูปที่ 12 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่โมดูล (Battery Module)

ส่วนประกอบของแบตเตอรี่แพ็ค (Battery Pack) จะขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์แบตเตอรี่ที่นำมาใช้ (12) (ดังรูปที่ 13) ได้แก่

1) กล่องแบตเตอรี่ด้านบน (Upper case): ป้องกันส่วนประกอบภายในแบตเตอรี่จากสิ่งสกปรก และยังป้องกันกระแสไฟฟ้าแรงสูงจากภายในแบตเตอรี่

2) แบตเตอรี่โมดูล (Battery Module): แบตเตอรี่โมดูลที่ทำการเชื่อมต่อเซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์เข้าด้วยกันแล้ว ตามการออกแบบ และความต้องการการใช้งาน

3) Bus Bars: ส่วนที่เชื่อมต่อแบตเตอรี่โมดูลเข้าด้วยกันทางไฟฟ้า และเชื่อต่อโมดูลเข้ากับ Contactors

4) Contactors: ส่วนที่ใช้แยกแบตเตอรี่โมดูลให้ห่างออกจากกัน เพื่อความปลอดภัย หากเกิดการชนกันของแบตเตอรี่โมดูล

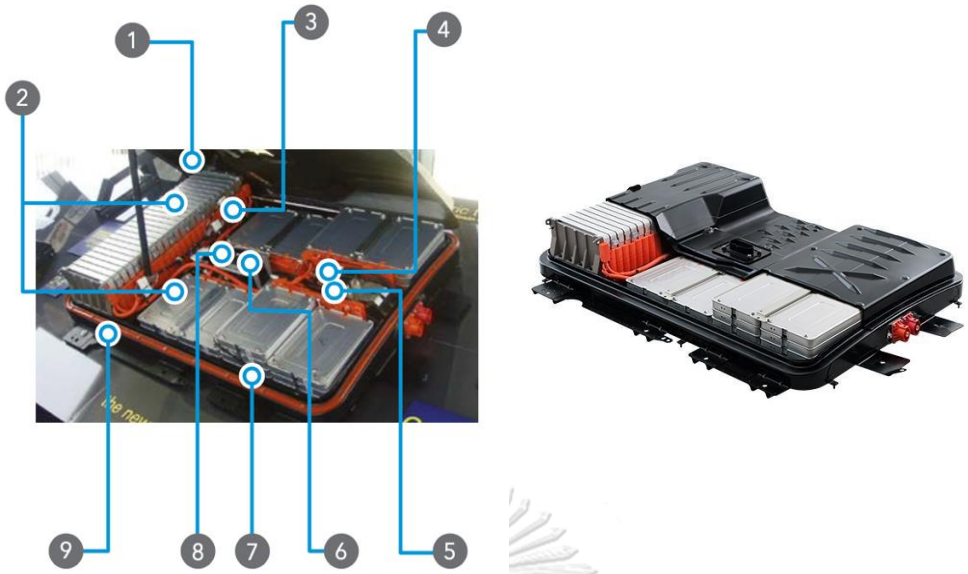
5) ฟิวส์ (Fusing): ฟิวส์ป้องกันความเสียหายต่อชิ้นส่วนจากไฟกระชาก หรือเกิดความผิดพลาด

6) Disconnect: เพื่อแยกแบตเตอรี่จากรถยนต์ไฟฟ้าระหว่างการบริการหรือบำรุงรักษา

7) ระบบระบายความร้อน (Cooling system): ระบบระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่ และป้องกันการคายความร้อนสูง (Thermal runaway) อาจระบายความร้อนด้วยอากาศ น้ำ หรือระบบปรับอากาศในรถยนต์

8) ระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System): ระบบที่ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า ตรวจวัดประจุไฟฟ้าที่เหลืออยู่ รายงานสถานภาพของแบตเตอรี่ เพื่อความปลอดภัย

9) กล่องแบตเตอรี่ด้านล่าง (Lower case): รองรับน้ำหนักแบตเตอรี่ และป้องกันสิ่งสกปรก



รูปที่ 13 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่แพ็ค (Battery Pack)

2.1.6. เทคโนโลยีการประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

ขั้นตอนการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ (10, 11) (ดังรูปที่ 14) ดังนี้

1) กระบวนการ Mixing ผสมวัตถุดิบที่เป็นขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยขั้วแอโนด (Anode) วัตถุดิบหลักส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทคาร์บอน เช่น แกรไฟต์ (Graphite) หรือ ซิลิคอน (Silicon) ส่วนขั้วแคโทด (Cathode) วัตถุดิบหลักส่วนใหญ่ คือลิเธียมไดออกไซด์ สารยึดเกาะ (Binder) และสารตัวทำละลาย (Binder Solvent) โดยผสมให้เข้ากัน ในเครื่องผสม

2) กระบวนการ Coating เป็นการนำส่วนผสม จากขั้นตอนที่ 1 ที่ผสมเข้ากันดีแล้วมาเคลือบบนผิวตัวรับกระแส (Current Collector) ที่เป็นขั้วไฟฟ้า เคลือบ 2 ชั้น (Two-level coating system) ทั้ง 2 ด้านของตัวรับกระแส โดยขั้วแอโนดวัสดุจะเป็นทองแดง และขั้วแคโทดวัสดุจะเป็นอลูมิเนียม

3) กระบวนการ Drying และ Solvent recovery เพื่อระเหยเอาสารทำละลายจากกระบวนการ Mixing ออก และนำไอระเหยสารทำละลายนำกลับมาใช้ใหม่

4) กระบวนการ Calendering เป็นการใช้แรงเชิงกล โดยใช้ลูกกลิ้ง (Rolling) ในการกด เพื่อเพิ่มการเชื่อมติดของอิเล็กโทรดกับตัวรับกระแส (Current Collector) ที่ความเร็ว 100 เมตรต่อนาที ขั้วแคโทด (Cathode) จะต้องมีการให้ความร้อน (pre-heating) และการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ (Induction Heating) ในการอบอ่อนโลหะ (Annealing) เพื่อเข้าสู่กระบวนการ calendering ที่ความร้อนสูง ต่างจากขั้วแอโนด (Anode) ที่สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิห้องได้

5) กระบวนการ Notching เครื่องบาก (Notching machine) จะใช้ใบมีด (Die Cutter) กรีดลงบนแผ่นฟอยล์อย่างแม่นยำโดยไม่ให้โดนบริวณที่มีการเคลือบอิเล็กโทรด แบ่งเป็นแถบ 2 แถบ ในกระบวนการนี้จะมีส่วนเหลือทิ้งที่ประมาณ 8%

6) กระบวนการ Vacuum Drying เป็นกระบวนการที่กำจัดความชื้นออกจากขั้วอิเล็กโทรด เพื่อไม่ให้มีความชื้นหลงเหลือก่อนที่จะนำไปประกอบเป็นเซลล์แบตเตอรี่ ป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาอันตรายระหว่างน้ำและอิเล็กโตรไลต์ ขั้วอิเล็กโทรดจะถูกทำให้แห้งที่อุณหภูมิสูงในเตาอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum Drying Oven) เวลที่ใช้ในการอบแห้งของขั้วแคโทด (Cathode) นั้นใช้เวลานานกว่าขั้วแอโนด (Anode) 50% เนื่องจากความหนาของการเคลือบอิเล็กโทรดที่ต่างกัน

7) กระบวนการ Electrode Slitting เป็นการตัดแผ่นฟอยล์อิเล็กโทรดตามขนาดที่ต้องการ และแยกชิ้นอิเล็กโทรดออกจากกัน เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการ Stacking

8) กระบวนการ Stacking กระบวนการจัดเรียงและซ้อนอิเล็กโทรด เพื่อเตรียมประกอบเซลล์แบตเตอรี่เข้าด้วยกัน

9) กระบวนการ Current Collector Welding การเชื่อมขั้วอิเล็กโทรดด้วยเทคโนโลยีอัลตราโซนิก (Ultrasonic Welding)

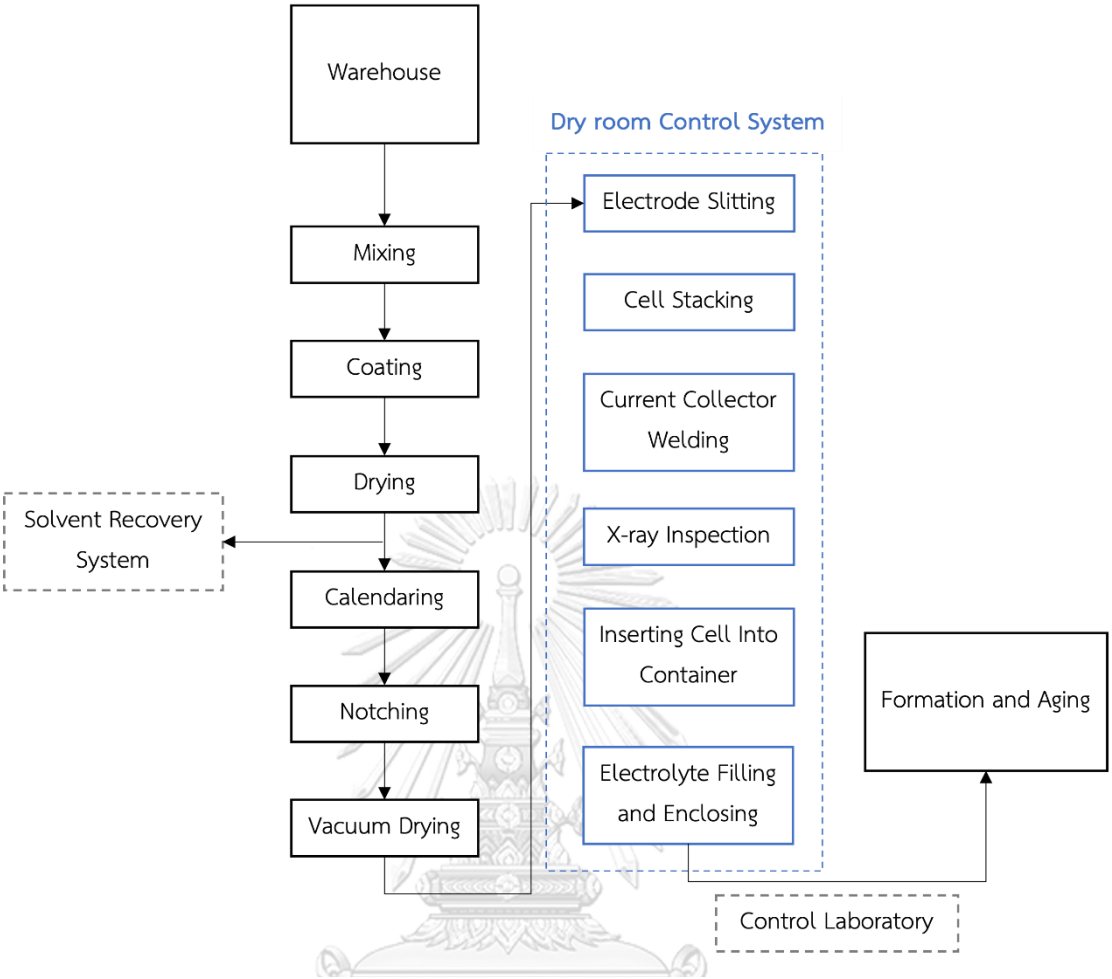
10) กระบวนการ X-ray Inspection การตรวจสอบการจัดเรียงตำแหน่งด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ เพื่อคัดแยกเซลล์แบตเตอรี่ที่มีตำหนิและการเรียงอิเล็กโทรดที่ไม่ถูกต้อง

11) กระบวนการ Inserting Cell into Container การจัดเรียงเซลล์แบตเตอรี่ลงในแพ็คเกจและพิมพ์เลขรหัสสิ้นค้าที่แพ็คเกจ

12) กระบวนการ Electrolyte Filling and Enclosing การเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์เข้าในเซลล์แบตเตอรี่ และปิดผนึกให้สนิท เนื่องจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นพิษ หากสัมผัสโดน

13) กระบวนการ Formation and Aging กระบวนการอัดประจุ (Charge) และคายประจุ (Discharge) ให้กับเซลล์แบตเตอรี่ จะดำเนอนกระบวนการนี้ซ้ำๆ ประมาณ 3 สัปดาห์ เพื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับเซลล์แบตเตอรี่ รวมทั้งเพื่อให้เซลล์แบตเตอรี่คลายแก๊ส (De-gassing) ออกจากเซลล์ และทดสอบปรสิทธิภาพทางไฟฟ้า

ระบบควบคุมความชื้น (Dry room) ตั้งแต่กระบวนการที่ 7 – 12 จะเกิดขึ้นภายในห้อง Dry room ที่มีการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ เพื่อควบคุมคุณภาพของเซลล์แบตเตอรี่

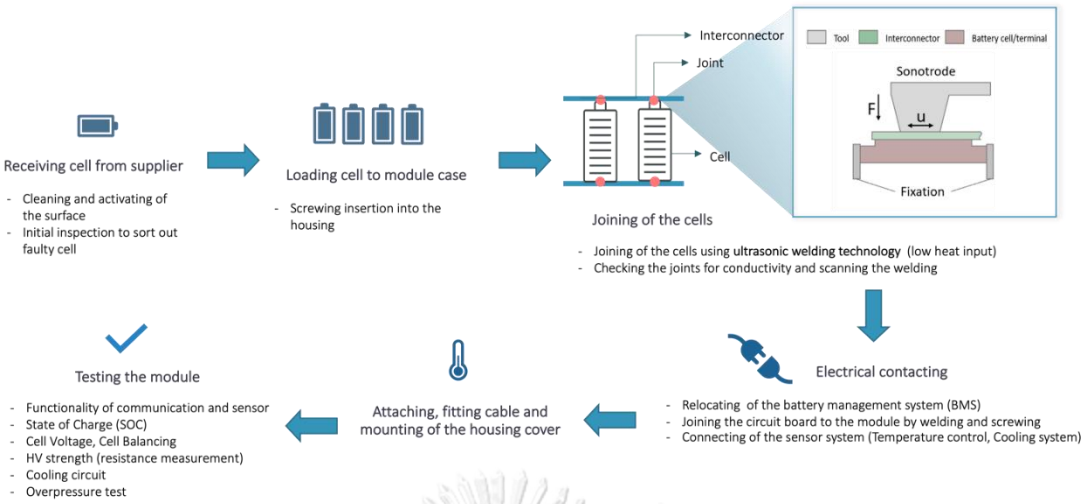


รูปที่ 14 ขั้นตอนการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ (Battery cell)

ขั้นตอนการประกอบแบตเตอรี่ โมดูล (Module)

นำเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนเข้าทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ทำความสะอาดพื้นผิว และจัดเรียงลงในโมดูลเคส (Module case) จากนั้นจะทำการเชื่อมต่อเซลล์เข้าด้วยกัน ด้วยวิธี Ultrasonic welding ที่ความถี่ 20 – 40 kHz, ความยาวคลื่น 10 – 50 μm, แรงดัน 1 – 10 MPa จากนั้นตรวจสอบค่าการนำไฟฟ้าด้วย Resistance measurements ตรวจสอบรอยเชื่อมระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ด้วยการตรวจสอบด้วยแสงอัตโนมัติ (Optical inspection)

จากนั้นติดตั้งแผงวงจรของแบตเตอรี่ (Battery Management System; BMS) และติดตั้งระบบ Contact System ซึ่งจะเป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับความผิดปกติต่างๆภายในโมดูล ทั้งกระแสไฟฟ้าภายใน และอุณหภูมิ เมื่อได้โมดูลที่ผ่านการทดสอบแล้วนำมาต่อสายเคเบิลเพื่อเตรียมพร้อมต่อการประกอบ Battery Pack (12, 13) (ดังรูปที่ 15)

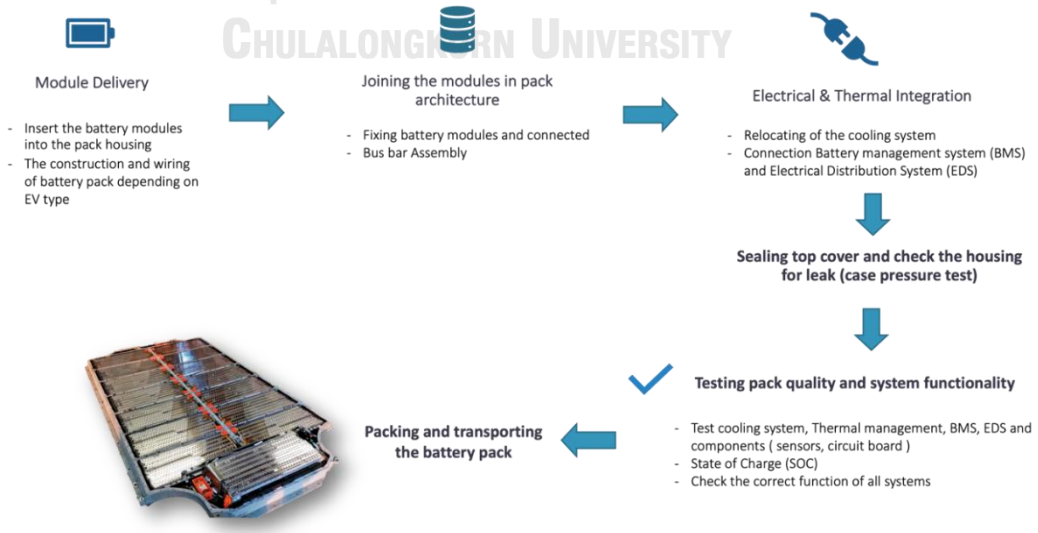


รูปที่ 15 ขั้นตอนการประกอบแบตเตอรี่โมดูล (Battery Module)

ขั้นตอนการประกอบ Battery Pack

นำแบตเตอรี่โมดูลเรียงเข้าสู่ Pack housing โดยเรียงจำนวนโมดูลตามการใช้งานในรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละประเภท เชื่อต่อโมดูลเข้าด้วยกันด้วยสายเคเบิลของแต่ละโมดูลมาต่อกัน และยึดแบตเตอรี่โมดูลด้วยสกรูเข้ากับ pack housing จากนั้นทดสอบทางไฟฟ้า นำมาติดตั้งระบบ Cooling system และปิดแบตเตอรี่แพคให้สนิท จากนั้นนำมาทดสอบคุณภาพ เช่นความสามารถในการต้านทานแรงดันเพื่อความปลอดภัย ทำการเชื่อต่อระบบแผงวงจรของแบตเตอรี่ (Battery Management System; BMS) เข้ากับคอมพิวเตอร์ และเชื่อมต่อซอฟแวร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ระบบความปลอดภัยเพื่อให้ได้ตามมาตรฐาน (12, 13) (ดังรูปที่ 16)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

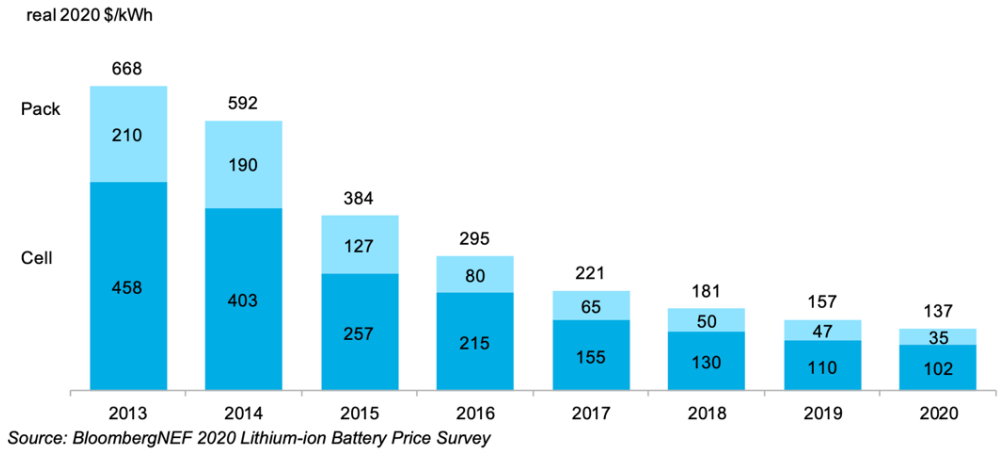


รูปที่ 16 ขั้นตอนการประกอบ Battery Pack

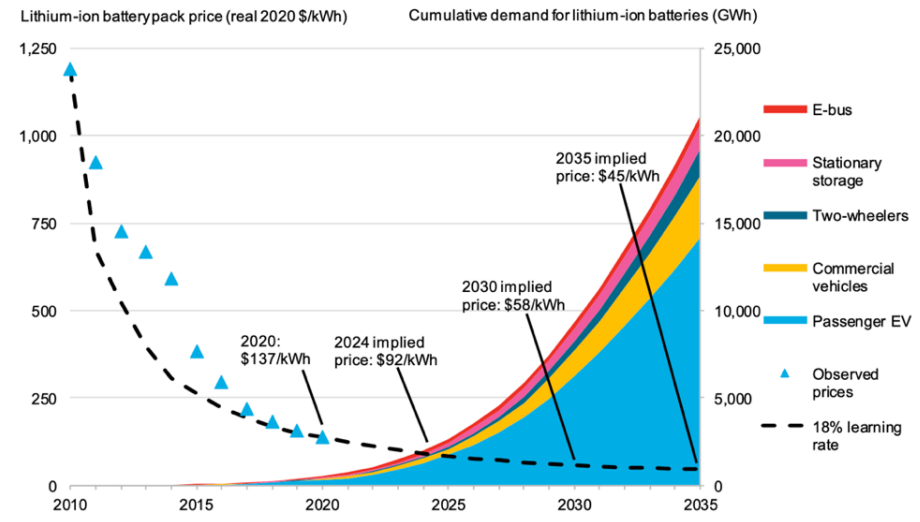
2.2. สถานการณ์ตลาดของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

ปัจจุบันความต้องการแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านมลพิษ และการรณรงค์ใช้เชื้อเพลิงสะอาด เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล ในขณะที่ราคาของแบตเตอรี่ลดลง เนื่องจากราคาของเทคโนโลยีในการผลิตที่ถูกลง ส่งผลให้ราคาของแบตเตอรี่ถูกลงตามการวิเคราะห์ของ BloombergNEF พบว่าราคาของแบตเตอรี่ตั้งแต่ปี 2556 – 2563 ลดลงอย่างมาก (ดังรูปที่ 17) คาดว่าราคาของแบตเตอรี่จะมีราคาต่ำกว่า 100 USD/kWh อาจจะอยู่ที่ประมาณ 45 USD/kWh ในปีพ.ศ.2578 (14) (ดังรูปที่ 18)

อ้างอิงจาก Lukas Mauler พบว่าราคาของแบตเตอรี่ชนิด NMC มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 145 USD/kWh และราคาของแบตเตอรี่ชนิด LMO มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 133 USD/kWh (15)



รูปที่ 17 แนวโน้มราคาของเซลล์แบตเตอรี่ และBattery Pack ตั้งแต่ปี 2556 - 2563



รูปที่ 18 การคาดการณ์ราคาของ Battery Pack และความต้องการของตลาด

2.3. Battery Performance and Cost Model, BatPaC version 5.0

Battery Performance and Cost หรือ BatPaC เป็นแบบจำลองในการสร้างโรงงานผลิตแบตเตอรี่ การออกแบบแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excel ที่พัฒนาขึ้นโดย Argonne National Laboratory ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานเทคโนโลยียานยนต์ (Vehicle Technologies Office: VTO) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสำนักงานประหยัดพลังงานและพลังงานหมุนเวียน (Energy Efficiency and Renewable Energy: EERE) ภายใต้การกำกับการกระทรวงพลังงานสหรัฐ (U.S. Department of Energy: USDOE)

ในแบบจำลอง BatPaC นี้เปิดให้ใช้สาธารณะเพื่อผู้ประกอบการ และบุคคลที่สนใจศึกษา แบบจำลอง BatPaC สามารถคำนวณต้นทุนการผลิตแบตเตอรี่ และออกแบบแบตเตอรี่ตามกำลังไฟฟ้า ความจุไฟฟ้า หรือแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles: EVs) ซึ่งสามารถใช้ได้กับรถยนต์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่ล้วน (Battey Electric Vehicle: BEV) รถยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV) และรถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle: HEV) ได้ตามต้องการ ด้วยการคำนวณในสเปรดชีต (spreadsheet) โดยการคำนวณจะอ้างอิงกับขั้นตอนในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่

การออกแบบแบตเตอรี่ของแบบจำลอง BatPaC จะออกแบบเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของผู้ใช้ ทั้งด้านประสิทธิภาพ การกำหนดค่า (Configuration) และการผลิตตามที่ผู้ใช้งานกำหนด ซึ่งจะส่งผลต่อขนาดและต้นทุนของแบตเตอรี่ (10, 16)

2.4. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน และผลตอบแทนของโครงการ

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน และผลตอบแทนของโครงการ เพื่อพิจารณาความคุ้มค่าและตัดสินใจในการลงทุนอย่างมีประสิทธิภาพว่าโครงการนั้นความคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจได้แก่

2.4.1. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาในการดำเนินการที่จะทำให้ได้ผลตอบแทนจากการลงทุนคืน มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิต่อปี}} \qquad (1)$$

เกณฑ์ระยะเวลาคืนทุนคือการที่มีผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงานหรือผลกำไรที่ได้รับในแต่ละปีรวมกันเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ ดังนั้นหากมีระยะเวลาคืนทุนได้อย่างรวดเร็ว จะเป็นผลดี เนื่องจากมีความเสี่ยงต่ำ

2.4.2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ กระแสเงินสดทั้งหมดของโครงการที่ได้รับจากการลงทุนนี้หลังจากปรับให้เป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} - C_0 \quad (2)$$

โดยกำหนดให้

NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

B_t = มูลค่าตอบแทนของโครงการ ในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายของโครงการ ในปีที่ t

C_0 = ต้นทุนของโครงการในปีแรก

i = อัตราคิดลด (Discount Rate)

t = ปีของโครงการ

n = อายุของโครงการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หลักเกณฑ์การพิจารณา คือ

NPV $<$ 0 : โครงการนั้นไม่ควรลงทุน เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนน้อยกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ

NPV $=$ 0 : โครงการนั้นมีมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ

NPV $>$ 0 : โครงการนั้นควรลงทุน เนื่องจากมีมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ

2.4.3. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน คือ อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุน ซึ่งเป็นอัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนเท่ากับมูลค่าในปัจจุบันของต้นทุน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+IRR)^t} - C_0 \qquad (3)$$

โดยกำหนดให้

IRR	=	อัตราผลตอบแทนภายใน
B_t	=	มูลค่าตอบแทนของโครงการ ในปีที่ t
C_t	=	ค่าใช้จ่ายของโครงการ ในปีที่ t
C_0	=	ต้นทุนของโครงการในปีแรก
IRR	=	อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการ (IRR)
t	=	ปีของโครงการ
n	=	อายุของโครงการ

หลักเกณฑ์การพิจารณา คือ

IRR $<$ C_0 : โครงการนั้นไม่คุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากอัตราผลตอบแทนน้อยกว่าต้นทุนโครงการ

IRR $=$ C_0 : โครงการนั้นให้ผลตอบแทนเท่ากับต้นทุนโครงการ

IRR $>$ C_0 : โครงการนั้นควรการลงทุน เนื่องจากอัตราผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนโครงการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4.4. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ คือ การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุน และผลตอบแทนของโครงการ เช่นปัจจัยค่าดำเนินงานที่เปลี่ยนแปลงไป หรือปัจจัยรายรับที่เปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์เศรษฐกิจช่วงนั้นๆ ที่ส่งผลต่อโครงการ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการจะทำให้ทราบว่า โครงการนั้นมีความอ่อนไหวต่อปัจจัยใดมากน้อยบ้าง เพื่อเตรียมแนวทางการป้องกันจากปัจจัยต่างๆ เพื่อให้โครงการดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นวิธีการวิเคราะห์ผลในอนาคตที่ดีที่สุด จากการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน ภายใต้ความไม่แน่นอนที่จะเกิดขึ้น ทำให้การลงทุนโครงการมีความเป็นจริงมากที่สุด

ในงานวิจัยฉบับนี้ ปัจจัยที่จะนำมาวิเคราะห์ความอ่อนไหว ได้แก่

- ปัจจัยต้นทุนการลงทุน ความผันแปร ± 30% โดยเพิ่มลดทีละ 10%
- ปัจจัยค่าดำเนินงาน ความผันแปร ± 30% โดยเพิ่มลดทีละ 10%
- ปัจจัยรายรับ ความผันแปร ± 30% โดยเพิ่มลดทีละ 10%

โดยเปรียบเทียบความอ่อนไหวของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC และ LMO

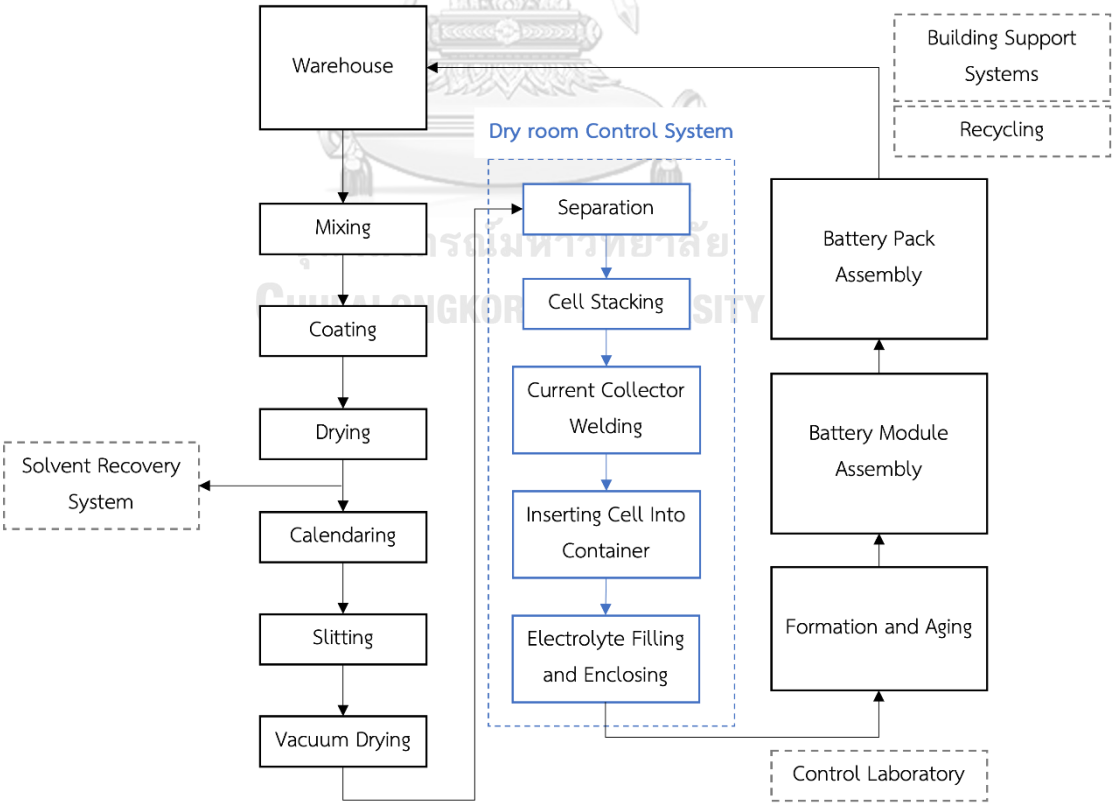
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาความคุ้มค่าในการตั้งโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ในประเทศไทย โดยขอบเขตการวิจัยพิจารณาโรงงานที่ผลิตแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) จำนวน 100,000 battery pack ต่อปี ขนาดความจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 80 kWh กำลังไฟฟ้า 100 kW ชนิดของเซลล์แบตเตอรี่ที่นำมาใช้คือ แบตเตอรี่ชนิด Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) และ Lithium Manganese Oxide (LMO) ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่เอง และโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่น

3.1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1.1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่นำมาใช้ ชนิด Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) และ Lithium Manganese Oxide (LMO) ขั้นตอนกระบวนการผลิตแบตเตอรี่ (ดังรูปที่ 19)



รูปที่ 19 แผนผังของโรงงานผลิตแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

3.1.2. คำนวณการลงทุนและค่าใช้จ่ายของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน สำหรับการผลิตแบตเตอรี่ จำนวน 100,000 battery pack ต่อปี โดยใช้แบบจำลองของ Battery Performance and Cost (BatPaC) model ของ Argonne National Laboratory โดยอ้างอิงกับอัตราการผลิตพื้นฐาน (Manufacturing rates in Baseline Plant) ของแบบจำลอง BatPaC (ดังตารางที่ 1) ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ในแต่ละขั้นตอนการผลิตการผลิตพื้นฐาน (Baseline Plant) ของแบบจำลอง BatPaC (ดังตารางที่ 3) และรายการค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของโรงงานแบตเตอรี่ (ดังตารางที่ 4)

ตารางที่ 1 อัตราการผลิตพื้นฐานของแบบจำลอง BatPaC

Rate	**Unit**	**Amount**
Operational days	days/yr	320
Total pack energy	kWh/yr	50,000,000
Number of packs	packs/yr	500,000
Number of row racks	racks/yr	2,000,000
Number of modules	modules/yr	10,000,000
Number of cell interconnects	interconnects/yr	270,000,000
Number of accepted cells	accepted cells/yr	200,000,000
Total number of cells (adjusted for yield)	total cells/yr	211,000,000
Positive electrode area	m^2/yr	303,000,000
Negative electrode area	m^2/yr	315,000,000
Positive active material	kg/yr	72,500,000
Negative active material	kg/yr	49,100,000
Positive binder solvent evaporated	kg/yr	24,200,000
Negative binder solvent evaporated	kg/yr	40,100,000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเครื่องจักร และพื้นที่ในกระบวนการผลิตของโรงงาน แบบจำลอง BatPaC จะคำนวณโดยอ้างอิงกับอัตราการผลิตพื้นฐาน (Baseline Plant) ของแบบจำลอง และ ค่าสัมประสิทธิ์ (p – factors) ที่ใช้ในการคำนวณตามการเปลี่ยนแปลงไปของเครื่องจักรในการผลิต และพื้นที่ในแต่ละขั้นตอนการผลิต แบบจำลอง BatPaC ใช้การประมาณค่าใช้จ่ายในการลงทุนเครื่องจักรและพื้นที่การผลิต ดังสมการที่ (4)

$$C = C_0 \left(\frac{R}{R_0}\right)^p \qquad (4)$$

โดยกำหนดให้

C = มูลค่า (ต้นทุน หรือพื้นที่) ที่ต้องการของโรงงาน

C_0 = มูลค่า (ต้นทุน หรือพื้นที่) ที่ทราบจากอัตราการผลิตพื้นฐานของแบบจำลอง

R = อัตราการผลิตของโรงงาน

R_0 = อัตราการผลิตพื้นฐานของแบบจำลอง

p = ค่าสัมประสิทธิ์ power factor

เพื่อให้เป็นไปตามอัตราการผลิตของโรงงานที่ต้องการศึกษา ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ (*p* – factors) ปรับต้นทุนตามขนาดกำลังการผลิต หรืออัตราการผลิตพื้นฐานของโรงงานเปลี่ยนไป ในแต่ละขั้นตอนการผลิต (ดังตารางที่ 2) และค่าใช้จ่ายในการลงทุน ในแต่ละขั้นตอนการผลิตตามการผลิตพื้นฐาน (Baseline Plant) ของแบบจำลอง BatPaC (ดังตารางที่ 3) เพื่อใช้เป็นมูลค่าที่ทราบในการคำนวณเพื่อประมาณค่าใช้จ่ายสำหรับโรงงานแบตเตอรี่ที่ต้องการศึกษา

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ (p – factors) ในการปรับต้นทุนของแบบจำลอง BatPaC

Process Step(s)	Pertinent Rate(s)	Capital Equipment ($M)	Plant Area (m^2)
Electrode processing/mixing	active material/yr	0.90	0.95
Electrode coating	electrode m^2/yr solvent kg/m^2/yr	0.90 0.20	0.95 -
Calendering, notching, & vacuum drying	electrode m^2/yr	0.90	0.95
Electrode slitting	total m^2/yr	0.90	0.90
Cell stacking	cells/yr cell capacity	0.90 0.95	0.90 -
Cell stacking, current collector welding, x-ray inspection, inserting cell in container, electrolyte filling & cell sealing	cells/yr	0.90	0.90
Dry room	total m^2/yr or cells/yr	0.90	0.90
Formation cycling, testing, and sealing	cells/yr cell capacity	0.95 0.30	0.95 0.30
Module assembly	modules/yr	0.95	0.95
Pack assembly and testing	packs/yr modules per pack	0.95 0.30	0.95 -
Warehouse	total pack energy/yr	0.95	0.95
Building	total pack energy/yr	0.95	-
Solvent recovery	NMP solvent/yr	0.95	0.95
Rejected cell and scrap recycle	cells/yr	0.90	0.95
Control laboratory	total pack energy/yr	0.95	0.95

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ (*p*-factors) นั้นบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของขนาดการผลิต นั้นหมายถึงการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต หรือพื้นที่ที่ใช้ในขั้นตอนกระบวนการผลิต

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและพื้นที่การใช้งาน ในแต่ละขั้นตอนการผลิตของแบบจำลองBatPaC

Process	Capital Equipment ($M)*	Plant Area (m^2)
Materials preparation/mixing		
Positive	200	8,000
Negative	280	8,800
Electrode coating		
Positive	90	16,000
Negative	78	16,000
Calendaring		
Positive	25	2,100
Negative	25	2,100
Notching		
Positive	29	3,200
Negative	29	3,200
Electrode vacuum drying		
Positive	14	2,000
Negative	11	1,600
Cell assembly in dry room		
Electrode slitting†	30	-
Cell stacking	170	-
Current collector welding	190	-
X-ray inspection	14	-
Inserting cell in container	11	-
Electrolyte filling & cell sealing	25	-
Dry room	7.3	61,000
Formation cycling, testing, and sealing	830	110,000
Module assembly	94	27,000
Pack assembly and testing	94	27,000
Warehouse	200	10,000
Building and supporting systems		
Building	1,700	-
Solvent recovery	36	1,100
Rejected cell and scrap recycle	9.3	3,300
Control laboratory	16	1,300
Total	4,222	305,700

†both electrodes

*cost includes installation

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (Capital Expenditure : CAPEX) โดยแบบจำลอง BatPaC ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายเครื่องจักรในการผลิต จะรวมถึงค่าเครื่องจักร ค่าขนส่ง และค่าดำเนินการติดตั้งเครื่องจักร การประมาณค่าใช้จ่ายจะประเมินตามขั้นตอนการผลิต ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตต่อปีและกำลังการผลิตแบตเตอรี่ของโรงงานนั้น ค่าใช้จ่ายอาคารและพื้นที่ โดยค่าอาคารและพื้นที่ นั้นรวมถึงค่าก่อสร้างและค่าสาธารณูปโภคด้วย ค่าอาคารและพื้นที่คิดเป็น 5,000 USD/m^2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนแผนการตลาด ประกอบด้วย Plant start-up การอบรมพนักงาน และค่าเผื่อความสูญเสีย จะคิดเป็น 5% ของต้นทุนวัตถุดิบต่อปี และ 10% ของค่าจ้างแรงงาน ในส่วนของเงินทุนหมุนเวียน ประกอบด้วยเงินสดสำหรับการจัดซื้อจัดจ้าง สินค้าคงคลัง วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ คิดเป็น 15% ของค่าใช้จ่ายผันแปรต่อปี

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (Operation Expenditure : OPEX) ประกอบด้วยค่าจ้างแรงงาน ซึ่งคิดตามโครงสร้างเงินเดือนของบริษัทในประเทศไทย ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักร ค่าใช้จ่ายผันแปร ค่าใช้จ่ายในการขาย และบริหาร นี้จะประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายสำหรับสำนักงาน ภาษีเงินได้ และหนี้สิน ในส่วนสุดท้ายคือค่าเสื่อมราคาของอาคารและเครื่องจักรในการผลิต (ดังตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 รายการค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของโครงการ

รายการ	จำนวน
ค่าจ้างแรงงาน	โครงสร้างเงินเดือนของบริษัทในประเทศไทย
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักร	3% ของรายได้
ค่าใช้จ่ายผันแปร	60% ของค่าจ้างแรงงาน
ค่าใช้จ่ายในการขาย และบริหาร	3% ของรายได้
ค่าเสื่อมราคา	5% ของเงินลงทุน

*Escalation rate = 5%

**อ้างอิงจากสถิติค่าตอบแทนบริษัทไทย ปี 2560 (ก่อนการเกิดการระบาดของโควิด-19)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.3. วิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC และชนิด LMO ด้วยแบบจำลอง BatPaC ซึ่งปริมาณวัตถุดิบที่ใช้และอุปกรณ์ภายในแบตเตอรี่จะปรับตามผลผลิตของวัตถุดิบและแบตเตอรี่ในขั้นตอนการผลิตของโรงงานที่ต้องการศึกษา (ดังตารางที่ 5) และราคาของวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตเซลล์แบตเตอรี่ (ดังตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ผลผลิตของวัตถุดิบและแบตเตอรี่ในขั้นตอนการผลิต

Material	Material Mixing	Coating	Electrode Slitting	Cell Stacking	Electrolyte Filling	Total
Positive Electrode	99	95	99	99		92.2
Negative Electrode	99	95	99	99		92.2
Positive Current Coll.		95	92	99		86.5
Negative Current Coll.		95	92	99		86.5
Separator				98		98.0
Electrolyte					99	99.0
NMP solvent recovery						99.5

ตารางที่ 5 ราคาอ้างอิงของต้นทุนวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตเซลล์แบตเตอรี่

Material	Chemistry	Abbreviation	Unit	Cost
Positive Electrode			$/kg	
Manganese spinel	$Li_{1.06}Mn_{1.94-x}M'_xO_4$	LMO		9.00
Phospholivine	$LiFePO_4$	LFP		10.00
Layered oxide	$LiNi_{0.80}Co_{0.15}Al_{0.05}O_2$	NCA		26.00
	$LiNi_{1/3}Mn_{1/3}Co_{1/3}O_2$	NMC333		25.50
	$LiNi_{0.5}Mn_{0.3}Co_{0.2}O_2$	NMC532		24.00
	$LiNi_{0.6}Mn_{0.2}Co_{0.2}O_2$	NMC622		25.00
	$LiNi_{0.8}Mn_{0.1}Co_{0.1}O_2$	NMC811		26.00
Negative Electrode			$/kg	
Coated-natural graphite	C_6	G		10.00
Lithium titanate spinel	$Li_4Ti_5O_{12}$	LTO		15.00
Electrolyte	1.2 M $LiPF_6$ in EC:EMC		$/L	10.00
Separator	PP/PE/PP		$/m^2	0.90
Current collector foil			$/m^2	
Positive	Aluminum			1.20
Negative	Copper (Al for LTO)			0.20
Binders			$/kg	
Positive	PVDF			15.00
Negative	Generic aqueous			10.00
Conductive additive	Carbon black		$/kg	7.00
Slurry Solvents			$/kg	
Positive	*N*-Methyl-2-pyrrolidone	NMP		2.70
Negative	Water			0.00

3.1.4. เปรียบต้นทุนต่อหน่วยของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC และชนิด LMO ต่อความสามารถในการกักเก็บไฟฟ้าของแบตเตอรี่ และระยะทางของรถยนต์ไฟฟ้าในการขับขี่

3.1.5. คำนวณปริมาณการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิต โดยแบ่งเป็นวัสดุจาก Battery pack ที่หมดอายุการใช้งาน จากเซลล์แบตเตอรี่ที่ไม่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพ และเศษวัสดุจากกระบวนการผลิต เช่น เศษของแผ่นฟอยล์จากกระบวนการ Electrode Slitting เป็นต้น การคำนวณวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่จาก Battery pack ที่หมดอายุการใช้งาน (g/cell หรือ

kg/pack) ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบของอิเล็กโทรด และอิเล็กโทรไลต์ (Elemental Analysis of Electrodes and Electrolyte) โดยการปรับสมดุลมวล (Mass Balance) ขององค์ประกอบอิเล็กโทรด เช่น ลิเธียม นิกเกิล แมงกานีส คาร์บอน เป็นต้น นอกจากนี้จะวิเคราะห์องค์ประกอบของส่วนประกอบอื่น (Elemental Analysis of Additional Components) ภายในแบตเตอรี่ด้วย ซึ่งจะวิเคราะห์องค์ประกอบในส่วนของ Current collectors, Terminals, Thermal conductors, Interconnects, Tus bars และ Pack jackets ในส่วนนี้จะไม่รวมแผ่นฟอยล์อิเล็กโทรด เนื่องจากยากต่อการคัดแยก จึงไม่คุ้มค่าต่อการนำมาใช้

การคำนวณวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่จากกระบวนการผลิต (kg/year) จะวิเคราะห์จากเศษวัสดุจากขั้นตอนกระบวนการผลิต จะทำการแยกองค์ประกอบออกเช่นเดียวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบของอิเล็กโทรด และอิเล็กโทรไลต์ (Elemental Analysis of Electrodes and Electrolyte) และวิเคราะห์องค์ประกอบของส่วนประกอบอื่น (Elemental Analysis of Additional Components)

3.1.6. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการด้วยแบบจำลองกระแสเงินสดคิดลด โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return; IRR) ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period) และวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาความคุ้มค่าในการตั้งโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ในประเทศไทย โดยพิจารณาโรงงานที่ผลิตแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) จำนวน 100,000 battery pack ต่อปี ขนาดความจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ 80 kWh กำลังไฟฟ้า 100 kW ชนิดของเซลล์แบตเตอรี่ที่นำมาใช้คือ แบตเตอรี่ชนิด Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) และ Lithium Manganese Oxide (LMO) ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่เอง และโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่น ผ่านแบบจำลอง Battery Performance and Cost (BatPaC) นำผลจากแบบจำลอง BatPaC มาวิเคราะห์เปรียบเทียบในด้านของราคาต้นทุน สัดส่วนของต้นทุน และการพิจารณาความคุ้มค่าทางการเงินของโรงงานแบตเตอรี่

จากการคำนวณการลงทุนและค่าใช้จ่ายของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน โดยแบบจำลอง BatPaC ของ Argonne National Laboratory โดยอัตราการผลิตแบตเตอรี่ต่อปีของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (ดังตารางที่ 7) รายการค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโรงงานแบตเตอรี่ (ดังตารางที่ 8) และรายการค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของโรงงานแบตเตอรี่ (ดังตารางที่ 9)

ตารางที่ 7 อัตราการผลิตแบตเตอรี่ต่อปีของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

รายการ	จำนวน
อัตราการผลิตพื้นฐานของโครงการ	100,000 แพ็คต่อปี
ขนาดการผลิตของโครงการ	10 GWh
อายุของโครงการ	10 ปี
จำนวนวันในการผลิตต่อปี	333 วัน
ชั่วโมงในการผลิตต่อปี	8,000 ชั่วโมง
จำนวนเซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้ในการผลิตต่อปี	40,000,000 เซลล์
จำนวนเซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้ตาม cell yield (95%) ต่อปี	42,105,2630 เซลล์
ปริมาณ Positive electrode active material ต่อปี	7,945,510 กิโลกรัม
ปริมาณ Negative electrode active material ต่อปี	3,886,302 กิโลกรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8 การประมาณต้นทุนของโรงงานประกอบแบตเตอรี่จากแบบจำลอง BatPaC

ขั้นตอนการผลิต	ค่าเครื่องจักรในการผลิต (MMUSD)	พื้นที่ในการผลิต (m^2)
Materials preparation/ Mixing	183.4	3,970
Electrode coating	81.7	18,122
Calendaring	35	2,379
Notching	33.8	3,624
Vacuum Drying	14.6	2,039
Cell assembly in dry room		
Electrode Slitting	17.5	-
Cell stacking	65.2	-
Current Collector Welding	64.2	-
X-ray inspection	3.2	-
Inserting Cell into Container	2.5	-
Electrolyte Filling and Enclosing	5.6	-
Dry room Control System	4.4	35,946
Formation and Aging	654	24,762
Battery Module Assembly	19.6	5,624
Battery Pack Assembly	19.6	5,624
Warehouse	71.4	2,379
Building and Support System		
Building Support	757.5	-
Solvent Recovery System	12.8	260
Rejected Cell and Scrap Recycle	2.2	714
Control Laboratory	5.9	322
Total	2,048	105,765

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การคำนวณต้นทุนการลงทุนและค่าใช้จ่ายของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน โดยแบบจำลอง BatPaC สำหรับโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ค่าเครื่องจักรในการผลิตนั้นจะต้องรวมค่าขนส่ง และค่าดำเนินการติดตั้งเพิ่มเติมจากการคำนวณของแบบจำลองด้วย ซึ่งค่าขนส่งเครื่องจักรจะขึ้นอยู่กับอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน และอัตราค่าระวางเรือในการขนส่งของช่วงเวลานั้น รวมถึงค่าประกันภัยและค่าใช้จ่ายอื่นๆในการขนส่ง ในส่วนของอาคารและพื้นที่ สำหรับโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์ใช้เอง ใช้พื้นที่ทั้งหมด 105,765 ตารางเมตร และโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่นจะใช้พื้นที่ทั้งหมด 12,834 ตารางเมตร โดยต้นทุนอาคารและพื้นที่นั้นรวมค่าก่อสร้างด้วยคิดเป็น 5,000 USD/m^2

ตารางที่ 9 รายการค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการ

รายการ	โรงงานที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่น (จำนวน)	โรงงานที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่เอง (จำนวน)
ค่าเครื่องจักรในการผลิต	999.74 MMUSD	2563.09 MMUSD
ค่าอาคารและพื้นที่	65.40 MMUSD	522.34 MMUSD
แผนการตลาด	107.23 MMUSD	88.94 MMUSD
เงินทุนหมุนเวียน	319.95 MMUSD	249.98 MMUSD
รวม	1,492.32 MMUSD	3,424.35 MMUSD

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ภายในเซลล์แบตเตอรี่ เพื่อนำมาประกอบเป็นเซลล์แบตเตอรี่ จากแบบจำลอง BatPaC คำนวณปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ โดยมี Cell yield 95% ตามการออกแบบของแบตเตอรี่ขนาดความจุไฟฟ้า 80 kWh กำลังไฟฟ้า 100 kW ชนิดของเซลล์แบตเตอรี่ที่นำมาใช้คือ แบตเตอรี่ชนิด Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) และ Lithium Manganese Oxide (LMO) (ดังตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ปริมาณของส่วนประกอบวัตถุดิบตั้งต้นเซลล์แบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO

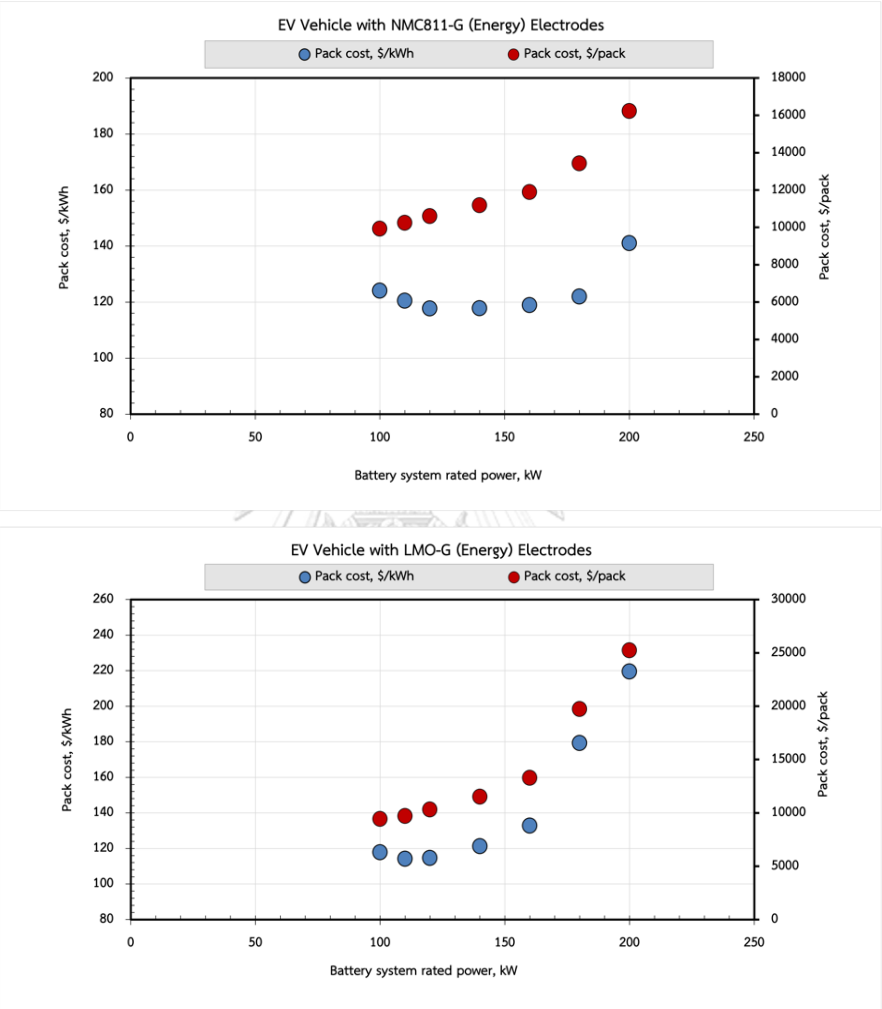
		NMC	LMO
Positive Electrode	Positive electrode active material, g/cell	291.5	489.6
	Positive electrode carbon additive, g/cell	6.1	10.2
	Positive electrode binder, g/cell	6.1	10.2
	Positive electrode binder solvent (NMP), g/cell	97.2	163.2
	Total for positive electrode (dry), g/cell	303.6	510.0
		NMC	**LMO**
Negative Electrode	Negative electrode active material, g/cell	198.6	184.0
	Negative electrode carbon additive, g/cell	0.0	0.0
	Negative electrode binder, g/cell	4.1	3.8
	Negative electrode binder solvent (Water), g/cell	162.2	150.2
	Total for negative electrode (dry), g/cell	202.7	187.8

4.1. การวิเคราะห์ราคาของ Battery Pack ผ่านแบบจำลอง BatPaC

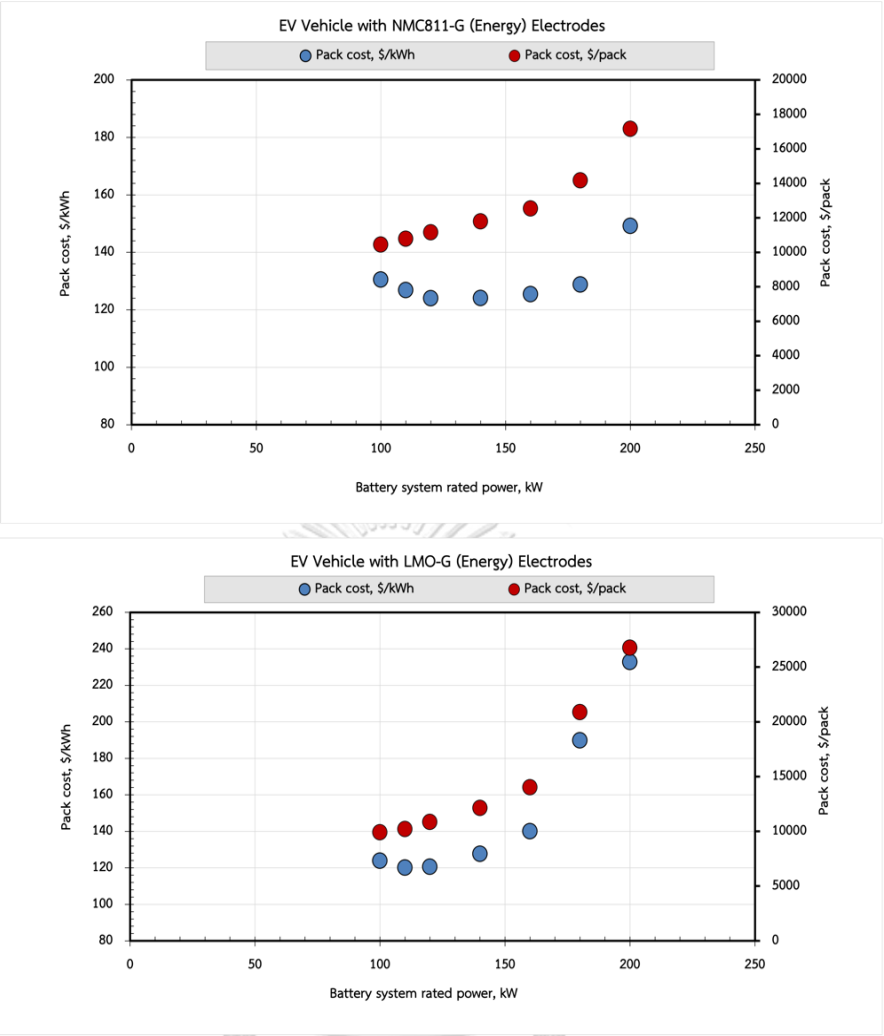
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการผลของการวิเคราะห์ผ่านแบบจำลอง Battery Performance and Cost (BatPaC) ระหว่างโรงงานแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง กับโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น ในแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO พบว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง และโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น ราคาต้นทุนของ Battery pack ทั้งสองชนิดนั้นเพิ่มสูงขึ้น เมื่อกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ต้องการเพิ่มขึ้นอย่างสอดคล้องกันตามแนวโน้ม เมื่อพิจารณาที่แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน กำลังไฟฟ้า 100 kW ซึ่งเป็นขนาดของ Battery pack ที่ต้องการผลิต พบว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง มีราคาต้นทุนแบตเตอรี่ชนิด NMC 124$/kWh และราคาต้นทุนแบตเตอรี่ชนิด LMO 118$/kWh (ดังรูปที่ 20) ในขณะที่โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น ราคาต้นทุนของแบตเตอรี่ชนิด NMC 131 $/kWh และราคาต้นทุนแบตเตอรี่ชนิด LMO 124 $/kWh (ดังรูปที่ 21)

จากการวิเคราะห์ผ่านแบบจำลอง BatPaC ราคาของ Battery pack นั้นจะเพิ่มขึ้น ตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น นั้นเป็นผลมาจากปริมาณของวัตถุดิบ และอุปกรณ์ภายใน Battery pack ที่ใช้เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้ได้ตามที่ต้องการ จำเป็นที่จะต้องเพิ่มปริมาณสัดส่วนวัตถุดิบ และอุปกรณ์ภายใน Battery pack เพื่อที่จะรองรับกำลังไฟฟ้า และการกักเก็บประจุไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 20 ราคาต้นทุนของแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO ของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง



รูปที่ 21 ราคาต้นทุนของแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO ของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น

4.2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของแบตเตอรี่

จากการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของแบตเตอรี่อ้างอิงจากขั้นตอนกระบวนการผลิตแบตเตอรี่โดยใช้แบบจำลอง BatPaC เปรียบเทียบระหว่างโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง กับโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น ชนิด NMC และ LMO พบว่าทั้งโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง และโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น สัดส่วนราคาต้นทุนต่อหน่วยของแบตเตอรี่ที่ผลิตได้มีราคาวัตถุดิบ เป็นสัดส่วนที่มีผลต่อต้นทุนมากที่สุดของ Battery Pack คือ ราคาวัตถุดิบ ประกอบด้วย Positive active

material, Negative active material, Carbon additive, Binder, Solvent, Positive current collector, Negative current collector, Separators, Electrolyte และ สัดส่วนที่มีผลต่อต้นทุนรองลงมาคือ อุปกรณ์ภายในแบตเตอรี่ ซึ่งจะแบ่งเป็นอุปกรณ์ภายในเซลล์แบตเตอรี่ ประกอบด้วย Positive terminals, Negative terminals

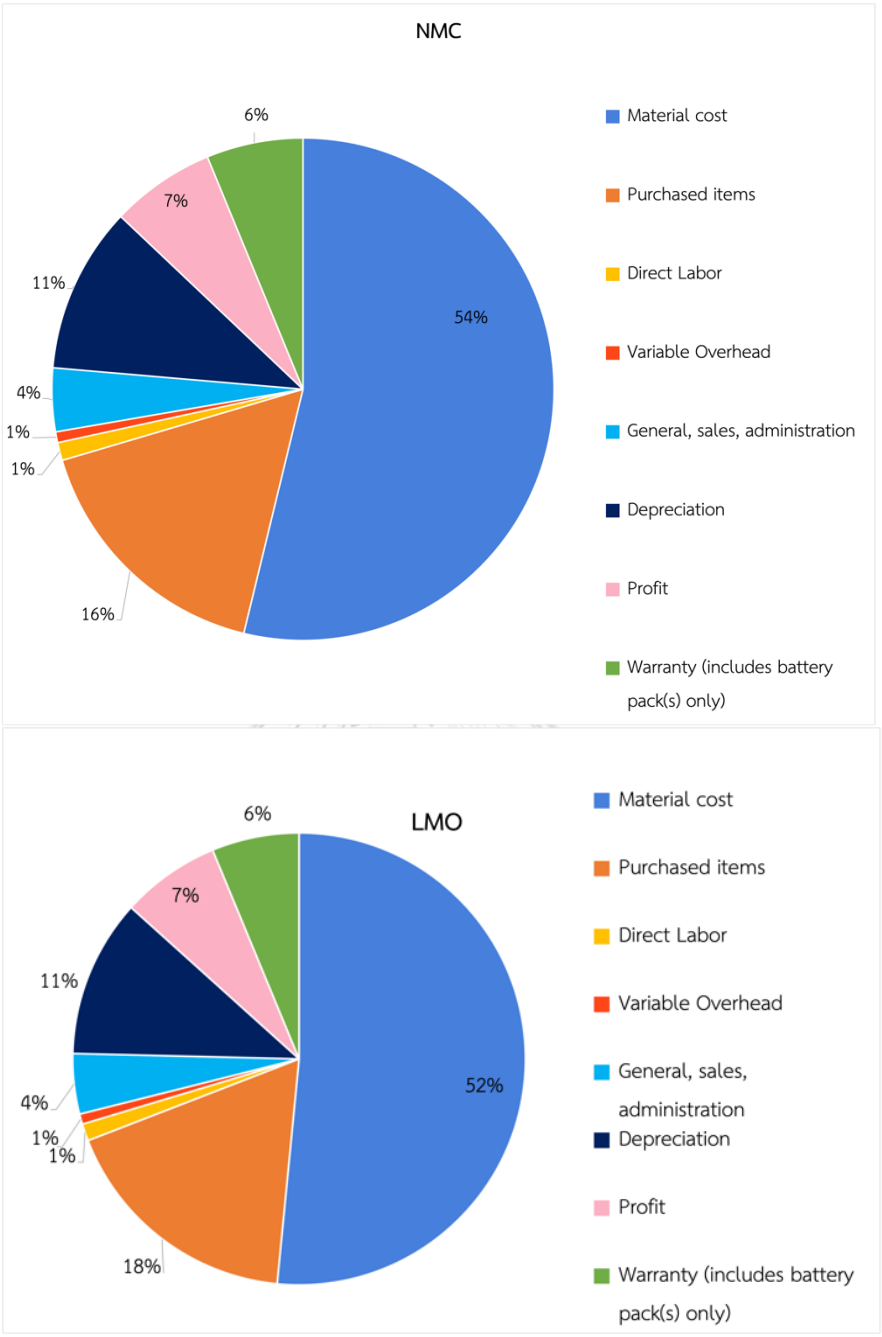
อุปกรณ์ภายในแบตเตอรี่โมดูล ประกอบด้วย Aluminum thermal conductor, Module management system, Cell interconnect, Interconnect panel, Module terminals, Module enclosure, Provision for gas release

อุปกรณ์ภายใน Battery pack ประกอบด้วย Row rack materials, Elastomer pads between modules, Module Interconnects and signal wiring, Bus bar for battery packs, Cooling panels, Coolant manifolds, Pack terminals and seals, Pack jacket steel, Pack jacket aluminum, Pack jacket insulation, Baseline thermal system, Heating system (ดังรูปที่ 22) และ (ดังรูปที่ 23)

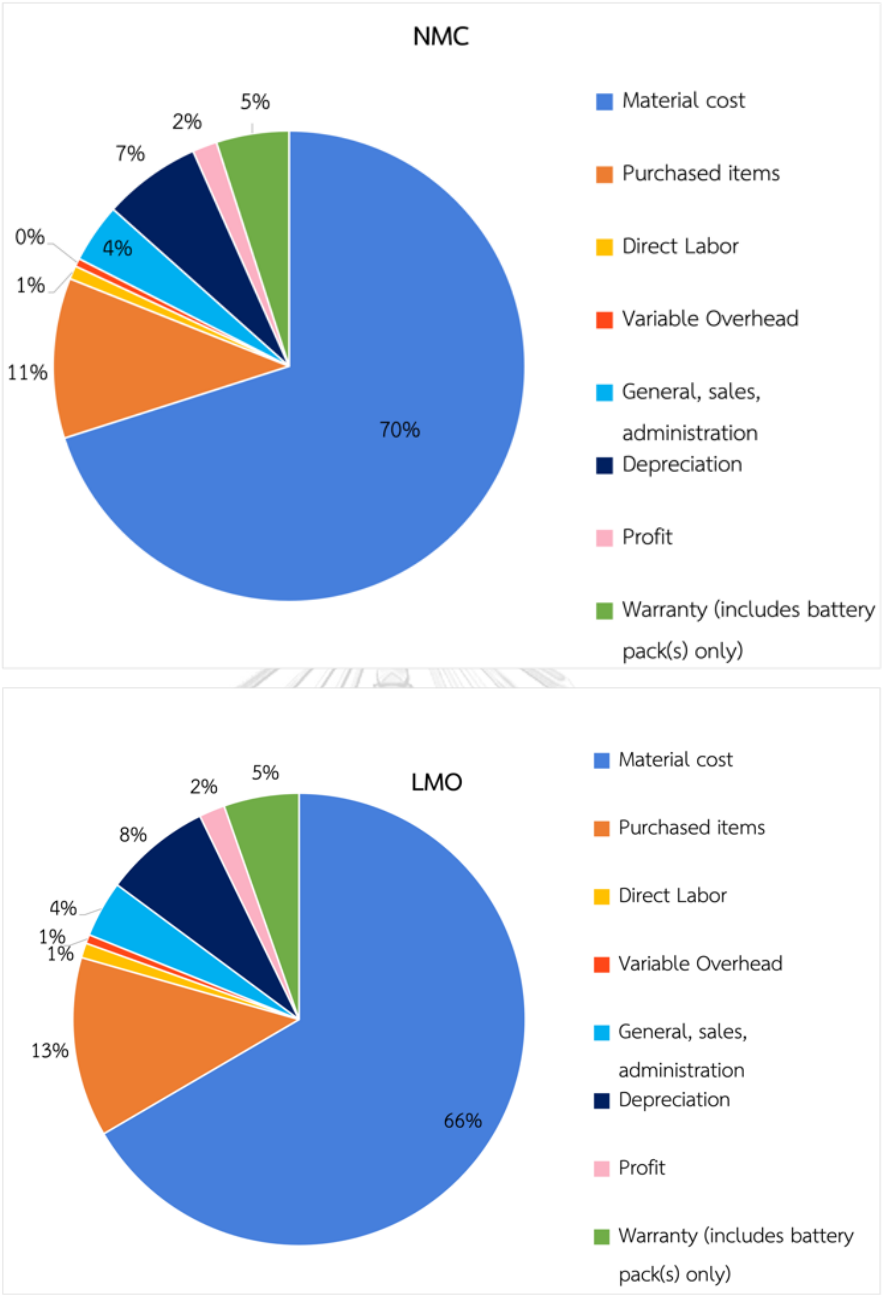
โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เองราคาของวัตถุดิบจะประกอบด้วย Positive active material, Negative active material, สารยึดเกาะ (Binder), สารตัวทำละลาย (Binder Solvent), ตัวรับกระแส (Current Collector) เป็นต้น ในขณะที่โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น ราคาของวัตถุดิบจะเป็นราคาซื้อขายของเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่นเท่านั้น

โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง Battery pack ชนิด NMC มีราคาต้นทุนต่อหน่วย 8,904.43 USD/battery pack และชนิด LMO มีราคาต้นทุนต่อหน่วย 8,433.6 USD/Battery Pack ส่วนโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น Battery pack ชนิด NMC มีต้นทุนต่อหน่วย 11,439 USD/Battery pack และ LMO มีต้นทุนต่อหน่วย 10,566 USD/Battery pack (ดังรูปที่ 24)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



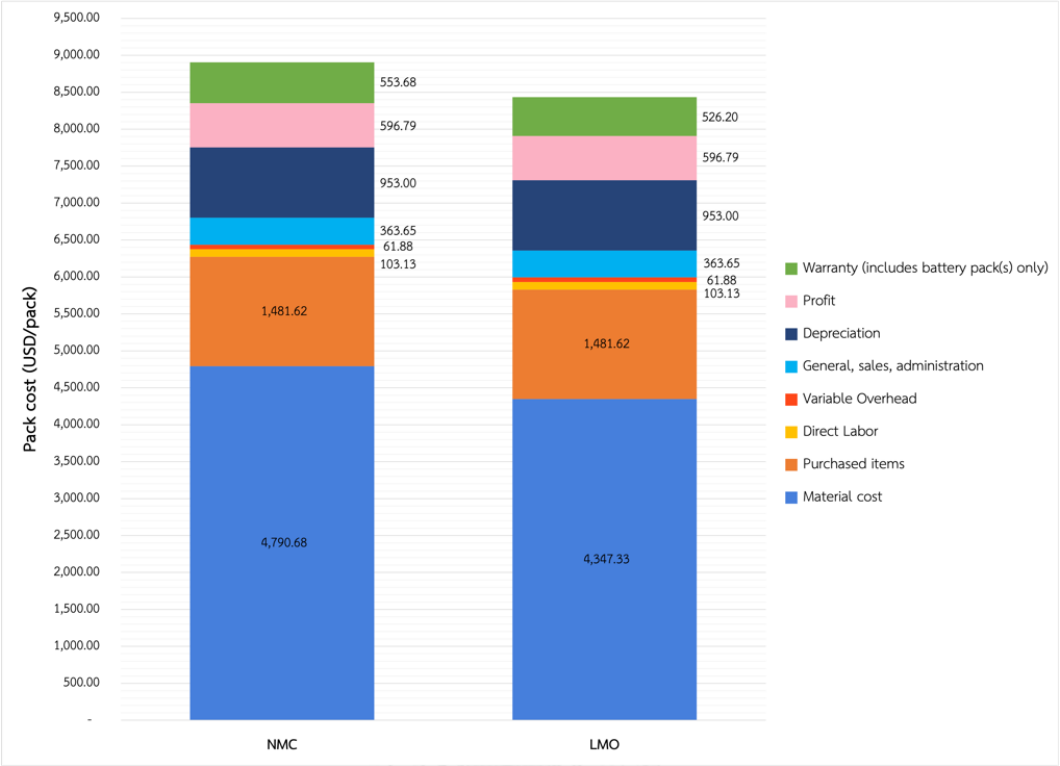
รูปที่ 22 สัดส่วนต้นทุนต่อหน่วยของ battery pack ชนิด NMC และ LMO ของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง



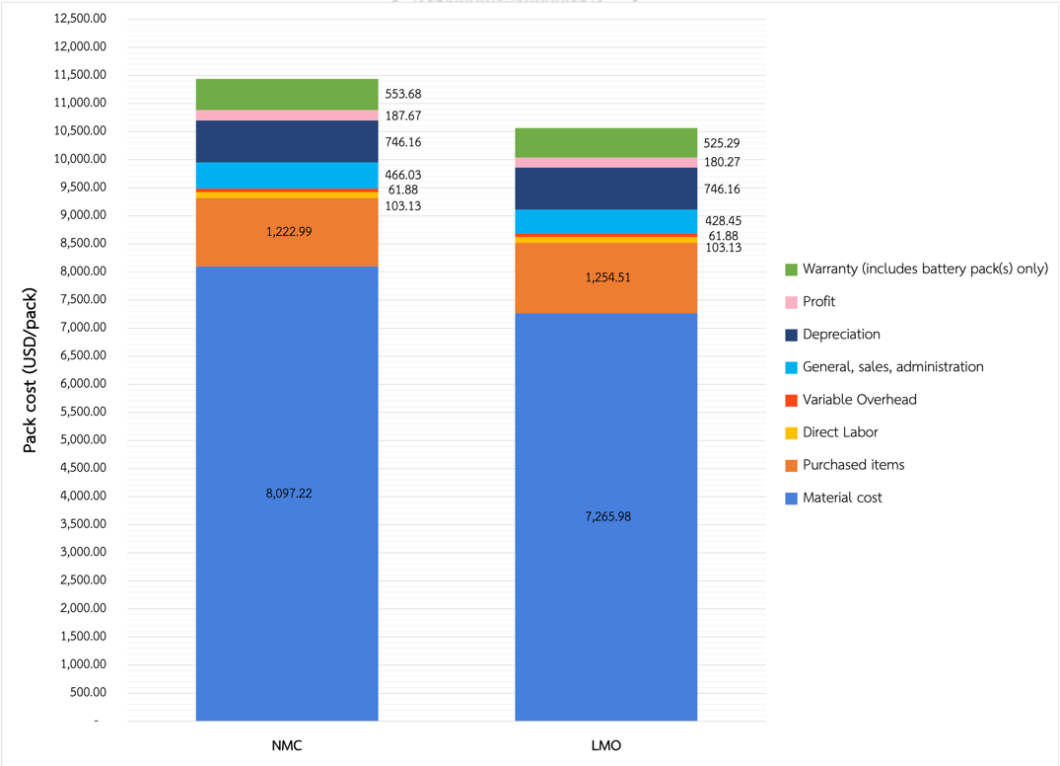
รูปที่ 23 สัดส่วนต้นทุนต่อหน่วยของ battery pack ชนิด NMC และ LMOของ

โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น

1) โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง

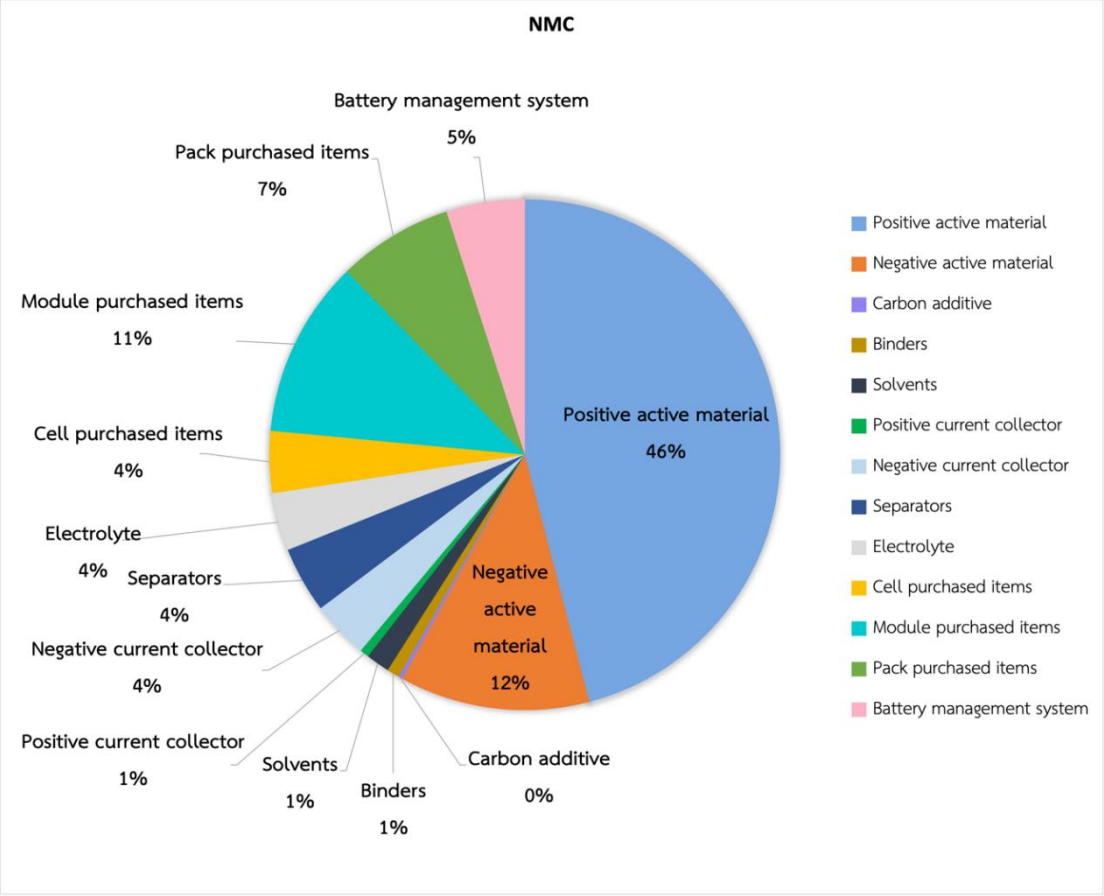


2) โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิต

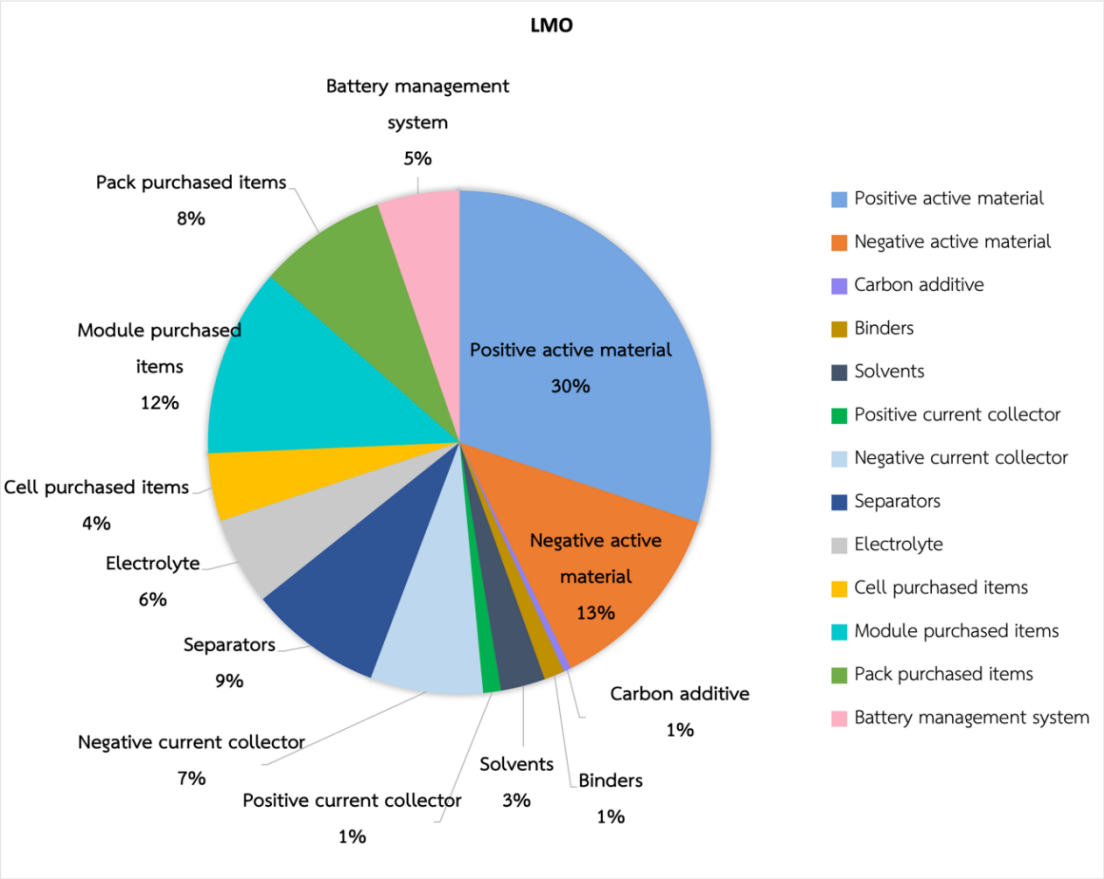


รูปที่ 24 ต้นทุนต่อหน่วยของแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO

จากรูปที่ 22 และ23 จะพบว่าราคาของวัตถุดิบนั้นเป็นส่วนที่มีผลต่อต้นทุนของแบตเตอรี่มากที่สุด เมื่อทำการศึกษาราคาของวัตถุดิบ โดยแยกสัดส่วนของราคาวัตถุดิบออกมา จะพบว่าสัดส่วนที่เป็น Positive active material นั้นเป็นส่วนที่มีมากที่สุด ทั้งในแบตเตอรี่ชนิด NMC และชนิด LMO (ดังรูปที่ 25 และ 26) เนื่องจาก Positive active material นั้นเป็นส่วนที่แสดงถึงความสามารถในการกักเก็บไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และบ่งบอกถึงชนิดของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน อย่างในการศึกษาครั้งนี้ เซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้นำมาประกอบเป็น Battery pack คือชนิด NMC และชนิด LMO ซึ่งปริมาณของ Positive active material ที่ใช้คือ 291.5 g/cell และ 489.6 g/cell ตามลำดับ ปริมาณของ Positive active material ของแบตเตอรี่ชนิด LMO ที่มีปริมาณมากกว่านั้นเนื่องจากความสามารถในการกักเก็บประจุที่น้อยกว่าแบตเตอรี่ชนิด NMC เพื่อให้แบตเตอรี่ที่ผลิตได้มีความจุไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้านั้นเท่ากันกับแบตเตอรี่ชนิด NMC ตามการออกแบบของแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่ชนิด LMO จำเป็นต้องมีการใช้ Positive active material ปริมาณที่มากกว่า



รูปที่ 25 สัดส่วนต้นทุนวัตถุดิบของ Battery pack ชนิด NMC



รูปที่ 26 สัดส่วนต้นทุนวัตถุดิบของ Battery pack ชนิด LMO

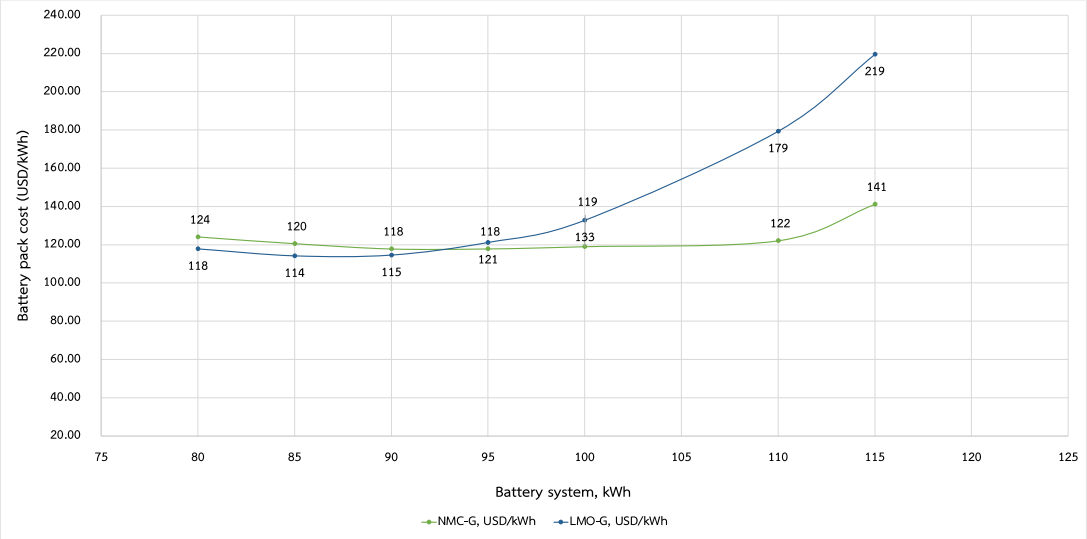
4.3. การเปรียบเทียบราคาของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC และ LMO ต่อความสามารถในการกักเก็บไฟฟ้าของแบตเตอรี่ และระยะทางของรถยนต์ไฟฟ้าในการขับขี่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

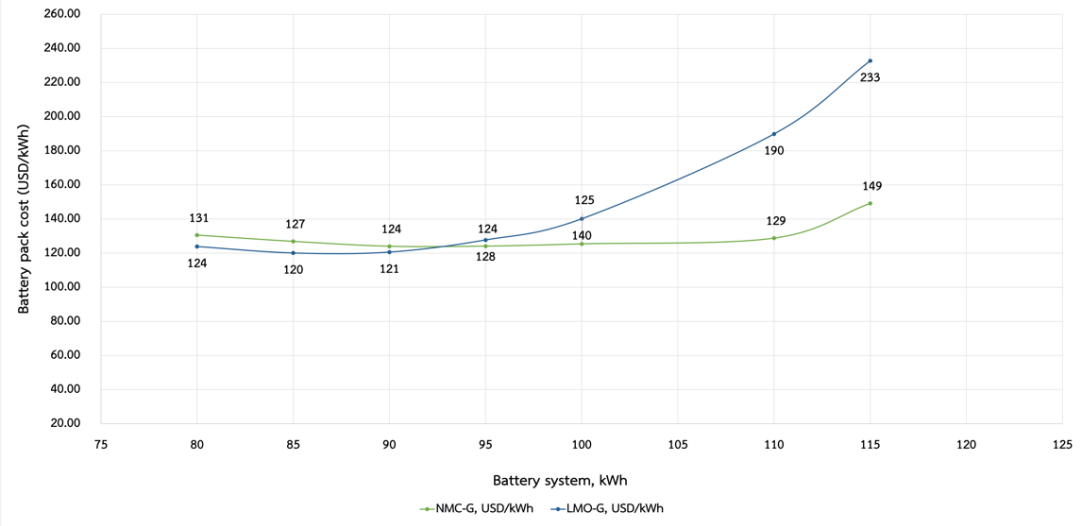
จากการวิเคราะห์ผ่านแบบจำลอง BatPaC เมื่อเปรียบเทียบราคาของ Battery pack (USD/kWh) ต่อความสามารถในการกักเก็บไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (ดังรูปที่ 27) พบว่าราคาของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC และ LMO เพิ่มขึ้น ตามความสามารถในการกักเก็บไฟฟ้าของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น โดยที่แบตเตอรี่ชนิด NMC จะมีราคาที่สูงกว่าแบตเตอรี่ชนิด LMO เช่นเดียวกันกับการเปรียบเทียบราคาของ Battery pack (USD/kWh) ต่อระยะทางในการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า พบว่าราคาของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC และ LMO เพิ่มขึ้น ตามความสามารถในการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้าในระยะทางที่เพิ่มขึ้น (ดังรูปที่ 28) จากการเปรียบเทียบราคาของ Battery pack ต่อความสามารถในการกักเก็บประจุไฟฟ้า และระยะทางในการขับขี่ของรถยนต์ไฟฟ้า พบว่า เมื่อถึงช่วงหนึ่งของปริมาณการกักเก็บประจุไฟฟ้าราคาของแบตเตอรี่ชนิด LMO กลับมีราคาที่สูงกว่าแบตเตอรี่ชนิด NMC เนื่องจากปริมาณของ Positive active material ของแบตเตอรี่ชนิด LMO

เพิ่มขึ้น เพื่อให้แบตเตอรี่มีความสามารถในการกักเก็บประจุไฟฟ้า และสามารถขับขี่ในระยะทางที่เท่ากัน จึงทำให้ราคาของแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าแบตเตอรี่ชนิด NMC

1) โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง

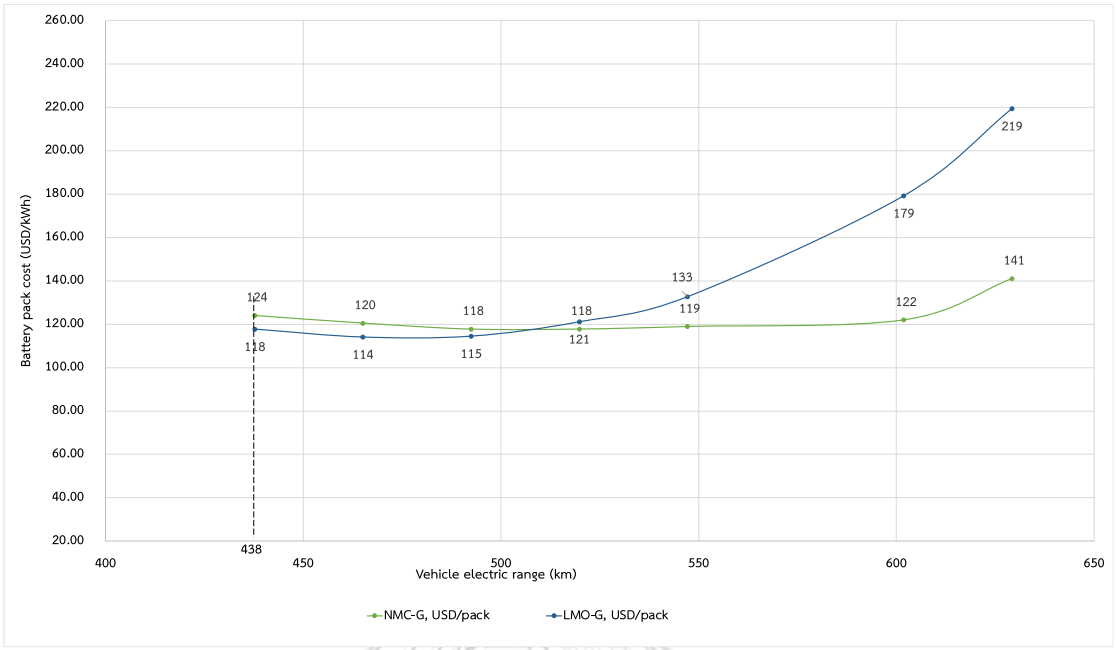


2) โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น

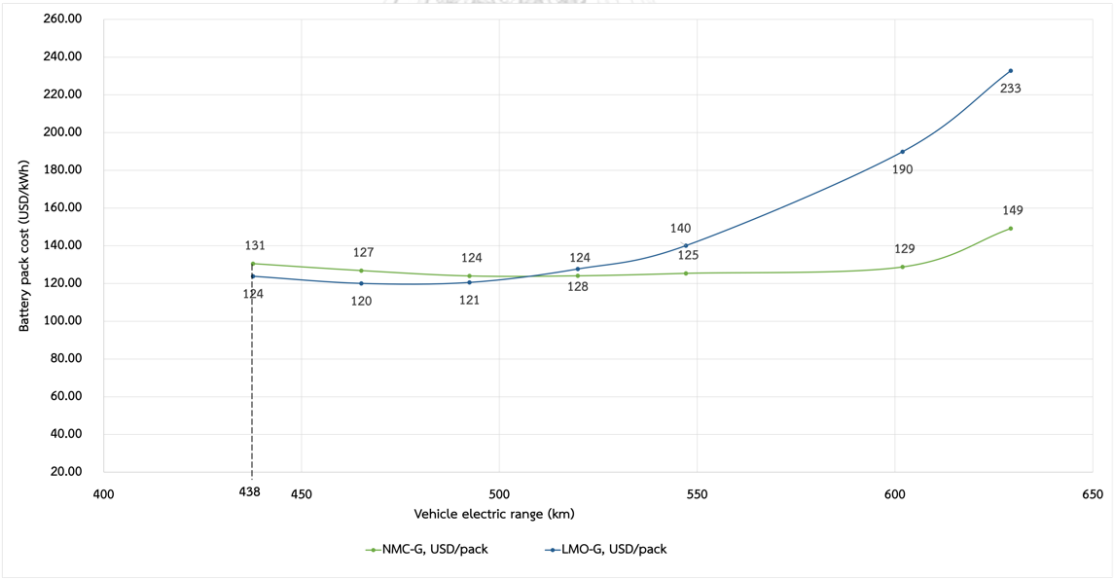


รูปที่ 27 เปรียบเทียบราคาต้นทุนของแบตเตอรี่กับความสามารถในการกักเก็บไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO

1) โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง



2) โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น



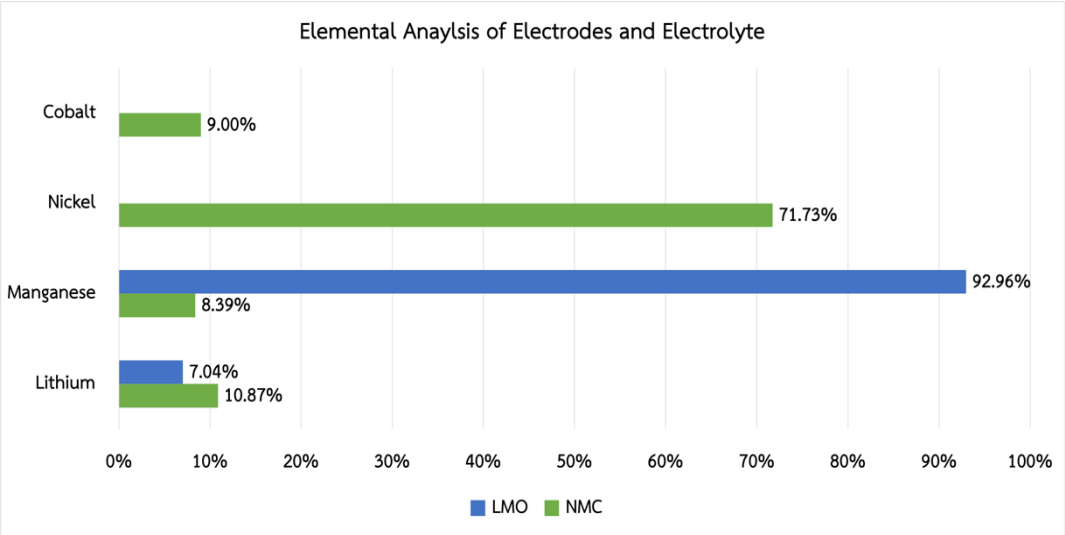
รูปที่ 28 เปรียบเทียบราคาต้นทุนของแบตเตอรี่กับระยะทางของรถยนต์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO

4.4. การนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุเหลือทิ้ง

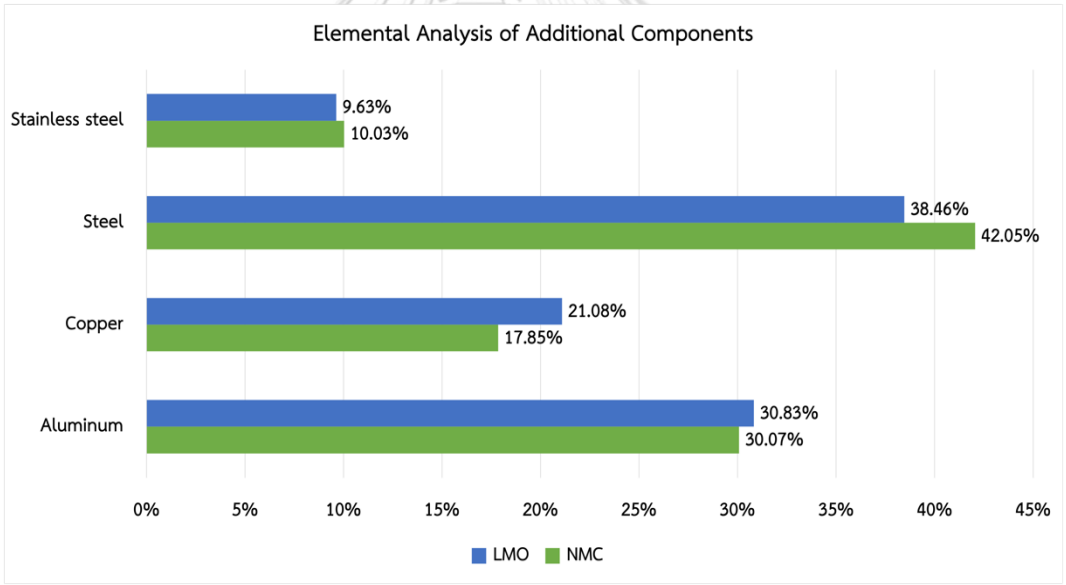
จากการวิเคราะห์วัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยแบบจำลอง BatPaC จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของอิเล็กโทรด และอิเล็กโทรไลต์ (Elemental Analysis of Electrodes and Electrolyte) จาก Battery pack พบว่าแบตเตอรี่ชนิด LMO ปริมาณองค์ประกอบที่เป็นแมงกานีสกลับมาใช้ใหม่มากที่สุด และแบตเตอรี่ชนิด NMC ปริมาณองค์ประกอบที่เป็นนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่มากที่สุด เนื่องจากเป็นไปตามชนิดของแบตเตอรี่ที่แตกต่างกัน และปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ตามการออกแบบของแบตเตอรี่ ซึ่งในผลการวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์แบตเตอรี่ที่มีขนาดความจุไฟฟ้า 80 kWh กำลังไฟฟ้า 100 Wh โดยมี Cell yield 95% (ดังรูปที่ 29) การวิเคราะห์องค์ประกอบของส่วนประกอบอื่น (Elemental Analysis of Additional Components) ในแบตเตอรี่ พบว่าส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างเหล็ก มีปริมาณองค์ประกอบที่นำกลับมาใช้ใหม่มากที่สุด (ดังรูปที่ 30)

เมื่อวิเคราะห์วัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ จากขั้นตอนกระบวนการผลิต (kg/year) อ้างอิงกับจำนวนเซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้ และจำนวนเซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้ตาม cell yield (95%) ต่อปี โดยจะวิเคราะห์ปริมาณเศษวัสดุจากขั้นตอนการผลิตแบตเตอรี่ ขั้นตอนการทดสอบ และการคัดแยกแบตเตอรี่ที่ไม่ได้ประสิทธิภาพ ประกอบไปด้วย Positive electrode, Negative electrode, Positive current collector, Negative current collector, Positive terminal, Negative terminal, Separator, Electrolyte, และ Cell container (ดังรูปที่ 31) จะเห็นได้ว่า Positive electrode นั้นมีปริมาณนำกลับมาใช้ใหม่มากที่สุด ทั้งในการผลิตแบตเตอรี่ชนิด NMC และแบตเตอรี่ชนิด LMO มีปริมาณการนำ Positive electrode นำกลับมาใช้ใหม่ถึง 1,375,935 kg/year และ 2,311,384 kg/year ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณองค์ประกอบในอิเล็กโทรดของแบตเตอรี่ชนิดนั้นๆ

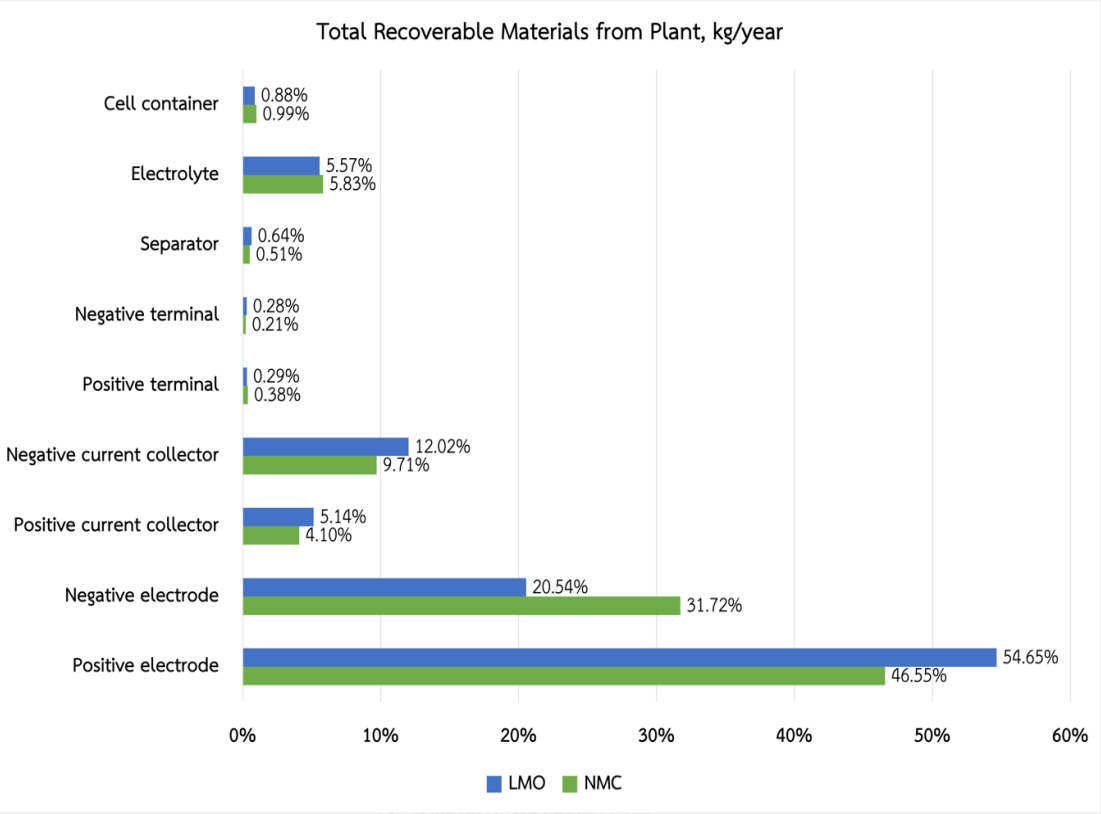
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 30 วิเคราะห์การนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ขององค์ประกอบของอิเล็กโทรด และอิเล็กโทรไลต์



รูปที่ 29 การวิเคราะห์การนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ขององค์ประกอบของส่วนประกอบอื่นภายในแบตเตอรี่



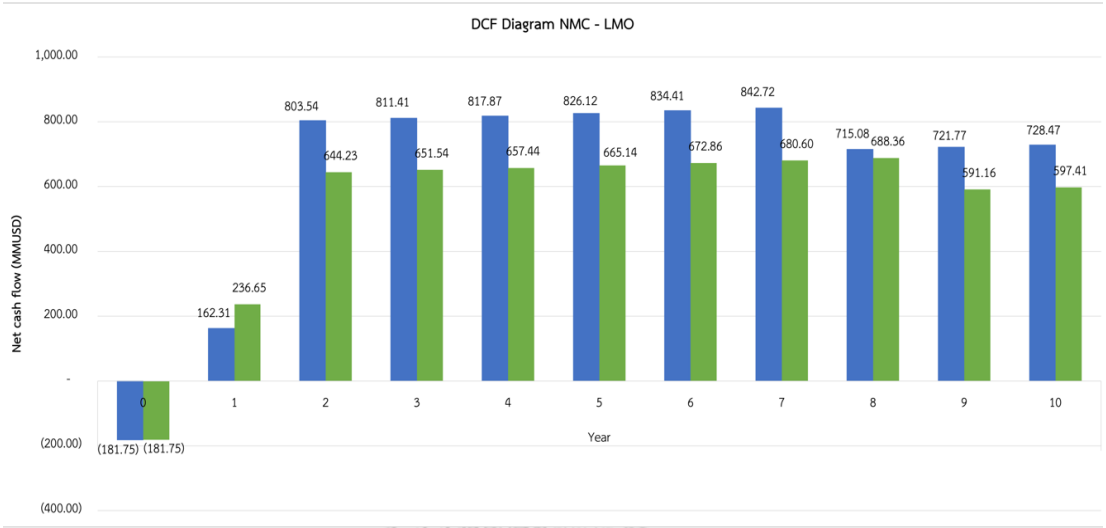
รูปที่ 31 วิเคราะห์วัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่จากขั้นตอนกระบวนการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

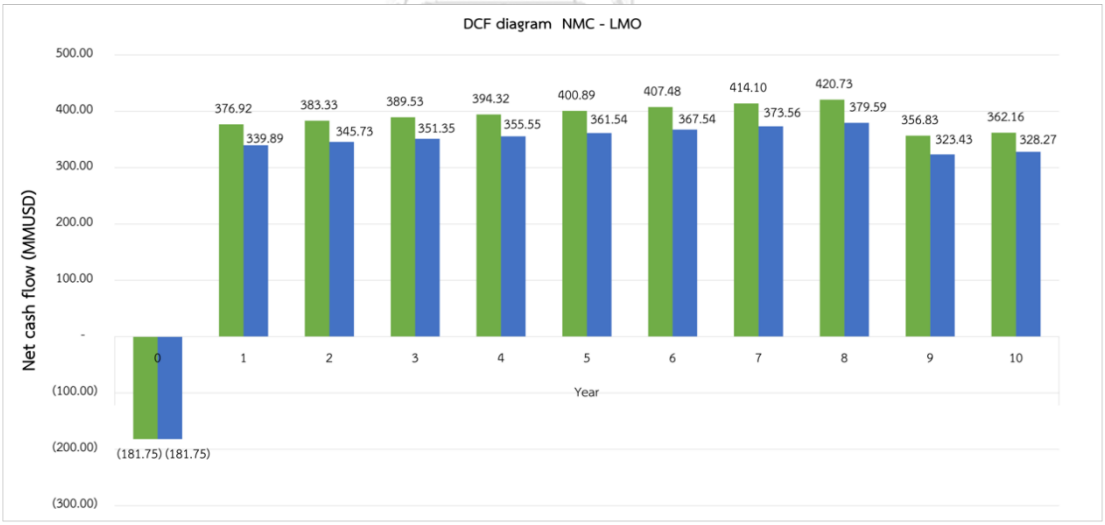
4.5. เปรียบเทียบความคุ้มค่าทางการเงิน ด้วยแบบจำลองกระแสเงินสดคิดลดของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC และ LMO

จากการประเมินผลความคุ้มทางการเงินผ่านแบบจำลองกระแสเงินสดคิดลด (ดังรูปที่ 32) โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พิจารณาที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) เริ่มพิจารณาโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่น พบว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 389.10 MMUSD และโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด LMO มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 170.20 MMUSD ส่วนโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง พบว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิดNMC มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) -878.68 MMUSD และโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด LMO มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) -243.65 MMUSD

1) โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง



2) โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น

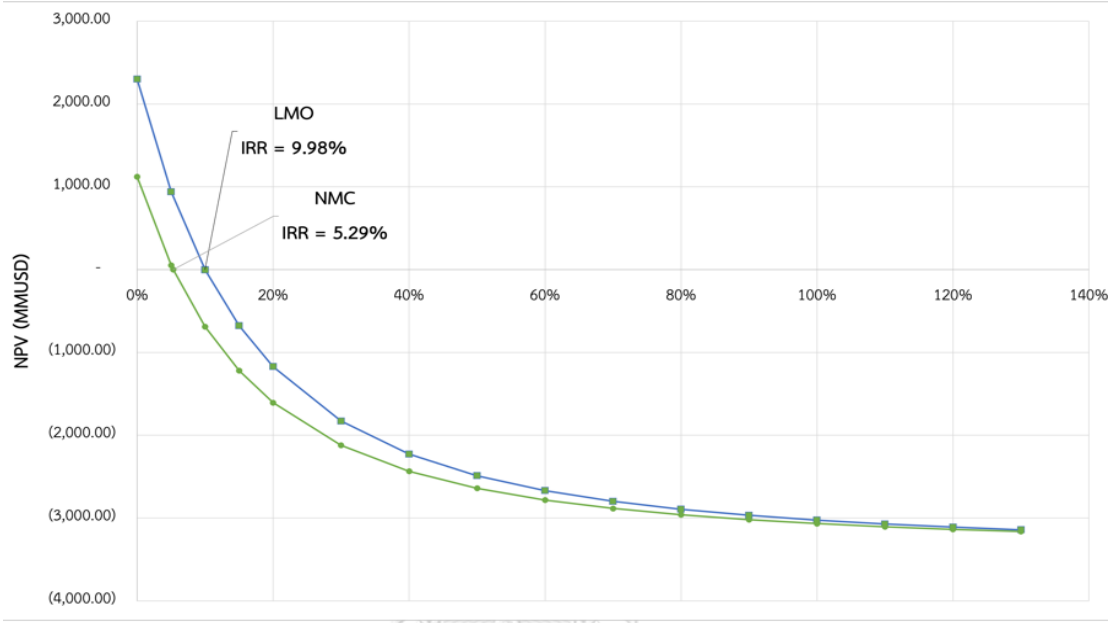


รูปที่ 32 DCF Diagram เปรียบเทียบของแบตเตอรี่ NMC และ LMO

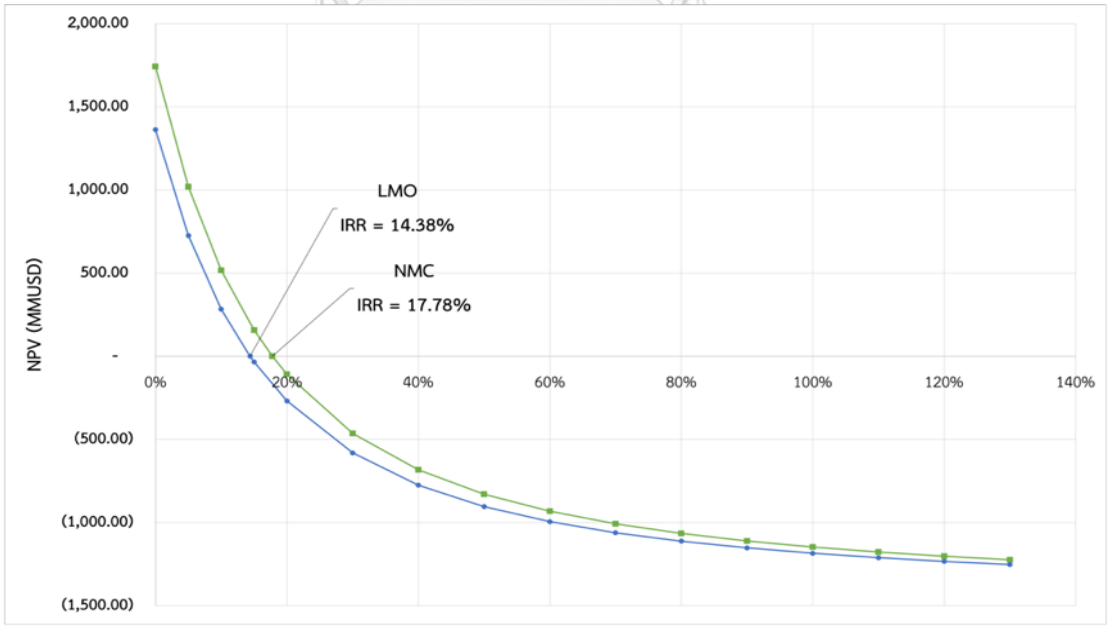
เมื่อพิจารณาที่อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate Return) (ดังรูปที่ 33) เริ่มพิจารณาโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่น พบว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC มีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 17.78% มีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) 4.5 ปี และโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด LMO มีอัตราผลตอบแทนภาย (IRR) เท่ากับ 14.38% มีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) 5.1ปี ส่วนโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่สามารถ

ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง พบว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC มีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 5.29% มีระยะเวลาในการคืนทุน (Payback period) 7.4 ปี และโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด LMO มีอัตราผลตอบแทนภาย (IRR) เท่ากับ 9.98% มีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) 6ปี

1) โรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง



2) โรงงานประกอบแบตเตอรี่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตอื่น



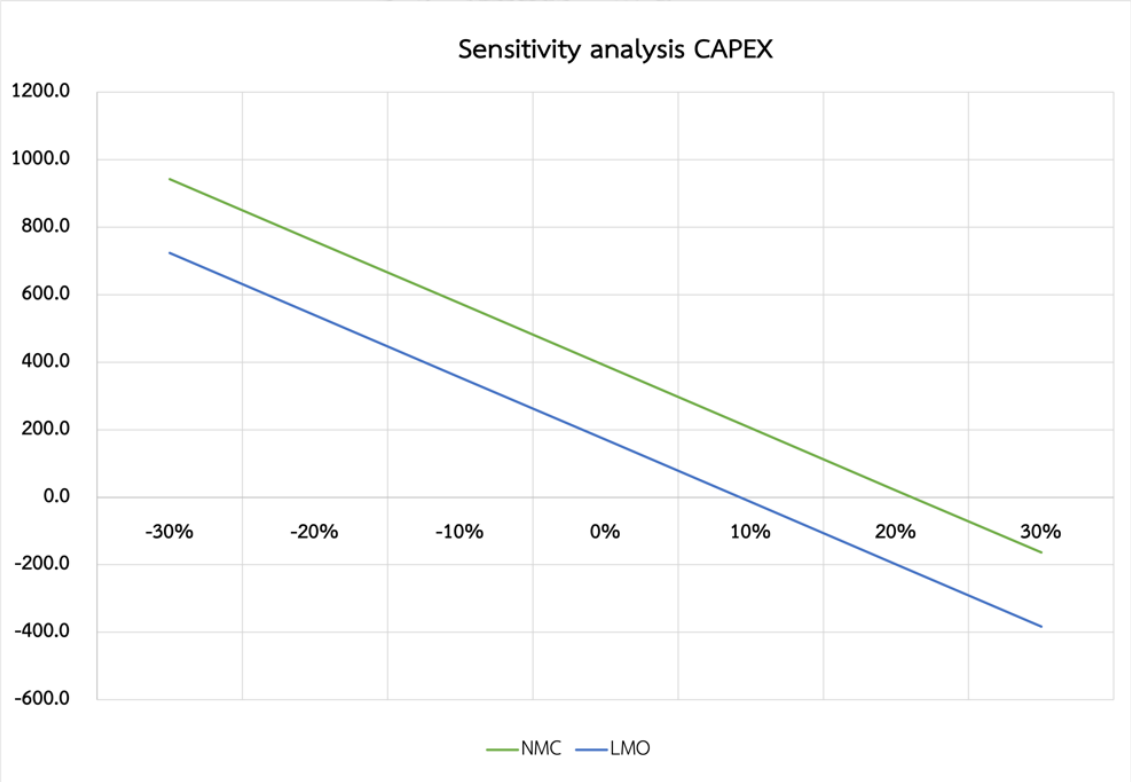
รูปที่ 33 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) ของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC และ LMO

4.6. ประเมินความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC และ LMO

ผลจากการประเมินความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์โดยการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการที่ ±30% โดยวิเคราะห์ด้านของต้นทุน, ค่าดำเนินงาน และรายรับ เพื่อเปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

4.6.1. ประเมินความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของปัจจัยการลงทุน

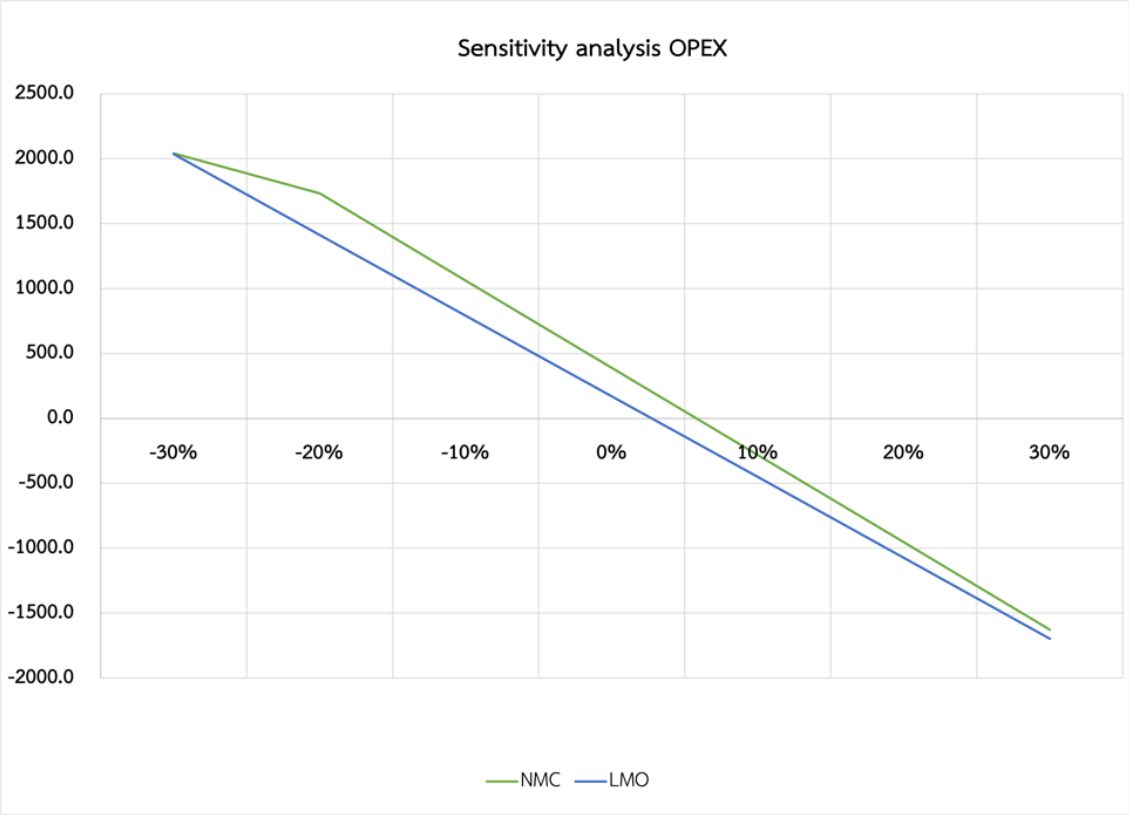
เมื่อประเมินความประเมินความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของปัจจัยการลงทุน (ดังรูปที่ 34) พบว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC มีความอ่อนไหวต่อปัจจัยการลงทุนน้อยกว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด LMO เนื่องจากโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC ที่การเปลี่ยนแปลง 21.107% ในขณะที่โรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด LMO มีความอ่อนไหวของปัจจัยการลงทุนที่การเปลี่ยนแปลง 9.233% จะทำให้โครงการเริ่มที่จะมี NPV ติดลบ หมายความว่ามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนน้อยกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนโครงการ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นในการลงทุนของโครงการ อย่างเช่นค่าเครื่องจักรในการผลิต ที่เป็นสัดส่วนใหญ่ของการลงทุน ราคาเครื่องจักรที่เปลี่ยนไปตามเทคโนโลยี รวมทั้งค่าการขนส่ง นั้นส่งผลต่อการลงทุนในเครื่องจักรเช่นกัน



รูปที่ 34 กราฟแสดงความอ่อนไหวของโครงการต่อปัจจัยการลงทุน

4.6.2. ประเมินความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของปัจจัยค่าดำเนินงาน

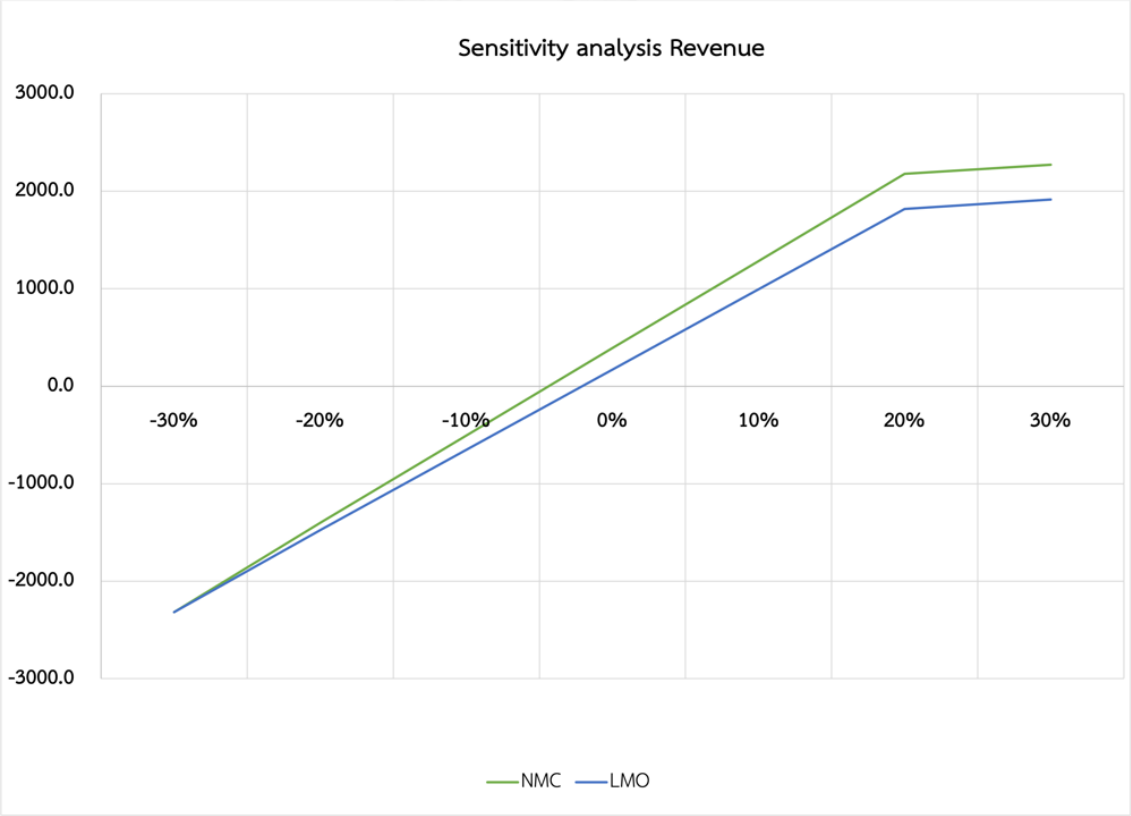
เมื่อประเมินความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของปัจจัยการค่าดำเนินงาน พบว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC มีความอ่อนไหวต่อปัจจัยค่าดำเนินงานน้อยกว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด LMO เนื่องจากโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC ที่การเปลี่ยนแปลง 5.792% ในขณะที่โรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด LMO มีความอ่อนไหวของปัจจัยค่าดำเนินงานที่การเปลี่ยนแปลง 2.734% จะทำให้โครงการเริ่มที่จะมี NPV ติดลบ ในการผันแปรของปัจจัยค่าดำเนินงานอาจเกิดขึ้นได้ เป็นไปตามสถานการณ์เศรษฐกิจช่วงนั้นๆ (ดังรูปที่ 35)



รูปที่ 35 กราฟแสดงความอ่อนไหวของโครงการต่อปัจจัยค่าดำเนินงาน

4.6.3. ประเมินความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของปัจจัยรายรับ

เมื่อประเมินความประเมินความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของปัจจัยรายรับ พบว่า โรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC มีความอ่อนไหวน้อยกว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด LMO เนื่องจากโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC ที่การเปลี่ยนแปลง -9.566% ในขณะที่โรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด LMO มีความอ่อนไหวของปัจจัยค่าดำเนินงานที่การเปลี่ยนแปลง 2.734% จะทำให้โครงการเริ่มที่จะมี NPV ติดลบ (ดังรูปที่ 36) ความอ่อนไหวของปัจจัยรายรับมีผลมาจากราคาต้นทุนของวัตถุดิบ แบตเตอรี่ชนิด NMC นั้นมีส่วนประกอบของโคบอลต์ และนิกเกิล ในปัจจุบันราคาของโคบอลต์ และนิกเกิลมีราคาสูงขึ้น และค่อนข้างผันผวน จากสถานการณ์การคว่ำบาตรรัสเซีย ซึ่งอาจ ส่งผลกระทบต่อโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC โดยตรง



รูปที่ 36 กราฟแสดงความอ่อนไหวของโครงการต่อปัจจัยรายรับ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาโครงการการลงทุนโรงงานประกอบแบตเตอรี่ ลิเธียมไอออน ในประเทศไทย ที่มีขนาดกำลังผลิต 10 GWh อัตราการผลิตแบตเตอรี่ของโรงงานแบตเตอรี่ 100,000 แพ็คต่อปี ผลิตแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) โดยแบตเตอรี่มีที่ผลิตออกแบบให้กำลังไฟฟ้า 100 KW ความสามารถในการกักเก็บประจุ 80 kWh ชนิดของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ผลิต คือชนิด Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) และ Lithium Manganese Oxide (LMO) โดยใช้แบบจำลอง Battery Performance and Cost (BatPaC) version 5.0 ของ Argonne National Laboratory ในการคำนวณต้นทุนการลงทุนและค่าใช้จ่ายของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ศึกษาเปรียบเทียบโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง และโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่น โดยอ้างอิงกับอัตราการผลิตพื้นฐาน (Baseline Plant) ของแบบจำลอง และค่าสัมประสิทธิ์ (p – factors) ที่ใช้ในการคำนวณตามการเปลี่ยนแปลงไปของเครื่องจักรในการผลิต และพื้นที่ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต

จากการวิเคราะห์ราคาต้นทุนของแบตเตอรี่ทั้งชนิด NMC และ LMO นั้นเพิ่มขึ้นตามความสามารถในการกักเก็บไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และระยะทางในการขับขี่ที่เพิ่มขึ้น ราคาต้นทุนของแบตเตอรี่ชนิด NMCและ LMO ที่ประกอบจากโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เอง มีราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ที่ประกอบจากโรงงานประกอบแบตเตอรี่ที่นำเข้าเซลล์แบตเตอรี่มาผลิต เนื่องจากการนำเข้ามาของเซลล์แบตเตอรี่ราคาที่รับซื้อเป็นราคาที่มีบวกกำไรและค่าใช้จ่ายอื่นๆมาแล้ว ทั้งนี้ราคาต้นทุนของแบตเตอรี่ชนิด NMC นั้นมีราคาที่แพงกว่าแบตเตอรี่ชนิด LMO เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในแบตเตอรี่ชนิด NMC มีราคาที่สูงกว่า แบตเตอรี่ชนิด NMC มีโคบอลต์ และนิกเกิลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นแร่ที่มีราคาสูงอย่างต่อเนื่อง

ปริมาณการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุเหลือทิ้งพบว่า ในการผลิตแบตเตอรี่ชนิด NMC และแบตเตอรี่ชนิด LMO มีปริมาณการนำ Positive electrode นำกลับมาใช้ใหม่ถึง 1,375,935 kg/year และ 2,311,384 kg/year ตามลำดับ

เมื่อประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน พบว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC และ LMO ที่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เองนั้น มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ติดลบ อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) น้อยกว่าต้นทุนโครงการ ระยะเวลาในการคืนทุนยาวนาน เมื่อเทียบกับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระยะเวลาของโครงการ นั้นหมายความว่า อาจจะไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน อาจจะมาจากเรื่องต้นทุนในการลงทุนของโรงงาน ทั้งค่าเครื่องจักรที่ติดตั้ง ค่าอาคารและพื้นที่ ที่เพิ่มขึ้นมาอย่างมาก

สำหรับการประเมินความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์โดยการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการที่ $\pm$30% โดยวิเคราะห์ปัจจัยด้านของต้นทุน, ค่าดำเนินงาน และรายรับ พบว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด LMO มีความอ่อนไหวต่ออัตราการเพิ่มลดของปัจจัยดังกล่าวมากกว่าโรงงานประกอบแบตเตอรี่ชนิด NMC

จึงสรุปได้ว่าควรที่จะลงทุนในโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC โดยการนำเข้าของเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่นมาใช้ในการผลิต มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) และระยะเวลาในการคืนทุนที่ดีกว่า ทั้งนี้แบตเตอรี่ชนิด NMC เป็นที่นิยมและมีความต้องการอย่างมากในตลาดรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน

5.2. ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาความคุ้มค่าของโรงงานประกอบแบตเตอรี่ผ่านแบบจำลอง BatPaC เท่านั้น การประเมินต้นทุนในการลงทุนของโครงการเป็นการคำนวณโดยอ้างอิงกับอัตราการผลิตพื้นฐาน (Baseline Plant) ของแบบจำลอง และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ (p – factors) ในการคำนวณตามการเปลี่ยนแปลงไปของอัตราการผลิต และพื้นที่ในแต่ละขั้นตอนการผลิต จำเป็นที่จะต้องตรวจทานมูลค่าของต้นทุนเพื่อความแม่นยำ รวมทั้งอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน อัตราค่าขนส่งและติดตั้ง ณ ช่วงเวลานั้น

ความคุ้มค่ามนการลงทุนโรงงานประกอบแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิด NMC โดยการนำเข้าของเซลล์แบตเตอรี่จากผู้ผลิตรายอื่นมาใช้ในการผลิต มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) และระยะเวลาในการคืนทุนที่เร็วภายในระยะเวลาของโครงการ แต่เมื่อมองในระยะยาวการที่โรงงานประกอบแบตเตอรี่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เองนั้น สามารถที่จะป้องกันการเกิดปัญหาเซลล์แบตเตอรี่ขาดตลาดได้ การลงทุนในโรงงานประกอบแบตเตอรี่สามารถผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้เองมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 7.4 ปี ซึ่งโรงงานนั้นเปิดดำเนินกิจการเป็นระยะยาว นั้นทำให้น่าที่จะลงทุนเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

1. Hamilton JW, Bryn; Ringrow, James. Electric vehicles Setting a course for 2030. Deloitte Insights. 2020.

2. ชินวุฒิ์ เตชาวัตร์ ณอ, ณิชารีย์ อรัญ, ลัทธกิตติ์ ลาภอุดมการ, ธนัชพร นันทาภิวัธน์, เคนเน็ท โดนัลท์ นีเวล, วรเทพ วงศ์วิริยะสิทธิ์ ส่องตลาด EV ในประเทศไทย: 3 ปัจจัยเร่ง 4 ปัจจัยท้าทายยานยนต์แห่งอนาคต. KKP Research. 2021.

3. Solutions F. Global EV Outlook: Vehicle Supply Constraints Will Restrict EV Sales Growth In 20222021. Available from: https://www.fitchsolutions.com/autos/global-ev-outlook-vehicle-supply-constraints-will-restrict-ev-sales-growth-2022-06-12-2021?fSWebArticleValidation=true&mkt_tok=NzMyLUNLSC03NjcAAAGFzYskmZ2s8R37b0Z26bVMuscTk6TUYI8igA6mVyV2Uh0p74UJfyxFxh4EF0oPUvfCVonYBtT.

4. ลัทธกิตติ์ ลาภอุดมการ อก. เมื่ออุตสาหกรรมยานยนต์เปลี่ยนเป็น EV ทำไมไทยเสียเปรียบคู่แข่ง? KKP Research. 2022.

5. ศูนย์สารสนเทศการเจรจาการค้าระหว่างประเมศ. โอกาสการลงทุนแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าในไทย. In: กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, editor. 2020.

6. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน. คู่มือการขอรับการส่งเสริมการลงทุน 2564. In: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน, editor.: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน; 2021.

7. Miao Y, Hynan P, von Jouanne A, Yokochi A. Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements. Energies. 2019;12(6):1074.

8. มีทอง ดน. วัสดุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน. MTEC. 2010:52-60.

9. Celine Buechel LB, Samantha Wietlisbach. As lithium-ion battery materials evolve, suppliers face new challenges: IHS Markit; 2021 [Available from: https://ihsmarkit.com/research-analysis/lithiumion-battery-materials-evolve-suppliers-face-new-challenges.html.

10. Kevin W. Knehr JJK, Paul A. Nelson, and Shabbir Ahmed. Battery Performance and Cost Modeling for Electric-Drive Vehicles: A Manual for BatPaC v5.0. DOE Office of Scientific and Technical Information (OSTI). July 2022.

11. Liu Y, Zhang R, Wang J, Wang Y. Current and future lithium-ion battery manufacturing. iScience. 2021;24(4):102332.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

12. Greenwood D. AUTOMOTIVE BATTERIES 1012018. Available from: https://warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/business/automotive_batteries_101_wmg-apc.pdf.

13. Heiner Heims Hans AK, Saskia Wessel, Mario Keher, Michaelis Sarah, Ehsan Rahimzei. Battery Module and Pack Assembly Process. 3rd ed: PEM of RWTH Aachen University; 2018.

14. Nikolas Soulopoulos MB, Ryan Fisher, Aleksandra O'Donovan, Colin McKerrache. Hitting the EV Inflection Point. BloombergNEF. 2021.

15. Mauler L, Duffner F, Zeier WG, Leker J. Battery cost forecasting: a review of methods and results with an outlook to 2050. Energy & Environmental Science. 2021;14(9):4712-39.

16. Joseph J. Kubal KWK, David C. Robertson, Kevin G. Gallagher, Dennis W. Dees, Paul A. Nelson, Shabbir Ahmed. BatPaC Model Software: Argonne National Laboratory; 2022 [Available from: https://www.anl.gov/cse/batpac-model-software.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ปภาวรินทร์ กะริอุณะ
วัน เดือน ปี เกิด	06 กุมภาพันธ์ 2539
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	23/287 ม.เสริมมิตร ถ.นวมินทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กทม. 10240

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University