การศึกษาวิธีการจัดการแบตเตอรี่ในประเทศไทย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

A STUDY OF BATTERY WASTE MANAGEMENT IN THAILAND AND ITS ENVIRONMENTAL IMPACTS

อิสริยา ม่วงคะลา

ISSARIYA MUNGKHALA

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2567
KMITL-2023-EN-M-167-261

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF BATTERY WASTE MANAGEMENT IN THAILAND AND ITS ENVIRONMENTAL IMPACTS

ISSARIYA MUNGKHALA

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE MASTER'S DEGREE OF ENGINEERING
IN ENVIRONMENTAL ENGINERING AND ENERGY FOR SUSTAINABILITY
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKULT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2024

KMITL-2023-EN-M-167-261

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	การศึกษาวิธีการจัดการแบตเตอรี่ในประเทศไทยและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
นักศึกษา	นางสาวอิสริยา ม่วงคะลา
รหัสประจำตัว	61601132
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชดชนก อัฑฒพงศ์

บทคัดย่อ

แบตเตอรี่เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าซึ่งได้เข้ามาเป็นส่วนสำคัญในชีวิตประจำวันและมีปริมาณใช้งานมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง หลังจากแบตเตอรี่หมดอายุการใช้งาน แบตเตอรี่เหล่านี้จะถูกจัดอยู่ในประเภทของเสียอันตราย ซึ่งหากไม่มีระบบจัดการที่เหมาะสม อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้ ในการศึกษานี้จึงได้ศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออน แยกตามวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ในประเทศไทย จากข้อมูลรายงานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 พร้อมจัดทำผังการไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis; MFA) พบว่าสัดส่วนปริมาณมากที่สุดของซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ร้อยละ 47.94 ถูกจัดการด้วยวิธีนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) ส่วนซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ร้อยละ 54.97 ถูกจัดการด้วยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (รหัส 073) โดยทั้ง 2 วิธี ได้ถูกกำหนดเป็นสถานการณ์จำลอง (Scenario) ในการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการเทียบหน่วย (Normalization) ของการจัดการซากแบตเตอรี่ทั้งสองชนิด ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint Impact Assessment) พบว่า ทั้งกรณีที่แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออนถูกจัดการด้วยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (รหัส 073) จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านบวกเท่านั้น ขณะที่วิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งด้านบวกและด้านลบ ซึ่งส่วนที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาจากการสกัดส่วนประกอบต่างๆจากซากแบตเตอรี่ที่สามารถนำกลับมาได้ โดยเฉพาะแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด จะสามารถลดผลกระทบมากที่สุดในด้านความเป็นพิษในดิน รองลงมาเป็นด้านความเป็นพิษในทางทะเล ด้านความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ และอื่นๆ ตามลำดับ ในส่วนแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แม้ว่าจะแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ยังมีสัดส่วนน้อยกว่าด้านที่ได้รับผลกระทบอย่างมาก ดังนั้น วิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในประเทศไทยจึงควรได้รับการพัฒนาเทคโนโลยีในกระบวนจัดการอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ และรองรับปริมาณซากแบตเตอรี่ที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	A STUDY OF BATTERY WASTE MANAGEMENT IN THAILAND AND ITS ENVIRONMENTAL IMPACTS
Student	Ms. Issariya Mungkhala
Student ID.	6161132
Degree	Master of Engineering
Program	Environmental Engineering and Energy for Sustainability
Year	2024
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Chodchanok Attaphong

ABSTRACT

Batteries are energy storage devices that have become an essential part of daily life. When the batteries reach the end of life, they are called waste batteries and classified as hazardous waste. Without proper battery waste management systems, they probability lead to pose health and environmental risks due to their leakage to the environment. This study examined and compared the quantities of lead-acid batteries (LABs) and lithium-ion batteries (LIBs) waste in Thailand, categorized by disposal methods between 2019 and 2022 with using Material Flow Analysis (MFA). The result showed that the largest proportion of lead-acid battery remains, 47.94 percent, were managed by other methods of recovery (code 049), while 54.97 percent of lithium-ion battery remains were managed by implantation methods. Safely delete When stabilizing or solidifying (code 073). These two battery waste management methods were selected to obtain scenarios for environmental impact analysis using Life Cycle Assessment (LCA) with midpoint impact assessment. Normalized comparison results of environmental impacts showed that

LABs and LIBs are managed through code 073, there only have a positive environmental impact. On the other hand, code 049 has both positive and negative environmental impacts. The positive impacts from recycling come from extracting reusable components from the waste battery. For LABs, the most significant reduction in environmental impact is observed in Terrestrial ecotoxicity, Marine ecotoxicity, Human non-carcinogenic toxicity, Human carcinogenic toxicity and other categories respectively. For LIBs, while there is a trend towards reducing environmental impact, the positive effects are still smaller compared to the negative impacts. Therefore, the waste management technology for lithium-ion batteries in Thailand should be continuously developed to increase recycling efficiency and handle the growing volume of battery waste in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชดชนก อัฑฒพงศ์ สำหรับการให้ความเมตตาและมอบโอกาสให้กับลูกศิษย์คนนี้ รวมถึงมอบแนวคิดและคำแนะนำตลอดการดำเนินงานวิจัย อีกทั้งคำแนะนำในการปรับปรุงแนวคิดในการทำงานเพื่อให้ผลงานออกมามีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระทุกท่านที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อให้การค้นคว้าอิสระเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา และอาจารย์จากคณะวิทยาศาสตร์ที่ได้มอบความรู้ในศาสตร์วิชาต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการต่อยอดองค์ความรู้ในการทำวิจัย การประกอบอาชีพ และการประยุกต์ในการดำเนินชีวิต

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (NRCT5-RGJ63021-170)

ขอขอบพระคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้งานโปรแกรม SimaPro

ขอขอบคุณนางสาวนาตยา โมราวรรณ ที่ได้ให้แนวคิด คำแนะนำ คำปรึกษาในการทำการศึกษา ค้นคว้า วิจัย ซึ่งเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำงานวิจัย จนเล่มการค้นคว้าอิสระนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชา เพื่อนร่วมงานทั้งในคณะวิศวกรรมศาสตร์ และในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการช่วยเหลือและสภาพแวดล้อมและมิตรภาพที่ดีระหว่างการศึกษาวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวที่มี บิดา มารดา และสามี ที่คอยอยู่เคียงข้าง คอยถามไถ่และให้พลังใจในการทำงาน ตลอดจนถึงญาติพี่น้องที่ให้การสนับสนุนอยู่เบื้องหลัง และเพื่อนๆจากทั้งที่อยู่ใกล้ชิดและอยู่ทางไกลที่ได้มอบความรัก และมอบกำลังใจมาโดยตลอด ซึ่งเป็นแรงผลักดันในการดำเนินงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

อิสริยา ม่วงคะลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป VIII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา 3
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 แบตเตอรี่ (Battery) 5
2.2 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid batteries; LABs) 6
2.2.1 ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery) 6
2.2.2 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด 8
2.2.3 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด 8
2.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion batteries; LIBs) 9
2.3.1 คุณสมบัติ ประเภทและการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 10
2.3.2 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 12
2.3.3 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 13
2.4 วัฏจักรการใช้งานแบตเตอรี่ 14
2.5 การจัดการแบตเตอรี่ 15
2.5.1 หน่วยงานที่กำกับดูแลการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน 15
2.5.2 กระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด 16
2.5.3 กระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน 21
2.6 การวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis; MFA) 23
2.7 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) 24
2.8 งานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการซากแบตเตอรี่ 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 28
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล....29
3.2 การพิจารณาข้อมูลปริมาณซากแบตเตอรี่ 29
3.3 การวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis; MFA)....30
3.4 สถานการณ์จำลองของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ 32
3.5 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่ โดยใช้แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA)....35
3.5.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and scope definition)..35
3.5.2 การวิเคราะห์จัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก (Inventory analysis) 35
3.5.3 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life cycle impact assessment: LCIA)....36
3.5.4 การแปลผลการศึกษา (Life cycle interpretation)....37
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์ผล 38
4.1 ข้อมูลสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วรหัส 16 06 ประเภทแบตเตอรี่ และตัวสะสมประจุ 38
4.1.1 ข้อมูลปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (วัตถุประสงค์ข้อที่ 1)....39
4.1.2 ข้อมูลปริมาณซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (วัตถุประสงค์ข้อที่ 1)....40
4.2 ข้อมูลวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ ตามรหัสกำจัด 42
4.2.1 ข้อมูลวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด....42
4.2.2 ข้อมูลวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 45
4.3 ผังการไหลของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ 47
4.3.1 ผังการไหลของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด 47
4.3.2 ผังการไหลของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 54
4.3.3 การวิเคราะห์วิธีการจัดการซากแบตเตอรี่จากลำดับสัดส่วนปริมาณ 60
4.4 ข้อมูลสถานการณ์จำลองของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ 63
4.4.1 ผังการไหลของปริมาณวัสดุในสถานการณ์จำลองของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่....63
4.4.2 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก (Inventory) 67
4.5 ผลการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่....70
4.5.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด....71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน 73
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 77
5.1 สรุปผลการวิจัย 77
5.2 ข้อเสนอแนะ 78
บรรณานุกรม 79
ประวัติผู้เขียน 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว สามารถแบ่งเป็น 8 ประเภท 15

2.2 รหัสเลข 3 หลัก สำหรับการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ตามประเภทในข้อ 2.1 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548) 16

3.1 การจัดการซากแบตเตอรี่จำแนกตามวิธีการในการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548) 29

3.2 สถานการณ์จำลองการจัดการซากแบตเตอรี่ 32

3.3 ตัวอย่างบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก สถานการณ์จำลอง S_{2_LAB} 36

4.1 ปริมาณของวัสดุจากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2565 40

4.2 ปริมาณของวัสดุจากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2565 41

4.3 ปริมาณของเสียรหัส 16 06 01 HA ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2565 43

4.4 ปริมาณของเสียรหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 46

4.5 ปริมาณร้อยละของเสียรหัส 16 06 01 ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2565 48

4.6 ปริมาณร้อยละของเสียรหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 54

4.7 ลำดับวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดตามสัดส่วนปริมาณในแต่ละปี 60

4.8 ลำดับวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนตามสัดส่วนปริมาณในแต่ละปี 61

4.9 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก สถานการณ์จำลอง S_{1_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073) 67

4.10 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก สถานการณ์จำลอง S_{2_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049) 68

4.11 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก สถานการณ์จำลอง S_{1_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073) 69

4.12 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก สถานการณ์จำลอง S_{2_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049) 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ (Shahid, 2022) 9

2.2 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Batterycenter, 2014) 12

2.3 องค์ประกอบของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (สงบ คาค้อ, 2562) 13

2.4 วัฏจักรการใช้งานแบตเตอรี่ (U.S. EPA, 2019) 14

2.5 กระบวนนำซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีอื่นๆ 17

2.6 กระบวนการจัดการฝังกลบแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Dehghani-Sanij, 2019) 18

2.7 กระบวนกักเก็บในภาชนะบรรจุ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2511) 19

2.8 กระบวนคัดแยกประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดเพื่อจำหน่ายต่อ (Xiaowu Jie, 2022) 20

2.9 ฝังกลบอย่างปลอดภัย (Dehghani-Sanij, 2019) 21

2.10 กระบวนกักเก็บในภาชนะบรรจุ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2560) 22

2.11 กระบวนการรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเทียม 23

3.1 แผนผังสรุปลำดับและขั้นตอนในการวิจัย 28

3.2 เส้นทางการจัดการซากแบตเตอรี่ 30

3.3 ร่างผังการไหลของวัสดุ ของปริมาณซากแบตเตอรี่ตามวิธีการจัดการ 31

3.4 สถานการณ์จำลอง S_{1_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073) 33

3.5 สถานการณ์จำลอง S_{2_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049) 33

3.6 สถานการณ์จำลอง S_{1_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073) 34

3.7 สถานการณ์จำลอง S_{2_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049) 34

4.1 ปริมาณสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว รหัส 16 06 ประเภทแบตเตอรี่ 39

4.2 ปริมาณสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว รหัส 16 06 01 HA ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 40

4.3 ปริมาณสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว รหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่ และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 41

4.4 รวมปริมาณของเสียรหัส 16 06 01 HA ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 ปริมาณของเสียรหัส 16 06 01 HA ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แยกตามรหัสกำจัด ปี พ.ศ. 2562 - 2565 44

4.6 รวมปริมาณของเสียรหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 46

4.7 ปริมาณของเสียรหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) แยกตามรหัสกำจัด ปี พ.ศ. 2562 - 2565 47

4.8 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ปี พ.ศ. 2562 50

4.9 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ปี พ.ศ. 2563 51

4.10 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ปี พ.ศ. 2564 52

4.11 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ปี พ.ศ. 2565 53

4.12 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ปี พ.ศ. 2562 56

4.13 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ปี พ.ศ. 2563 57

4.14 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ปี พ.ศ. 2564 58

4.15 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ปี พ.ศ. 2565 59

4.16 สัดส่วนปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดระหว่าง ปี พ.ศ. 2562 – 2565 61

4.17 สัดส่วนปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนระหว่าง ปี พ.ศ. 2562 – 2565 62

4.18 ปริมาณการไหลของวัสดุในสถานการณ์จำลอง S_{1_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073) 63

4.19 ปริมาณการไหลของวัสดุในสถานการณ์จำลอง S_{2_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049) 64

4.20 ปริมาณการไหลของวัสดุในสถานการณ์จำลอง S_{1_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073) 65

4.21 ปริมาณการไหลของวัสดุในสถานการณ์จำลอง S_{2_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049) 66

4.22 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมสถานการณ์จำลอง S_{1_LAB} แบบเทียบหน่วย 71

4.23 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมสถานการณ์จำลอง S_{2_LAB} แบบเทียบหน่วย 72

4.24 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมสถานการณ์จำลอง S_{1_LIB} แบบเทียบหน่วย 73

4.25 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมสถานการณ์จำลอง S_{2_LIB} แบบเทียบหน่วย 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการใช้แบตเตอรี่เพื่อเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแบตเตอรี่ได้เข้ามาเป็นส่วนสำคัญในชีวิตประจำวัน จะเห็นได้โดยทั่วไปในส่วนประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบพกพา เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ ไฟฉาย นาฬิกาและวิทยุ เป็นต้น จนถึงแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นตัวจุดระเบิดเครื่องยนต์ โดยสามารถแบ่งแบตเตอรี่ตามชนิดของการทำงานได้ 2 ชนิด แบบแรกเป็นแบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ (primary batteries) จะถูกใช้งานได้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง เช่น แบตเตอรี่อัลคาไลน์ที่ใช้สำหรับไฟฉายและอีกหลายอุปกรณ์พกพา เป็นต้น แบบที่สองเป็นแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ (rechargeable batteries) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถทำการเก็บประจุไฟใหม่และนำกลับมาใช้งานได้อีก ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและนิกเกิล-แคดเมียมที่ใช้ในยานพาหนะและแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ที่ใช้สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบเคลื่อนย้ายได้ (สถาบันยานยนต์, 2561) หลังจากแบตเตอรี่หมดอายุการใช้งานหรือเสียหายจนไม่สามารถใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพได้ แบตเตอรี่เหล่านี้จะถูกจัดอยู่ในประเภทของเสียอันตราย เนื่องจากส่วนประกอบในแบตเตอรี่มีสารอันตรายเช่นกรดและโลหะหนัก ซึ่งหากไม่มีระบบจัดการที่เหมาะสมอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้ เช่น จากการสัมผัส การสูดดม การปนเปื้อนลงในดิน น้ำใต้ดิน และแหล่งน้ำผิวดินใกล้เคียงที่ใช้เป็นแหล่งน้ำอุปโภคบริโภค เป็นต้น ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บเล็กน้อยไปจนถึงเสียชีวิตได้ (วีรวรรณ, 2547)

การจัดการแบตเตอรี่เริ่มจากการรวบรวมซากแบตเตอรี่ สำหรับแบตเตอรี่ขนาดเล็ก เช่น แบตเตอรี่ในโทรศัพท์มือถือและคอมพิวเตอร์ ผู้บริโภคถือเป็นผู้รับผิดชอบที่จะต้องนำไปทิ้งในจุดรับขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกต้อง เพราะหากนำไปทิ้งปนกับขยะทั่วไปแบตเตอรี่เหล่านั้นอาจถูกนำไปเผาหรือฝังกลบซึ่งจะทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการสร้างความตระหนักและการสร้างระบบเพื่อจัดการแบตเตอรี่ถือเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ผู้บริโภคนำไปทิ้งได้อย่างถูกวิธี ส่วนแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ เช่น แบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่ว-กรด ที่ใช้ในรถยนต์ หรือแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า ผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรม เช่น ผู้จำหน่ายแบตเตอรี่ หรือผู้จำหน่ายยานยนต์ไฟฟ้าถือเป็นผู้รับผิดชอบในการรวบรวมและจัดการซากแบตเตอรี่ ซึ่งการจัดการดังกล่าวอยู่ในการกำกับดูแลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (อุกฤษฎ์ และคณะ, 2563)

ปัจจุบันแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดถือเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้มากที่สุดในรถยนต์ โดยการจัดการแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดของประเทศไทยในปัจจุบันใช้กระบวนการหลอมโลหะ ทั้งนี้ แนวโน้มการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนก็มีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีการใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle; EV) เพิ่มมากขึ้น โดยมีข้อมูลจากกองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก ระบุว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศไทยมีการจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเกือบทุกปี สถิติยอดจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้าสะสมในกลุ่มรถยนต์นั่ง เดือนมกราคม พ.ศ. 2566 มากถึง 317,502 คัน เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2565 ถึง ร้อยละ 39.47 (ฐานเศรษฐกิจ, 2566) และยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้การรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีความสำคัญมากยิ่งขึ้นในอนาคตด้วยเช่นกัน โดยแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในปัจจุบันผู้ผลิตรถยนต์ในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้วิธีการส่งออกแบตเตอรี่ใช้แล้วไปกำจัดที่ต่างประเทศ โดยต้องขออนุญาตส่งออกจากสำนักควบคุมวัตถุอันตราย กรมโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากซากแบตเตอรี่ถือเป็นวัตถุอันตรายจำพวกที่ 3 ตาม พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535

เทคนิคการวิเคราะห์ผังการไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis; MFA) ถูกนำมาใช้ในการนำมาใช้อธิบายถึงเส้นทางผ่านเข้า - ออก ของวัสดุ จากจุดที่วัสดุนั้นเริ่มต้น ผ่านขั้นตอนทั้งหมดของกระบวนการผลิต จนถึงขั้นตอนการกำจัด รวมถึงการปลดปล่อยวัสดุนั้นออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยหลักในการวิเคราะห์จะใช้หลักการทำสมดุลมวล (mass balance) ช่วยให้เข้าใจภาพรวมของเส้นทางและปริมาณการจัดการแบตเตอรี่ในแต่ละในวิธีการจัดการ ซึ่งการวิเคราะห์ผังการไหลของวัสดุเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการวิเคราะห์การจัดการซากแบตเตอรี่ (ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย, 2563) แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาผังการไหลและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการแบตเตอรี่ในประเทศไทยยังมีการศึกษาอย่างจำกัด เนื่องจากการรวบรวมข้อมูลของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจากหน่วยงานต่างๆ ในประเทศยังมีการจัดการแบตเตอรี่บางชนิดอย่างไม่ถูกต้อง รวมถึงไม่มีศูนย์รวบรวมซากแบตเตอรี่ เพื่อนำกลับมาจัดการอย่างถูกวิธี

ในการศึกษานี้จึงได้รวบรวมข้อมูลชนิดและปริมาณของซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และชนิดที่มีลิเทียมไอออนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นชนิดแบตเตอรี่ที่ประเทศไทยมีการใช้งานอย่างมากในปัจจุบัน และศึกษาเทคโนโลยีสำหรับการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่เพื่อนำโลหะมีค่าต่างๆ กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยข้อมูลปริมาณแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วภายในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 – 2565 ได้ถูกนำมาพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการจัดการแบตเตอรี่ โดยจัดทำผังการไหลของวัสดุ และวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในประเทศไทยด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) จากสถานการณ์จำลองวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ ทั้งสองชนิด ผลจากการศึกษาวิจัยจะเป็นแนวทางในการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในประเทศไทย ที่ใช้วิธีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ด้วยเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออนและวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 ศึกษาผังการไหลของวัสดุ (MFA) จากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและลิเทียมไอออน

1.2.3 ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและลิเทียมไอออนจากสถานการณ์จำลองของการจัดการซากแบตเตอรี่ทั้งสองชนิดสำหรับประเทศไทย โดยใช้แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA)

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาวิธีการจัดการแบตเตอรี่ในประเทศไทยและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้ดำเนินการภายใต้ขอบเขตการวิจัยดังนี้

1.3.1 กำหนดขอบเขตการศึกษาแบบ Gate-to-Grave ซึ่งพิจารณาเพียงแค่บางส่วนของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้ คือ ตั้งแต่ระยะหลังการใช้งานแบตเตอรี่จนถึงการจัดการซากแบตเตอรี่

1.3.2 หน่วยอ้างอิงหรือหน่วยทำงาน (functional unit) คือ 1 ตันของปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในประเทศไทย

1.3.3 ทำการศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยจำแนกตามวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ตามรหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว 6 ชนิด ได้แก่ 16 06 01 แบตเตอรี่ชนิดใช้ตะกั่ว 16 06 02 แบตเตอรี่ชนิดใช้นิกเกิล-แคดเมียม 16 06 03 แบตเตอรี่ชนิดที่มีปรอท 16 06 04 แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์ 16 06 05 แบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นรหัสที่มีแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมไอออนเป็นองค์ประกอบรวมอยู่ด้วย 16 06 06 สารละลายไฟฟ้าที่แยกออกมาจากแบตเตอรี่และตัวเก็บประจุ

1.3.4 ข้อมูลในการพิจารณาสำหรับจัดทำผังการไหลของวัสดุจากการจัดการแบตเตอรี่และวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิต ได้เลือกเฉพาะแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด เนื่องจากเป็นชนิดแบตเตอรี่ที่มีปริมาณการใช้งานในปัจจุบันมากสุด และศึกษาแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน เนื่องจากมีแนวโน้มการใช้งานมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

การศึกษานี้ได้ดำเนินงานทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (lead–acid battery) และลิเทียมไอออน (lithium-ion battery) ทั้งจากในประเทศและต่างประเทศ จากนั้นได้เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วภายในประเทศระหว่างปี พ.ศ.2562 ถึง พ.ศ. 2565 จากรายงานการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2) จากกรมโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อเปรียบเทียบปริมาณแบตเตอรี่ใช้แล้วแต่ละประเภท พร้อมจัดทำผังการไหลของวัสดุ (MFA) จากการจัดการซากแบตเตอรี่ และวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและลิเทียมไอออนจากสถานการณ์จำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ซึ่งผลจากการศึกษาวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในประเทศไทยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงแนวทางการพิจารณาปริมาณซากแบตเตอรี่ตลอดถึงวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ในประเทศไทย

1.5.2 ทำให้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในประเทศไทย

1.5.3 สามารถใช้ผลการศึกษาเป็นข้อมูลสนับสนุนในเพื่อจัดทำแนวทางในการจัดการซากแบตเตอรี่ของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการจัดการแบตเตอรี่ในประเทศไทยประกอบด้วยแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออนจากการประเมินปริมาณแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้แล้วของโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย มาทำการวิเคราะห์ผังการไหลของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและลิเทียมไอออน โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า การวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (Material flow analysis) ด้วยโปรแกรม STAN version 2.6.801 เพื่อคาดการณ์ปริมาณและการจัดการแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและลิเทียมไอออน ที่หมดอายุการใช้งานแล้วในประเทศไทย และศึกษาวิธีการจัดการแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและลิเทียมไอออนของโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยที่มีแนวโน้มการนำมาใช้มากที่สุด โดยศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากวิธีการจัดการแบตเตอรี่ในวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่น ๆ การกักเก็บในภาชนะบรรจุของโรงงานที่เคยได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการเก็บรวบรวมแบตเตอรี่โดยไม่มีการแปรสภาพ การเข้ากระบวนการนำโลหะกลับมาใหม่โดยการหลอม การคัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ การฝังกลบอย่างปลอดภัยเมื่อทำการปรับเสถียรแล้ว ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment) ซึ่งได้มีการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมจากวารสาร งานวิจัยจากหนังสือทั้งในและต่างประเทศ รวมไปถึงศึกษาหาข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวกับ แบตเตอรี่ หลักการทำงานของแบตเตอรี่ ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ ของเสียที่เกิดจากซากแบตเตอรี่ และขั้นตอนกระบวนการรีไซเคิลแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและลิเทียมไอออนจากการจัดการทุกประเภทเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมต่อการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2.1 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยใช้เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) ซึ่งประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) โดยแบตเตอรี่ประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่า แบตเตอรี่มีส่วนประกอบ ประกอบด้วย ขั้วบวก ขั้วลบ สารอิเล็กโทรไลต์ และมีแผ่นกั้นป้องกันไม่ให้ขั้วบวกและลบสัมผัสกันโดยตรง ซึ่งแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้า สามารถประจุไฟเข้าไปใหม่ได้หลายครั้ง โดยประสิทธิภาพจะลดลงตามการใช้งาน (จเรวัฒน์, 2550)

แบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 ชนิด แบบแรกเป็นแบบชนิดปฐมภูมิ (Primary batteries) จะถูกใช้งานได้เพียงครั้งเดียวแล้วนำไปทิ้ง ซึ่งไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับใหม่ได้ ตัวอย่าง แบตเตอรี่อัลคาไลน์ ที่ใช้สำหรับไฟฉาย และอุปกรณ์พกพา แบบที่สองเป็นแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ (Rechargeable batteries) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟใหม่และนำกลับมาใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับได้ ตัวอย่าง แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด นิกเกิล-แคดเมียม ที่ใช้ในยานพาหนะและแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ที่ใช้สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบเคลื่อนย้ายได้ (รักษพล, 2564)

2.2 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid batteries; LABs)

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ถูกค้นพบมานานกว่า 100 ปี ปัจจุบันแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด เป็นแบตเตอรี่ชนิดที่ใช้กันมากที่สุด เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นชนิดที่มีราคาถูกจากการที่ใช้วัสดุที่หาได้ง่าย และมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน นอกจากนี้ยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด สามารถใช้สำหรับจุดระเบิดเครื่องยนต์ และใช้เป็นหน่วยจ่ายพลังงานฉุกเฉินในขณะที่ไฟฟ้าดับ หรือใช้ในรถขนส่งไฟฟ้าในโรงงานที่อากาศไม่ถ่ายเท ซึ่งในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด จะพบสารตะกั่วซึ่งมีความเป็นพิษ แต่ในขณะนี้ได้มีการนำแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมารีไซเคิล โดยร้อยละ 95-97 ของตัวแบตเตอรี่ได้ถูกแปรรูปและนำมาใช้ใหม่ (วลัยพร, 2560)

2.2.1 ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery)

2.2.1.1 แบ่งประเภทตามลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ แบตเตอรี่แบบเปียก และแบตเตอรี่แบบแห้ง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

1) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดแบบเปียก (Flooded type หรือ Wet type)

ในปัจจุบันแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบเปียกยังคงเป็นที่นิยมใช้ในรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากมีราคาต่ำ มีกรดซัลฟิวริกซึ่งเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์บรรจุอยู่ในหม้อแบตเตอรี่ที่ปิดสนิท แบตเตอรี่ประเภทนี้จะมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลว ซึ่งจะต้องคอยเติมน้ำกลั่น เพื่อรักษาไม่ให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วเกินไป โดยสามารถแบ่งย่อยได้ 2 แบบ คือ แบบที่มีฝาปิด-เปิดสำหรับเติมน้ำกลั่นอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง ซึ่งมีอายุการใช้งานโดยประมาณ 1.5-2 ปี แต่ไม่ควรเกิน 3 ปี และแบบที่มีฝาปิด-เปิดโดยไม่ต้องดูแลบ่อย (Maintenance free) แบตเตอรี่แบบนี้มีการใช้น้ำกลั่นน้อยกว่าแบบที่ต้องเติมน้ำกลั่น การดูแลรักษาแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดแบบเปียกแบบสม่ำเสมอจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

2) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดแบบแห้ง (Maintenance free)

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดแบบแห้ง เป็นแบตเตอรี่แบบปิดที่ไม่ต้องเติมน้ำกลั่น เพราะสามารถควบแน่นไฮโดรเจนและออกซิเจนให้กลับเป็นน้ำอยู่ภายในเซลล์แบตเตอรี่ โดยมีลักษณะของอิเล็กโทรไลต์อยู่ในรูปกึ่งของแข็งหรือเจล จึงไม่ต้องมีการเติมน้ำกลั่นบ่อยๆ จึงทำให้ไม่สามารถรั่วไหลออกจากแบตเตอรี่ได้ โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แบบปิดผนึก (Sealed Lead Acid; SLA) และแบบปิดผนึกที่มีวาล์วระบายแรงดัน (Valve Regulator Lead Acid; VRLA) โดยแบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนึกที่มีวาล์วระบายแรงดัน มีการติดตั้งวาล์วเพื่อใช้ระบายความดันก๊าซในเซลล์ เพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสียหาย ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดแบบแห้งที่มีการปิดผนึกมีวาล์วระบายแรงดัน แบ่งย่อยได้อีกสองประเภท คือ แบตเตอรี่แบบเจล (Gel battery or Gel cell) เป็นประเภทที่ใช้เจลเป็นวัสดุดูดซับกรด โดยมีอิเล็กโทรไลต์มีลักษณะเป็นเจล แบตเตอรี่แบบเจลช่วยลดการระเหยและการหกของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และยังมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูง และประเภทแบตเตอรี่ที่ใช้แผ่นซิลิกาไฟเบอร์เป็นตัวดูดซึม (Absorbed Glass Mat; AGM) ซึ่งแผ่นซิลิกาไฟเบอร์จะเป็นตัวดูดซึมระหว่างขั้วแทนการใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นเจลหรือของเหลว โดยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ถูกซับไว้ในแผ่นแยกอิเล็กโทรดที่ทำจากใยแก้วที่ขั้นอยู่ระหว่างแผ่นธาตุขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งแบตเตอรี่ประเภทนี้มีราคาต้นทุนสูง แต่ในปัจจุบันนิยมประเภทแบตเตอรี่ที่ใช้แผ่นซิลิกาไฟเบอร์เป็นตัวดูดซึมมากกว่าแบบเจล เนื่องจากแบบเจลยังมีข้อเสีย คือเมื่อเจลอยู่ในสภาพอากาศที่ร้อน เจลจะเปลี่ยนรูปเป็นสารเหนียวๆ ติดอยู่ที่แผ่นธาตุซึ่งจะเป็นการขัดขวางการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และแผ่นธาตุ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง

2.2.1.2 แบ่งประเภทตามคุณสมบัติเฉพาะกับการใช้งาน

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด สามารถแบ่งประเภทตามคุณสมบัติเฉพาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะจัดแบ่งเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ (นพรุจ, 2554) คือ

1) แบตเตอรี่รถยนต์ (Starting lighting and ignition)

เป็นแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาใช้กับงานลักษณะที่มีการคายประจุน้อย ซึ่งจะใช้กับระบบรถยนต์เป็นส่วนใหญ่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีแผ่นเพลทบางทั้งเพลทบวกและลบ การออกแบบลักษณะบางเพื่อเพิ่มพื้นที่การทำปฏิกิริยา การที่เพลทมีพื้นที่ทำปฏิกิริยามากต่อเซลล์ จะทำให้แบตเตอรี่ประเภทนี้จ่ายกระแสได้สูงโดยใช้เวลาน้อย

2) แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Motive power หรือ Traction battery)

เป็นแบตเตอรี่ประเภทที่ได้รับการออกแบบสำหรับการใช้งานที่มีการคายประจุมาก ส่วนใหญ่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า รถยกไฟฟ้า รถไฟฟ้าในสนามกอล์ฟ แบตเตอรี่ประเภทนี้จะมีจำนวนเพลทต่อเซลล์น้อยกว่าแบบที่ใช้กับรถยนต์ แต่ลักษณะเพลทจะหนาและทนทานกว่า แบตเตอรี่ประเภทนี้มีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก อายุการใช้งานนาน และออกแบบมาให้มีความทนทาน

3) แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้า (Stationary battery)

เป็นแบตเตอรี่ประเภทที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบไฟฟ้าสำรอง เพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับระบบคอมพิวเตอร์ ระบบโทรศัพท์และระบบไฟฟ้าอื่นๆ แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้ามีคุณลักษณะคล้ายกับทั้งแบตเตอรี่รถยนต์และแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีหลักการทำงานโดยเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีแผ่นธาตุบวก (แคโทด) เป็นตะกั่วไดออกไซด์ (Lead dioxide, PbO_2) แผ่นธาตุลบ (แอโนด) เป็นตะกั่วบริสุทธิ์ (Lead; Pb) ธาตุทั้งสองของแบตเตอรี่มีลักษณะพรุนก็เพื่อเพิ่มพื้นผิวที่จะทำปฏิกิริยาให้เกิดไฟฟ้า และมีน้ำกรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (H_2SO_4) ซึ่งตะกั่วออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับไอออนของซัลเฟต (SO_4^{2-}) เกิดเป็นตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) ที่ทั้งธาตุบวกและธาตุลบ โดยอิเล็กตรอนที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ธาตุลบวิ่งผ่านวงจรด้านนอกไปยังธาตุบวก ทำให้เกิดไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้งาน ส่วนไฮโดรเจนจะรวมตัวกับออกซิเจนที่ถูกปล่อยออกมาจากตะกั่วไดออกไซด์กลายเป็นน้ำ เมื่อเราชาร์จไฟเข้าไปในแบตเตอรี่ ปฏิกิริยานี้จะเกิดการย้อนกลับ ซึ่งแบตเตอรี่จะกลับมาใช้งานได้อีก แบตเตอรี่ที่อยู่ในสถานะไฟหมดจะทำให้เกิดผลึกตะกั่วซัลเฟตไปอุดรูพรุน ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ มีปฏิกิริยาดังนี้

ขั้วลบ $$Pb_{(s)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow PbSO_{4(s)} + 2e^-$$

ขั้วบวก $$PbO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 2e^- \underset{\text{ชาร์จ}}{\overset{\text{จ่ายไฟ}}{\rightleftharpoons}} PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

ปฏิกิริยารวม $$Pb_{(s)} + PbO_{2(s)} + 2H_2SO_{4(aq)} \underset{\text{ชาร์จ}}{\overset{\text{จ่ายไฟ}}{\rightleftharpoons}} 2PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

2.2.3 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานทั้งในเรื่องของ ขนาด รูปร่าง ความปลอดภัยในการใช้งาน ลักษณะของการใช้งาน โดยแบตเตอรี่ลูกหนึ่งจะประกอบด้วยส่วนประกอบดังรูปที่ 2.1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เปลือกหม้อ (Container) เป็นภาชนะบรรจุส่วนต่างๆ ของเซลล์แบตเตอรี่ เช่น แผ่นธาตุบวกแผ่นธาตุลบ แผ่นกั้นและน้ำกรดไว้ภายใน ปัจจุบันนิยมทำมาจากพลาสติกจำพวกโพลิเอทิลีนเป็นวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของน้ำกรดซัลฟิวริก สำหรับแบตเตอรี่รถยกจะใช้โลหะด้านนอกเพื่อความแข็งแรงแต่ด้านในจะเป็นพลาสติก

2) ขั้วแบตเตอรี่ (Pole) เป็นแท่งตะกั่วยื่นออกมาจากฝาครอบทั้ง 2 ขั้ว คือขั้วบวก (Positive terminal) และขั้วลบ (Negative terminal) มีสัญลักษณ์มองเห็นได้ที่ฝาครอบหรือขั้วอย่างชัดเจน

3) แผ่นกั้น (Separator) เป็นแผ่นที่อยู่ระหว่างแผ่นธาตุบวกกับแผ่นธาตุลบ มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุทั้งสองชนิดติดต่อถึงกันและเกิดการลัดวงจร คุณสมบัติของแผ่นกั้นที่ดีต้องยอม

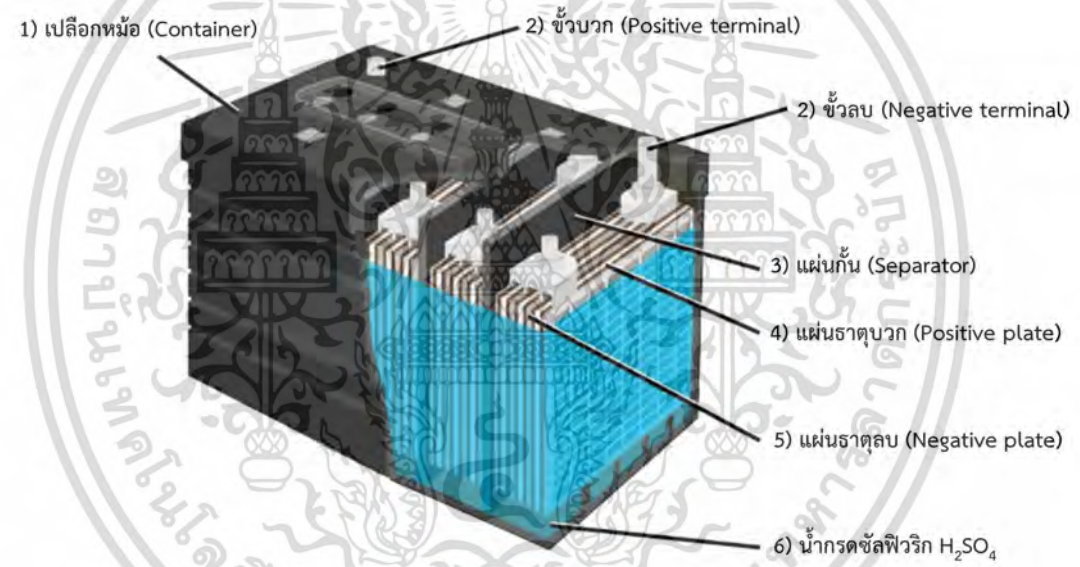
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้โมเลกุลของน้ำกรดผ่านได้สะดวก แต่ต้องไม่ยอมให้ประจุไฟฟ้าไหลผ่านได้ มีหลายชนิด เช่น ไมโครโพรัสรัมเบอร์ กระดาษเซลลูโลส เป็นต้น

4) แผ่นธาตุบวก (Positive plate) เป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทำด้วยตะกั่วไดออกไซต์ (PbO_2) ผงตะกั่วออกไซด์มีสีน้ำตาลฉาบอยู่ในโครงแผ่นธาตุ ลักษณะของแผ่นธาตุมีหลายแบบชนิดแผ่นเรียบและแผ่นหลอด

5) แผ่นธาตุลบ (Negative plate) เป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทำด้วยตะกั่วพรุน (Spongy lead) ผงตะกั่วมีสีเทาฉาบบนโครงแผ่นธาตุ ซึ่งลักษณะของแผ่นธาตุมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ

6) น้ำกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ น้ำกรดจะถูกทำให้เจือจางโดยมีกรดซัลฟิวริกหรือกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ประมาณร้อยละ 38 ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรด 1.260 - 1.280 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส น้ำกรดในแบตเตอรี่เป็นตัวที่ทำให้แผ่นธาตุลบเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจนเกิดกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นมาได้



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ (Shahid, 2022)

2.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion batteries; LIBs)

แบตเตอรี่ลิเทียมถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ยุค 1970s โดยใช้ไททาเนียมซัลไฟด์และโลหะลิเทียมเป็นอิเล็กโทรด แต่การใช้งานไม่เสถียรและเกิดลุกไหม้ได้ จึงได้มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงมาใช้สารประกอบลิเทียมแทนในปัจจุบัน โดยใช้สารประกอบลิเทียม (LiXMA2) เป็นขั้วอิเล็กโทรดบวกและแกรไฟต์เป็นขั้วอิเล็กโทรดลบ โดยใน ปี ค.ศ. 1991 บริษัท Sony and Asahi Kasei ได้เริ่มจำหน่ายแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นครั้งแรก ซึ่งในปัจจุบันความสำคัญหรือการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ 1) การใช้งานใน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพา (Portable Electronics devices) 2) การใช้งานในกลุ่มยานยนต์ (Road transport) และ 3) การใช้เป็นแหล่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงาน Power supply system โดยการใช้งานใน 2 ประเภทแรกมีส่วนแบ่งทางด้านการตลาดที่ค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นปัจจัยสนับสนุนให้แบตเตอรี่ลิเทียมอย่างน้อยอีก 20 ปี น่าจะเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญและคงประสิทธิภาพสูง เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟใหม่ได้ชนิดอื่น ๆ เช่น แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม และแบตเตอรี่นิกเกิล เมทัลไฮไดรด์ เป็นต้น ด้วยเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ถูกพัฒนาให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลง เช่น การพัฒนาวัสดุขั้วแคโทดใหม่ๆ และการนำซากแบตเตอรี่มาผ่านกระบวนการรีไซเคิลเพื่ออนุรักษ์ทรัพยากร คือ โลหะลิเทียมโคบอลต์ และอื่น ๆ ที่มีการคาดการณ์ว่าอาจจะอยู่ในสภาวะที่ขาดแคลนในอนาคต เพื่อเป็นการบริหารจัดการทางด้านพลังงานอย่างยั่งยืน (Energy Sustainability)

2.3.1 คุณสมบัติ ประเภทและการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.3.1.1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

คุณลักษณะที่สำคัญของแบตเตอรี่คือ พลังงานจำเพาะ กำลังจำเพาะ ความทนทานและความปลอดภัย พลังงานจำเพาะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขึ้นอยู่กับขั้วของแคโทด (อิเล็กโทรดขั้วบวก) และขั้วของแอโนด (อิเล็กโทรดขั้วลบ) ซึ่งปัจจุบันในเชิงพาณิชย์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีค่าพลังงานจำเพาะตั้งแต่ 90 ถึง 250 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม ขณะที่ค่ากำลังไฟฟ้าจำเพาะสามารถอธิบายด้วยอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าต่อพลังงาน (P/E Ratio) ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดขึ้นจะอยู่กับแรงดันไฟฟ้า ความหนาแน่นของลิเทียมไอออน ผิวสัมผัสระหว่างของแข็งกับอิเล็กโทรไลต์ (Solid electrolyte interphase, SEI) สัมประสิทธิ์การแพร่ และการนำไฟฟ้าของขั้วอิเล็กโทรด ขณะที่ความทนทานหรืออายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ (Self-discharge) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกสภาวะ แต่จะเกิดขึ้นในสัดส่วนที่มากหรือน้อยนั้นเป็นผลมาจากการใช้งาน ดังนั้นจึงเกิดเงื่อนไขที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ เช่น การทำงานภายใต้อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำ การประจุเกินเวลา (Overcharge) ความลึกการคายประจุ (Deep discharge) และการเสื่อมสภาพเนื่องจากกระแสที่สูงเกินไป นอกจากนี้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สามารถลดลงได้แม้จะถูกเก็บไว้โดยที่ยังไม่ได้ใช้งานและปัจจัยภายนอกโดยเฉพาะอุณหภูมิ โดยรอบอายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับการเก็บประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ (Ghassan Zubi, 2018)

2.3.1.2 ประเภทและการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนได้มีการจัดประเภทตามวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นขั้วแคโทด ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบลิเทียม ดังต่อไปนี้ (Ghassan Zubi, 2018)

1) ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Cobalt Oxide; LCO) เป็นสารประกอบของลิเทียมไอออนชนิดแรกที่เริ่มวางจำหน่ายในปี ค.ศ. 1991 โดยมีลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์เป็นขั้วแคโทด มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ $LiCoO_2$ และแกรไฟต์เป็นขั้วแอโนด ซึ่งให้พลังงานจำเพาะ 150–190 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม โดยแบตเตอรี่ LCO เป็นตัวเลือกยอดนิยมสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พกพา เช่น โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต และแล็ปท็อป มีจำนวนรอบการใช้งาน 500-1000 รอบเต็ม และมีอายุการใช้งานที่สั้น ข้อเสียหลักของแบตเตอรี่ LCO คือ มีความปลอดภัยต่ำเนื่องจากโคบอลต์ออกไซด์มีเสถียรภาพทางอุณหภูมิต่ำ อาการแบตบวม (Thermal runaway) จะเริ่มเกิดเมื่อแบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 150 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีเรื่องของช่วงการใช้งานที่สั้น (Short lifespan) จึงต้องมีการประจุไฟใหม่บ่อยครั้ง

2) ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (Lithium Manganese Oxide; LMO) เป็นสารประกอบที่เริ่มวางจำหน่ายในปี ค.ศ. 1996 โดยแคโทดทำจากสารประกอบลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ ซึ่งมีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ $LiMn_2O_4$ มีรูปแบบโครงสร้างเป็นแบบสปิเนล ซึ่งช่วยให้การไหลของไอออนในอิเล็กโทรดดีขึ้น ส่งผลให้มีความต้านทานภายในต่ำ มีอายุการใช้งาน 1,000–1500 รอบ มีพลังงานจำเพาะค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 100–140 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม อาการแบตบวมของแบตเตอรี่ LMO จะเกิดขึ้นเมื่อแบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 250 องศาเซลเซียส นอกจากนี้แบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่มีโคบอลต์เป็นส่วนประกอบ และใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยส่วนใหญ่จะใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า (Electric bicycle, e-bikes) เครื่องมือทางไฟฟ้า และอุปกรณ์ทางการแพทย์

3) ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (Lithium Iron Phosphate; LFP) เป็นสารประกอบของลิเทียมไอออนที่เริ่มวางจำหน่ายในปีค.ศ. 1999 โดยแคโทดทำจากสารประกอบลิเทียมไอรอนฟอสเฟต มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ $LiFePO_4$ ขณะที่ส่วนมากจะใช้แกรไฟต์เป็นวัสดุที่ขั้วแอโนด มีความทนทาน ปลอดภัย ใช้วัสดุที่มีมากในธรรมชาติและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีจำนวนรอบการใช้งานสูงสุดถึง 2000 รอบ และมีประสิทธิภาพคงที่ แต่มีพลังงานจำเพาะต่ำอยู่ในช่วง 90–140 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม ซึ่งเป็นข้อเสียเปรียบเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทอื่น ในปัจจุบันนี้แบตเตอรี่ LFP มีบทบาทสำคัญในรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV) และรถจักรยานไฟฟ้า รวมไปถึงในระบบจ่ายไฟทั้งระบบออฟกริด (Off-Grid) และระบบโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Grid-Connected)

4) ลิเทียมนิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์ (Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide; NCA) ถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ในปีค.ศ. 1999 โดยแคโทดทำจากสารประกอบลิเทียมนิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์หรือ $LiNiCoAlO_2$ มีแกรไฟต์เป็นขั้วแอโนด โดยทั่วไปแล้วขั้วแคโทดของ NCA จะใช้ส่วนผสมของนิกเกิลร้อยละ 80 โคบอลต์ร้อยละ 15 และอะลูมิเนียมร้อยละ 5 ซึ่งจะเห็นว่ามีการใช้งานโคบอลต์ในปริมาณไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ LCO แบตเตอรี่ NCA มีค่าพลังงานและกำลังจำเพาะที่สูงมาก โดยมีค่าพลังงานจำเพาะสูงสุดถึง 250 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม และมีรอบการทำงานอยู่ที่ 1,000–1500 รอบ ในปัจจุบันเทสลา (Tesla) ได้ใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ในรถยนต์ไฟฟ้า และยังมีการคาดการณ์ว่าจะถูกนำมาใช้ในระบบโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้าในอนาคต

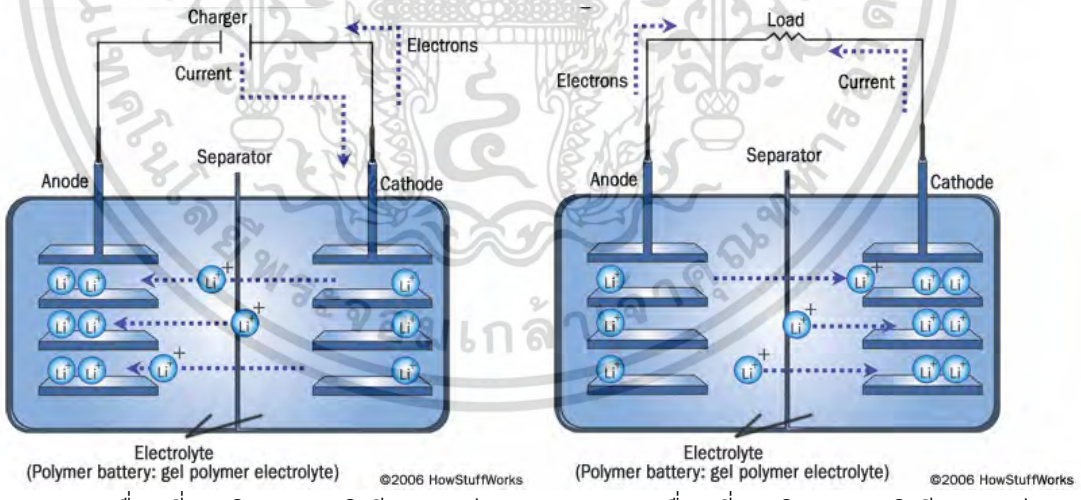
5) ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide; NMC) มีแคโทดทำจากสารประกอบลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ทางเคมีคือ $LiNiMnCoO_2$ และมีแกรไฟต์เป็นขั้วแอโนด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ NCA แล้วพบว่า แบตเตอรี่ NMC มีค่าพลังงานจำเพาะที่ต่ำกว่าซึ่งจะอยู่ในช่วงประมาณ 140–200 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม ในขณะที่มีอายุการใช้งานนานถึง 1,000-2,000 รอบ สัดส่วนของนิกเกิล แมงกานีส และโคบอลต์อาจเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของแบตเตอรี่ที่มีการปรับสัดส่วนให้เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะ โดยการเพิ่มสัดส่วนของนิกเกิลจะช่วยเพิ่มพลังงานจำเพาะ ขณะที่การเพิ่มสัดส่วนของแมงกานีสจะเป็นการเพิ่มกำลังจำเพาะ แบตเตอรี่ NMC ถูกนำมาใช้งานในรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in hybrid electric vehicle; PHEV) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับพกพา เครื่องมือไฟฟ้า และอุปกรณ์ทางการแพทย์

2.3.2 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ในกระบวนการอัดประจุ (Charge) ไอออนของลิเทียมจะเคลื่อนออกจากโครงสร้างของขั้วบวก (Cathode) ผ่านเยื่อเลือกผ่านหรือแผ่นกั้น (Separator) เข้าสู่ขั้วลบ (Anode) และเกิดเป็นสารประกอบของลิเทียมและคาร์บอน ในขณะเดียวกันอิเล็กตรอนจะเคลื่อนจากขั้วบวกสู่ขั้วลบผ่านวงจรภายนอก ขณะที่กระบวนการคายประจุ (Discharge) ปฏิกิริยาจะเกิดในทางตรงกันข้าม กล่าวคือ ไอออนของลิเทียมจะเคลื่อนออกจากโครงสร้างของขั้วลบ ผ่านเยื่อเลือกผ่าน เข้าสู่ขั้วบวก และเกิดเป็นสารประกอบของลิเทียมไอออนชนิดตามที่ใช้เป็นวัสดุขั้วแคโทดเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 กระบวนการที่ไอออนของลิเทียมสอดแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของวัสดุขั้วบวกหรือขั้วลบ เรียกว่า Lithium intercalation หรือ Lithium insertion (Batterycenter, 2014)



1) การเคลื่อนที่ของอิออนของลิเทียมระหว่างกระบวนการอัดประจุไฟใหม่ (Charge)

2) การเคลื่อนที่ของอิออนของลิเทียมระหว่างกระบวนการคายประจุ (Discharge)

รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Batterycenter, 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

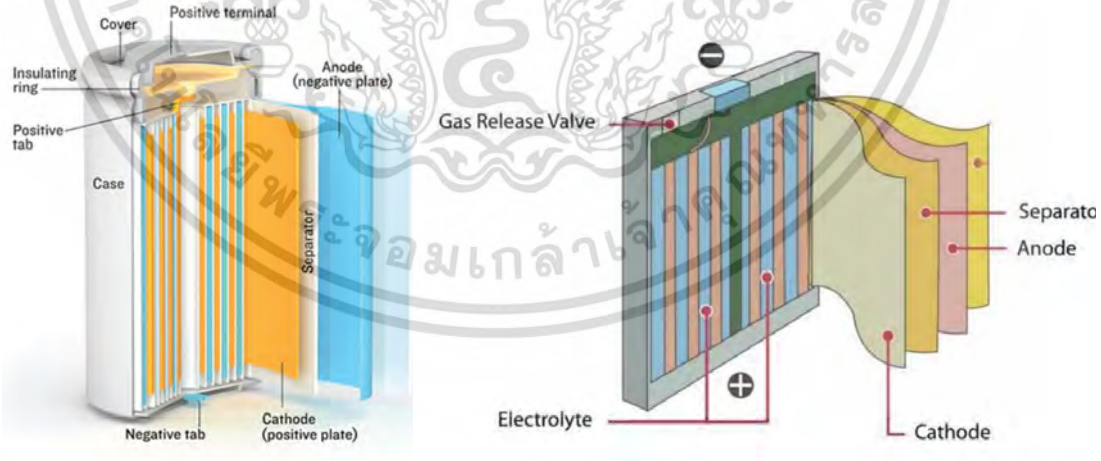
แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ขั้วไฟฟ้า (Electrode) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) แผ่นกั้น (Separator) และตัวรับกระแส (Current collector) (Ghassan Zubi, 2018) ซึ่งมีหน้าที่และองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ดังนี้

1) ขั้วไฟฟ้า (Electrode) ประกอบด้วยขั้วแคโทด (Cathode foil) ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้เป็นวัสดุประเภทลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium cobalt oxide; LCO) ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (Lithium manganese oxide; LMO) ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต (Lithium iron phosphate; LFP) และลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium nickel manganese cobalt oxide; NMC) ขณะที่ขั้วแอโนด (Anode foil) จะนิยมใช้เป็นวัสดุประเภทแกรไฟต์ (Graphite)

2) อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) คือ สารละลายที่สามารถนำไฟฟ้าได้ โดยอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนจะมีส่วนผสมของเกลือลิเทียมและสารละลายอินทรีย์ ซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ยอมให้ไอออนไหลผ่านแต่ไม่ยอมให้อิเล็กตรอนไหลผ่าน ดังนั้นจึงเป็นตัวนำไอออนิกที่ดีแต่เป็นตัวนำอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ดี

3) แผ่นกั้น (Separator) คือ สารประกอบที่กั้นระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจร โดยเป็นสารประกอบที่ลิเทียมไอออนสามารถซึมผ่านได้ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วใช้เป็นวัสดุประเภทโพลีเอทิลีน (Polyethylene) และโพลีโพรไพลีน (Polypropylene) ในการทำแผ่นกั้น

4) ตัวรับกระแส (Current collector หรือ Tabs) คือ โลหะตัวนำที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนไหลผ่านออกสู่วงจรภายนอก และเกิดการนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ต่างๆ



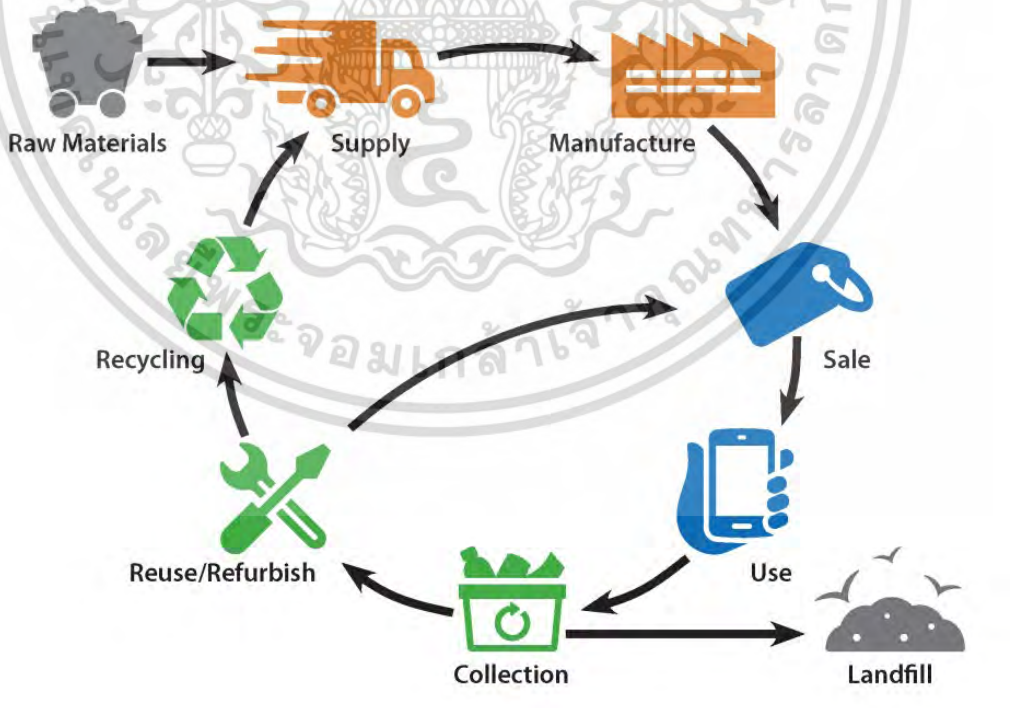
1) แบบแท่งกลม 2) แบบแท่งเหลี่ยม

รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (สงบ คาค้อ, 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วัฏจักรการใช้งานแบตเตอรี่

รูปที่ 2.4 แสดงภาพรวมของวัฏจักรการใช้งานแบตเตอรี่ โดยการผลิตแบตเตอรี่ใหม่จะใช้วัตถุดิบตั้งต้น (raw material) เช่น สารเคมี โลหะ และวัสดุอื่นๆ โดยการดำเนินการของฝ่ายจัดหาและจัดส่ง (supply) วัตถุดิบจากแหล่งผลิตมายังโรงงานผลิตแบตเตอรี่ เพื่อใช้ในกระบวนการผลิต (manufacture) ซึ่งแบตเตอรี่มีการผลิตตามกระบวนการที่กำหนด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและปลอดภัยตามมาตรฐานเพื่อจัดจำหน่าย (sale) ให้กับผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งเก็บพลังงานเมื่อผ่านใช้การงาน (use) หากมีการส่งเข้าระบบการจัดการจะถูกรวบรวมและคัดแยกแบตเตอรี่ (collection) โดยผู้รับกำจัดมีหน้าที่จัดการ เช่น แบตเตอรี่ขนาดเล็กจะถูกทิ้งให้เป็นของเสียที่เป็นอันตรายและไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้มักจะนำไปฝังกลบ (landfill) หากแบตเตอรี่ยังมีประสิทธิภาพที่สามารถนำมาใช้งานได้ จะถูกเก็บรวบรวมมาปรับปรุงหรือซ่อมแซมสภาพก่อนจะใช้งานอีกครั้ง (reuse/refurbish) ถือเป็นแบตเตอรี่มือสองที่สามารถนำกลับไปจำหน่ายเพื่อให้ผู้บริโภคใช้งานได้ตามความเหมาะสมได้ เมื่อแบตเตอรี่หมดสภาพการใช้งานหรือกล่าวได้ว่าเป็นซากแบตเตอรี่จะมีการนำไปรีไซเคิล โดยการแยกส่วนประกอบและการสกัดสารประกอบในแบตเตอรี่เพื่อกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตได้อีกครั้ง การนำแบตเตอรี่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลมีประโยชน์อย่างมากในการลดปริมาณของการใช้งานของวัตถุดิบใหม่และลดปริมาณของการจัดการซากแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นกระบวนการที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.4 วัฏจักรการใช้งานแบตเตอรี่ (U.S. EPA, 2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การจัดการแบตเตอรี่

ในปัจจุบันมีการใช้แบตเตอรี่ขนาดเล็กมากกว่าขนาดใหญ่จำนวนมากถึง 10 เท่า โดยพบโลหะซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีความเป็นพิษจากแบตเตอรี่ขนาดเล็กที่หมดอายุมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมกับแบตเตอรี่รถยนต์เท่านั้นที่ได้มีการนำมารีไซเคิลเพื่อเอาวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่ โลหะ ตะกั่ว นิกเกิล แคดเมียม สังกะสี เงิน แมงกานีส สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และตัวถังพลาสติก ส่วนแบตเตอรี่ขนาดเล็กจะถูกทิ้งให้เป็นของเสียที่เป็นอันตรายและไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ โดยจะนำไปฝังกลบ ซึ่งถ้าใกล้แหล่งน้ำอาจทำให้สารพิษจำพวกนิกเกิล แคดเมียม หรือปรอทไหลออกจากแบตเตอรี่ที่เกิดจากการกระแทกหรือแตกหักของตัวถัง หากนำไปเผาในเตาเผาขยะตามหน่วยงานระดับเทศบาลต่างๆ อาจก่อให้เกิดควันและฝุ่นละอองโลหะฟุ้งกระจายเป็นวงกว้าง ในต่างประเทศนั้นได้มีกฎข้อบังคับในเมืองใหญ่ว่า ห้ามนำแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วไปเผาในเตาเผาขยะชุมชนและห้ามนำไปฝังกลบเหมือนขยะทั่วไป แต่ให้มีการนำมาผ่านกระบวนการรีไซเคิลก่อนหรือกำจัดได้โดยการฝังกลบอย่างปลอดภัยสำหรับของเสียที่มีพิษโดยเฉพาะ (อินธิราช, 2559)

2.5.1 หน่วยงานที่กำกับดูแลการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) เป็นหน่วยงานส่วนราชการระดับกรม สังกัดกระทรวงอุตสาหกรรม โดยมีหน้าที่ในการบริหาร จัดการ และกำกับดูแลธุรกิจอุตสาหกรรม โดยยึดแนวทางการรักษาสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย สุขอนามัย และประหยัดพลังงาน รวมไปถึงสนับสนุนข้อมูล และองค์ความรู้ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาธุรกิจอุตสาหกรรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดรหัสสำหรับการจัดการสำหรับการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (waste management codes) ซึ่งระบุไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549) มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว สามารถแบ่งเป็น 8 ประเภท

ประเภท	วิธีการจัดการ
01	การคัดแยก (sorting)
02	การกักเก็บในภาชนะบรรจุ (storage)
03	การนำกลับมาใช้ซ้ำ (reuse)
04	การนำกลับมาใช้ประโยชน์อีก (recycle)
05	การนำกลับคืนมาใหม่ (recovery)
06	การบำบัด (treatment)
07	การกำจัด (disposal)
08	การจัดการด้วยวิธีอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 รหัสเลข 3 หลัก สำหรับการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ตามประเภทในข้อ 2.1 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

รหัส	วิธีการจัดการ
011	คัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ
021	กักเก็บในภาชนะบรรจุ
032	ส่งกลับผู้ขายเพื่อกำจัด
039	นำกลับมาใช้ซ้ำด้วยวิธีอื่นๆ
042	ทำเชื้อเพลิงผสม
043	เผาเพื่อเอาพลังงาน
049	นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ
051	เข้ากระบวนการนำตัวทำละลายกลับมาใหม่
052	เข้ากระบวนการนำโลหะกลับมาใหม่
071	ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล เฉพาะของเสียไม่อันตรายเท่านั้น
073	ฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว
075	เผาทำลายในเตาเผาเฉพาะสำหรับของเสียอันตราย
079	กำจัดด้วยวิธีอื่นๆ
081	รวบรวมและส่งออกนอกประเทศ

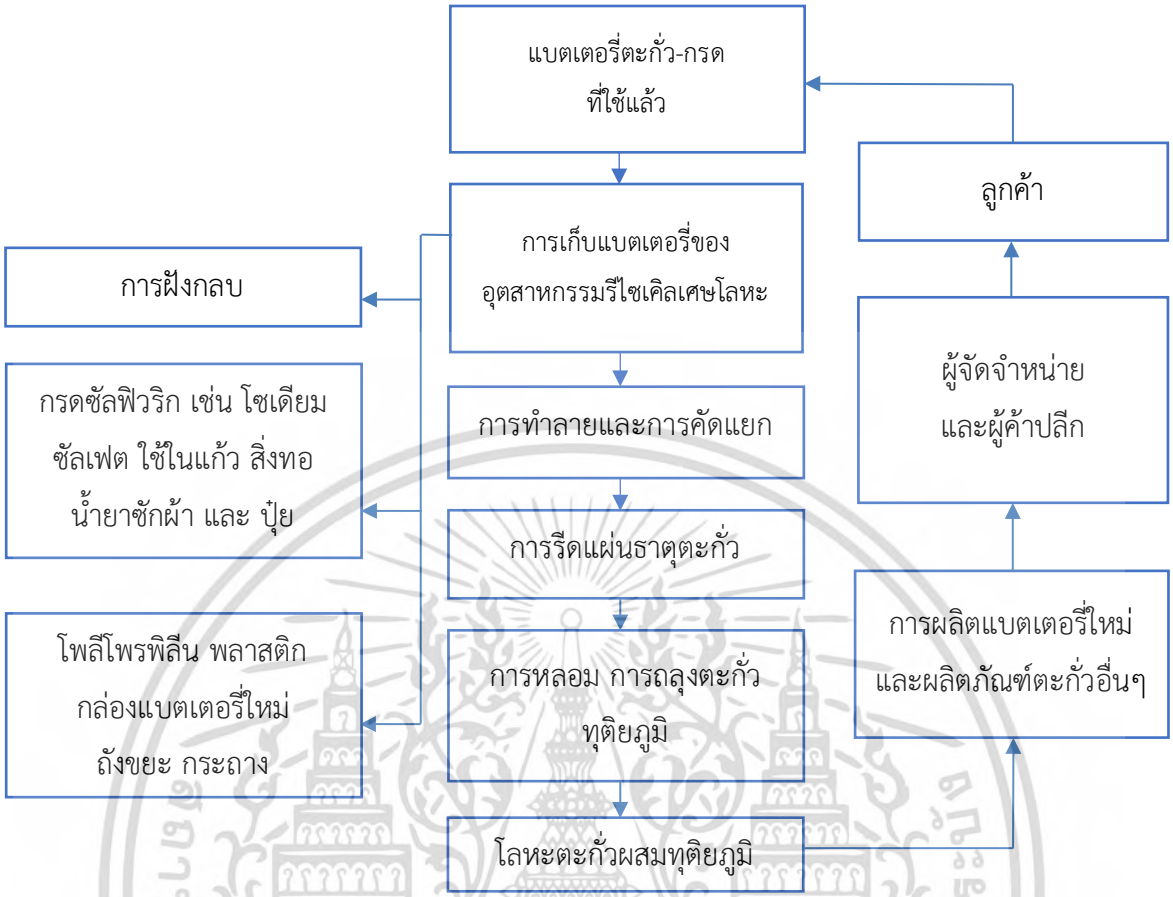
2.5.2 กระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

ในกระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด มีหลากหลายกระบวนการ ในหัวข้อนี้ขอยกตัวอย่างแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ที่ได้รับความนิยม จำนวน 4 วิธี ได้แก่ การนำกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีอื่นๆ (049) การฝังกลบ (073) การกักเก็บในภาชนะบรรจุ (021) และ การคัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ (011) มีกระบวนการดังรูปที่ 2.5รูปที่ 2.8

2.5.2.1 การกำจัดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดนำกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีอื่นๆ (049)

จากรูปที่ 2.5 กระบวนการนำซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีอื่นๆ โดยแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ร้อยละ 97 สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการรีไซเคิลส่วนประกอบของตะกั่ว พลาสติก และกรดจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ โดยแผ่นแบตเตอรี่ ขั้วต่อระหว่างเซลล์ และขั้วแบตเตอรี่ที่ทำจากตะกั่วจะถูกหลอมลงในเตาถลุง จากนั้นตะกั่วหลอมเหลวจะก่อตัวเป็นแท่งโลหะเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดใหม่ กรดซัลฟิวริกจะถูกแปลงเป็นโซเดียมซัลเฟตเพื่อใช้ในการผลิตแก้ว สิ่งทอ น้ำยาซักผ้า และปุ๋ย ส่วนกล่องพลาสติกโพลีโพรพิลีนและฝาปิดกล่องแบตเตอรี่ถูกบดและส่งไปผลิตเป็นกล่องแบตเตอรี่ใหม่ ถังขยะ กระถางต้นไม้ ฯลฯ

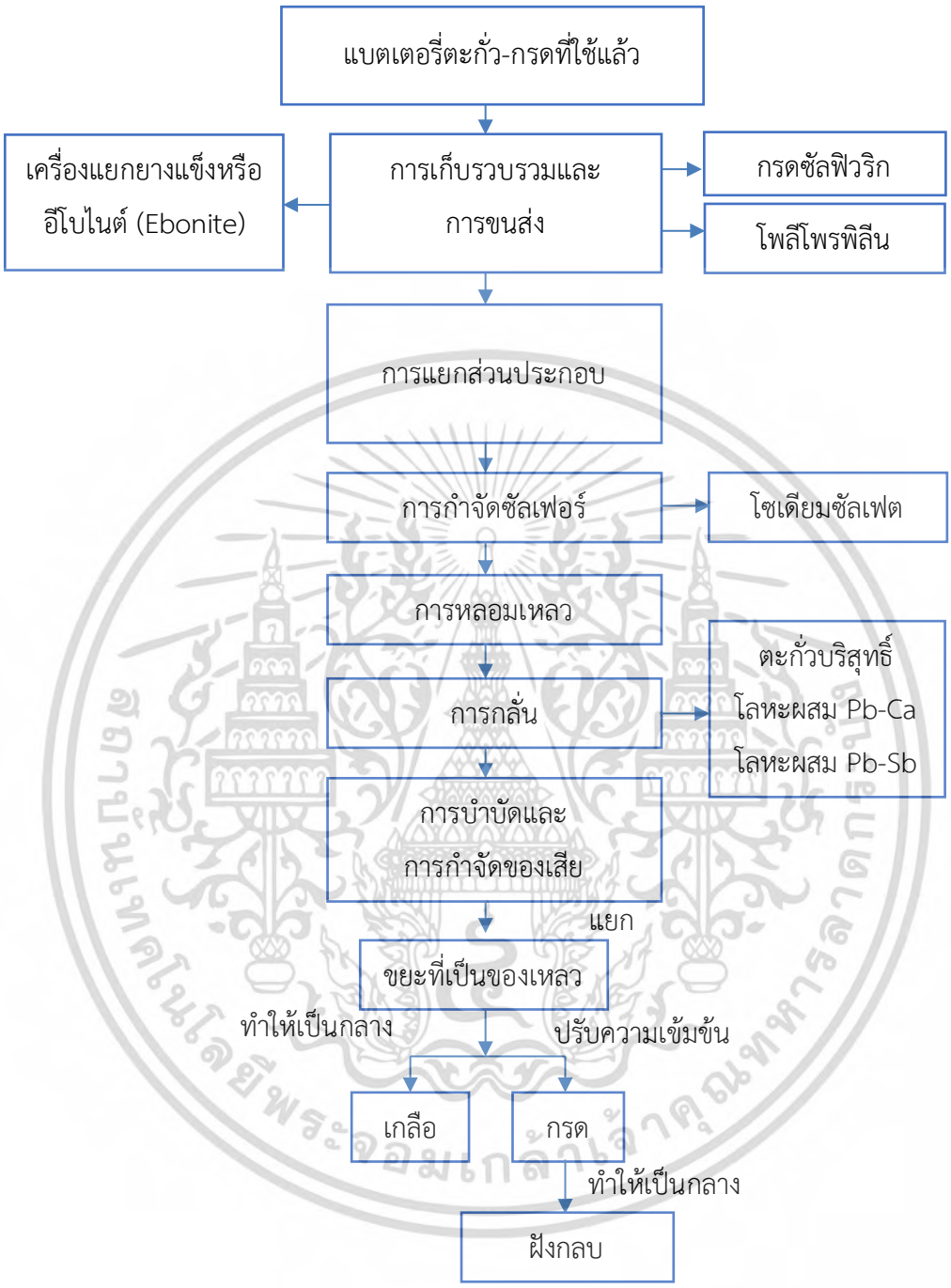
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 กระบวนนำซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีอื่นๆ (Xiaowu Jie, 2022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 การกำจัดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ด้วยวิธีการฝังกลบ (073)

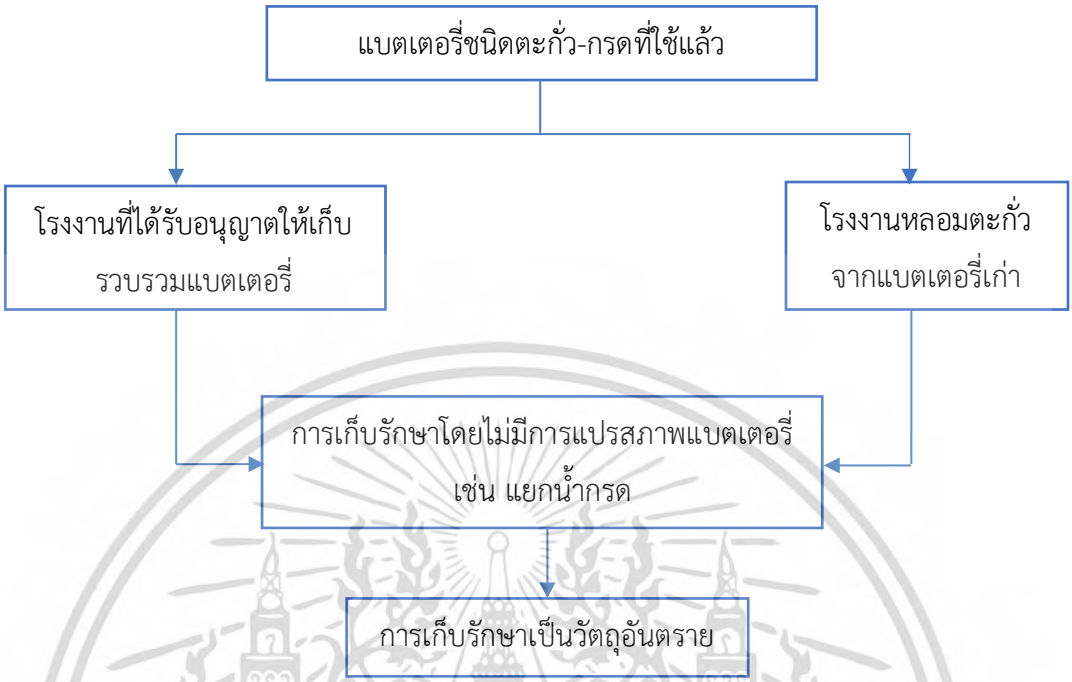


รูปที่ 2.6 กระบวนการจัดการฝังกลบแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Dehghani-Sanij, 2019)

จากรูปที่ 2.6 กระบวนการจัดการแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ก่อนการฝังกลบ โดยนำสารละลายกรดไปทำให้มีค่าเป็นกลาง โดยการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ก่อนนำไปฝังกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

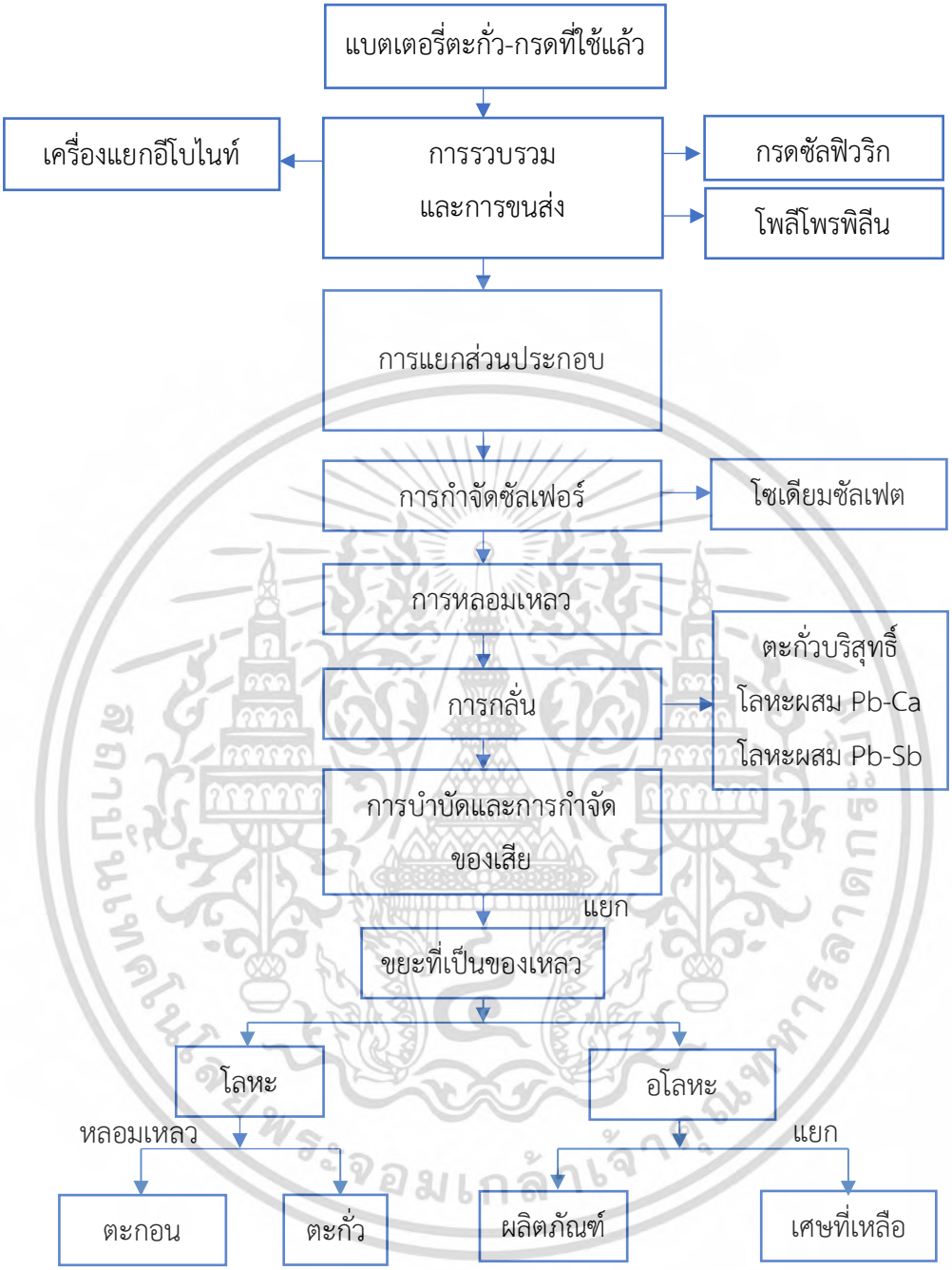
2.5.2.3 การกำจัดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด กักเก็บในภาชนะบรรจุ (021)



รูปที่ 2.7 กระบวนกักเก็บในภาชนะบรรจุ (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.4 การกำจัดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด คัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ (011)



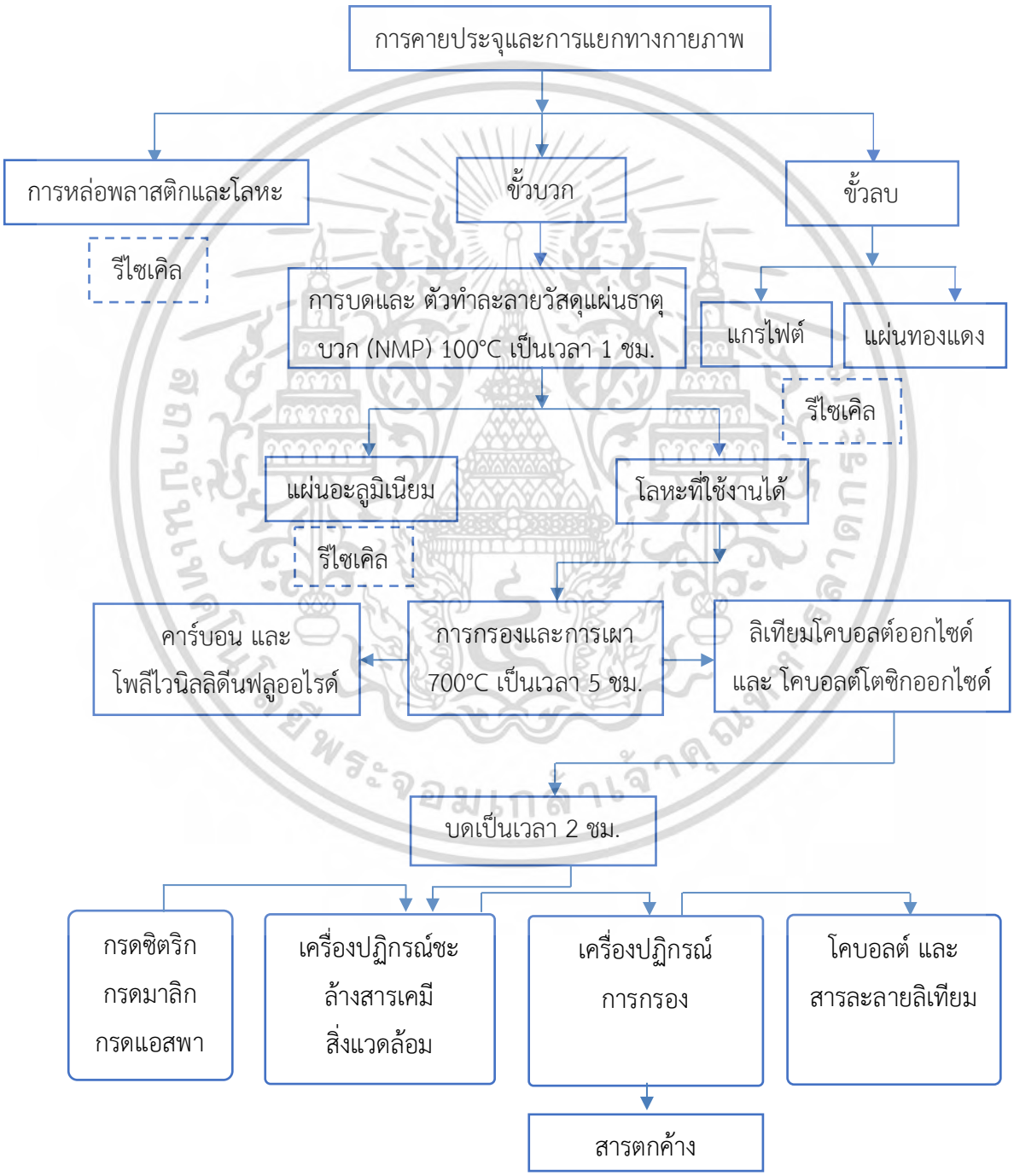
รูปที่ 2.8 กระบวนคัดแยกประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดเพื่อจำหน่ายต่อ (Xiaowu Jie, 2022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 กระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน 3 วิธี ได้แก่ การฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073) การกักเก็บในภาชนะบรรจุ (021) และ การนำกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีอื่นๆ (049) มีกระบวนการดังรูปที่ 2.9 รูปที่ 2.11

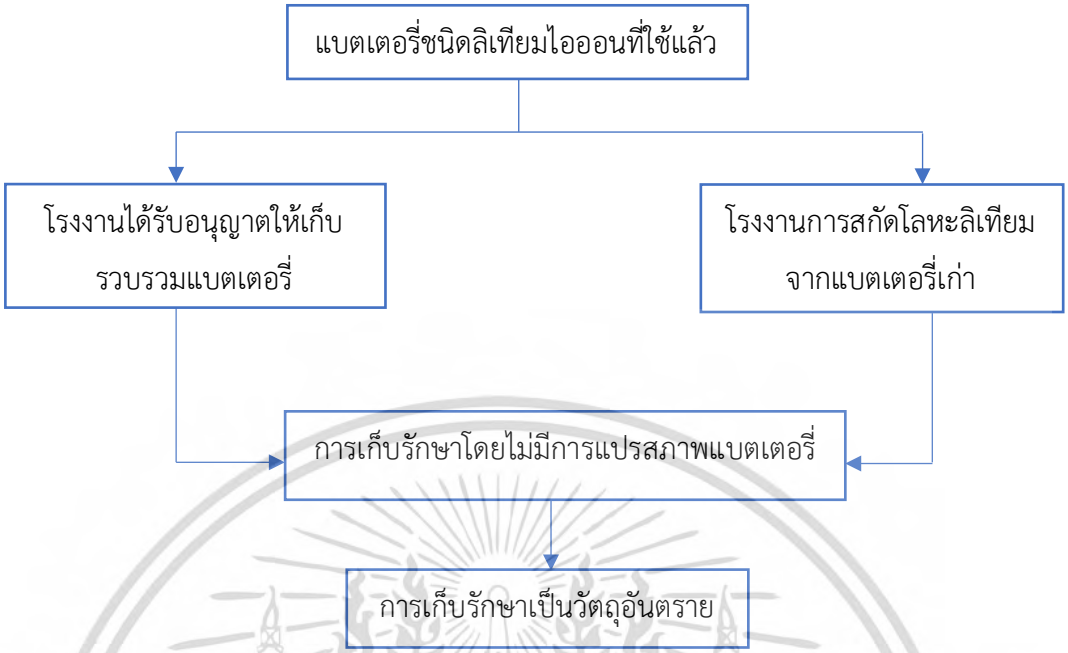
2.5.3.1 การกำจัดแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073)



รูปที่ 2.9 ฝังกลบอย่างปลอดภัย (Dehghani-Sanij, 2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.2 การกำจัดแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน กักเก็บในภาชนะบรรจุ (021)



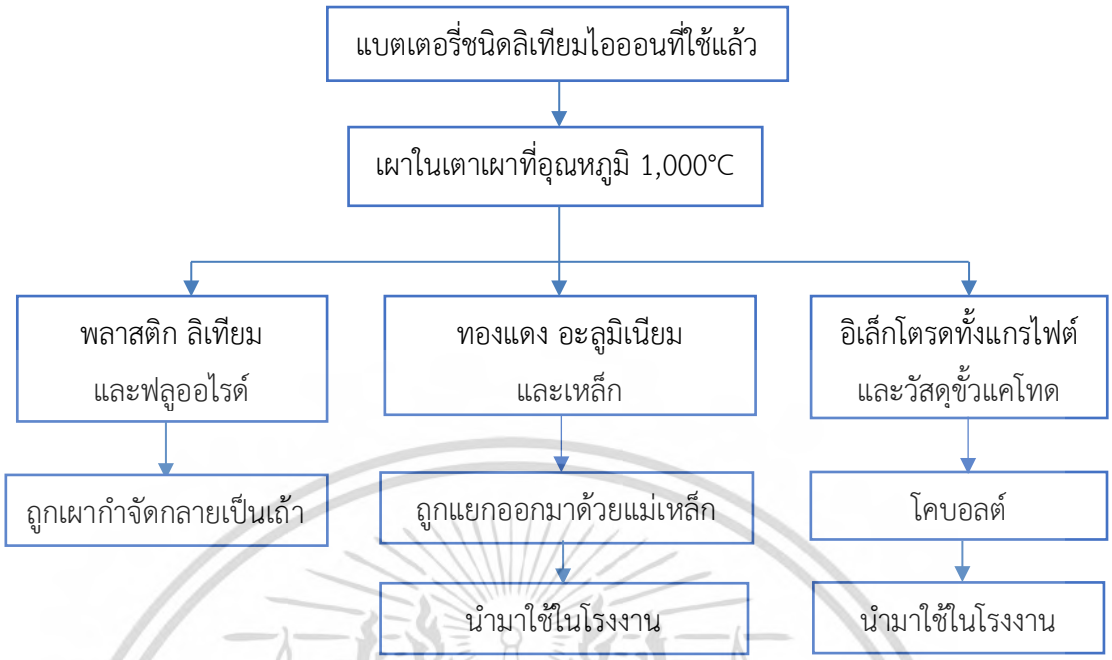
รูปที่ 2.10 กระบวนกักเก็บในภาชนะบรรจุ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2560)

2.5.3.3 การกำจัดแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน นำกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีอื่นๆ (049)

กระบวนการรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเทียมเพื่อนำกลับคืนโคบอลต์ออกไซด์ที่มีราคาสูงและสามารถนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตแบตเตอรี่อีกครั้ง ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นหนึ่งในกระบวนการแรกเริ่มที่ถูกพัฒนาเพื่อการรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเทียม

กระบวนการเริ่มจากเผาซากแบตเตอรี่ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ทำให้สารออแกนิก พลาสติก ลิเทียม และฟลูออไรด์ถูกเผากำจัดกลายเป็นเถ้า ก้อนโลหะที่หลงเหลือภายหลังจากการเผาจะประกอบไปด้วยทองแดงและอะลูมิเนียมและเหล็กซึ่งจะถูกแยกออกมาด้วยแม่เหล็ก ส่วนผงที่ประกอบไปด้วยอิเล็กโตรดทั้งแกรไฟต์และวัสดุขั้วแคโทด ($LiCoO_2$ และ/หรือ $LiCo_xNi_{(1-x)}O_2$) จะถูกนำมาสกัดด้วยกระบวนการโลหวิทยาสารละลายจนได้โคบอลต์กลับคืนมาที่โรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 กระบวนการรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเทียม
(สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2562)

2.6 การวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis; MFA)

การวิเคราะห์ผังการไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis; MFA) เป็นทฤษฎีการวิเคราะห์ที่ใช้อธิบายปริมาณสารขาเข้าและออกรวมถึงปริมาณสารที่สะสมในระบบหนึ่งภายในขอบเขตและระยะเวลาที่กำหนด โดยในการศึกษานี้ ได้ใช้ซอฟแวร์ Substance flow analysis (STAN) version 2.6 ซึ่งเป็นฟรีแวร์ ที่พัฒนาโดย Technische Universitat Wien ในการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ ระดับวัสดุ และระดับสสาร โดยใช้หลักการสมดุลมวล (Mass balance) โดยมีสมการที่เกี่ยวข้องคือ

สารที่สะสมในระบบ = สารที่เข้าสู่ระบบ – สารที่ออกจากระบบ

ขั้นตอนเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์การไหลของสาร อาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ การวิเคราะห์ระบบ และการเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถแยกเป็นขั้นตอนย่อยๆ ได้ดังนี้

1. เลือกขอบเขตของระบบ (System boundary) สารหรือวัสดุ (Substance, Material) และระยะเวลาที่สนใจจะศึกษาเก็บข้อมูล

2. ระบุผลิตภัณฑ์สินค้า กระบวนการผลิต ขนส่ง แปรรูป ที่เกี่ยวข้องกับสารที่สนใจ

3. เขียนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย และการไหลของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เก็บข้อมูล เช่น ปริมาณผลิตภัณฑ์สินค้า (การผลิต ขนส่ง อุปโภคบริโภค) ปริมาณสินค้าที่หมดสภาพกลายเป็นขยะเพื่อทิ้ง กำจัดหรือนำกลับมาใช้ใหม่ ปริมาณสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์นั้นๆ รวมถึงปริมาณมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม

5. คำนวณปริมาณการไหลของสาร ใช้หลักสมดุลมวลสารที่กล่าวแล้วข้างต้น

6. เขียนแผนภูมิเชิงปริมาณ สรุปผลการวิเคราะห์แสดงการไหลของสารทั้งระบบ

ผังการไหลจะช่วยให้เข้าใจเส้นทาง ปริมาณ และวิธีการจัดการกับซากผลิตภัณฑ์ เป็นประโยชน์สำหรับผู้ออกแบบ กำหนดนโยบายใช้สำหรับการออกแบบนโยบาย มาตรการที่เหมาะสมสำหรับการจัดการซากผลิตภัณฑ์ได้ ทั้งนี้ผังการไหลที่จัดทำสามารถทำได้ทั้งในระดับวัสดุคือ ปริมาณมวลของซากผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด และในระดับสสารที่แสดงเฉพาะธาตุที่สนใจทั้งโลหะที่มีค่าและมลพิษที่เกิดขึ้น ดังนั้นการทำผังการไหลเพื่อนำมาช่วยในการจัดการซากผลิตภัณฑ์ฯ ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายทั้งในต่างประเทศและในประเทศ

2.7 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) ของผลิตภัณฑ์ เป็นกระบวนการประเมินหาปัญหา และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในเชิงปริมาณ ของผลิตภัณฑ์ทั้งวัฏจักรชีวิต โดยทำการวิเคราะห์ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่ การแปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยระบุถึงปริมาณพลังงาน และวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อนำผลที่ได้ ไปกำหนดนโยบายการออกแบบผลิตภัณฑ์ การปรับกระบวนการผลิต หรือเพิ่มทางเลือกในการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการใช้ทรัพยากร อย่างมีประสิทธิภาพ (เวชการ, 2550)

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แตกต่างจากการวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ คือ การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์จะรวมถึงการพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน จนถึงการกำจัดผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพหรือหมดอายุการใช้งานแล้ว เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการร่วมพิจารณากิจกรรมอื่นๆ ตั้งแต่เกิดจนตายของแต่ละผลิตภัณฑ์ (Cradle to Grave) เหล่านี้ทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์และรับทราบถึงที่มาและสาเหตุของปัญหาอย่างแท้จริง การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition) สิ่งแรกที่ต้องทำในการประเมินวัฏจักรชีวิตคือการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของสิ่งที่เราต้องการศึกษาว่าเราต้องการศึกษาอะไร และผลที่ได้จากการศึกษาจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เป้าหมายหลักของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ มีความแตกต่างกัน ได้แก่ วิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ และข้อมูลในเชิงตัวเลขค่อนข้างมาก เพื่อจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นช่องทางการสื่อสารระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคให้รับทราบถึงผลกระทบจากผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ซึ่งต้องอาศัยความรู้และข้อมูล เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อ เป้าหมายเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ขอบเขตของการศึกษา ทั้งนี้หากวัตถุประสงค์ของการศึกษาต้องการได้ผลที่มีความน่าเชื่อถือสูง ขอบเขตการศึกษา ระยะเวลาการศึกษา และงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาก็จะสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้ผลจากการศึกษาจะเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนากระบวนการผลิต หรือออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้ต่อไป

2) การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม คือ การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องภายในขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษา โดยข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมควรจะครอบคลุมถึงรายละเอียดของกระบวนการผลิตและผังการไหล (Flow chart) ของกระบวนการผลิต และปริมาณสารขาเข้า-สารขาออกของระบบทั้งหมด

3) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment; LCA) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เป็นการคำนวณเพื่อแปลงข้อมูลบัญชีรายการที่ได้จากการรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์และจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปของผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่ออธิบายค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขั้นกลางหรือปลายทางที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงชีวิตโดยตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์สามารถจำแนกออกได้เป็นขั้นตอนต่างๆ หลายขั้นตอน ในที่นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนหลักดังนี้

3.1) การจำแนกประเภทข้อมูลเป็นกลุ่มของผลกระทบ (Classification) เป็นขั้นตอนการจำแนกผลกระทบข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกที่มีต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ เช่น ก๊าซมีเทน (CH_4) ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของสารที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เป็นต้น นอกจากนี้สารเคมีบางตัวก็จัดให้อยู่ในกลุ่มของสารที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากกว่า 1 ประเภท ได้แก่ การจัดให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นสารที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในลักษณะของการก่อให้เกิดความเป็นกรด ทั้งนี้ตัวอย่างผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมของสารชนิดต่างๆ

3.2) การกำหนดบทบาท (Characterization) เป็นขั้นตอนการแสดงผลกระทบให้อยู่ในรูปแบบของตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่าแฟคเตอร์ (Characterization factor) ในการคูณเพื่อปรับค่าจากปริมาณของมลสารที่ปล่อยออกมาให้เป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบ หลังจากนั้นจะทำการรวมค่าทั้งมหดของผลกระทบแต่ละตัวเพื่อให้ได้ค่าผลกระทบรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3) การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) คือ การแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์การบริการที่ศึกษา กับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ในระดับประเทศ ภูมิภาค ระดับโลกหรือกับผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ต้องอ้างอิง

3.4) การให้น้ำหนัก (Weighting) คือ ขั้นตอนในการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจะต่างกันไปขึ้นกับมุมมองของผู้ประเมินว่าจะกำหนดค่ามลภาวะ (Weighting factor) ว่าเป็นเท่าใด

3.5) การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Grouping) เป็นการจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกเป็นหมวดหมู่โดยรวมกลุ่มผลกระทบแยกตามประเภท คือ ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศ และการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติและแหล่งพลังงาน ซึ่งสามารถแบ่งระดับของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หลายระดับ เช่น ระดับท้องถิ่น ระดับโลก เป็นต้น

3.6) การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data quality analysis) เป็นการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลที่ใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ของผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก่อนที่จะแปลผลและนำผลดังกล่าวไปใช้ต่อไป ปัจจัยที่นำมาพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพของข้อมูล ได้แก่ ความเหมาะสมและสอดคล้องของข้อมูลที่ใช้และข้อมูลที่ต้องการตามที่กำหนดไว้ในเป้าหมายการศึกษา โดยดูจากแหล่งที่มาของข้อมูล ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล ความถูกต้องของวิธีการวัดและการคำนวณข้อมูล การเป็นตัวแทนที่เหมาะสมของข้อมูลที่ขาดหายไป ตัวอย่างเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล เช่น การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล (sensitivity analysis) เพื่อจำแนกข้อมูล วิธีการปันส่วน วิธีคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีความอ่อนไหวต่อผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมหรือการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty analysis) เพื่อประเมินระดับความไม่แน่นอนของผลกระทบสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

4) การตีความและการวิเคราะห์เพื่อการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม (Interpretation and Improvement Analysis) การตีความและการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม ของผลิตภัณฑ์ทำให้ทราบว่าช่วงชีวิตใดของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญสูงสุด รวมทั้งแหล่งที่มาของประเด็นปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นๆ การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบจะนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด ทั้งนี้การตีความและการแปรผลควรทำด้วยความระมัดระวังและอยู่บนพื้นฐานของขอบเขตการศึกษา เป้าหมาย วัตถุประสงค์การศึกษาของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ผู้ที่จะนำข้อมูลที่ได้ประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์ และการจัดการสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างดีจึงสามารถเลือกแนวทางการจัดการเพื่อปรับปรุงประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการซากแบตเตอรี่

สงบ คาค้อ (2562) ได้ศึกษา สำรวจ รวบรวมข้อมูลชนิดและปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบเกิดขึ้น พร้อมกับประเมินปริมาณของซากแบตเตอรี่ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต พบว่ามีประเทศไทยมีโอกาสในการพัฒนาเทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่โดยพิจารณาจากการที่มีซากแบตเตอรี่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง

กนกพร อินแตง (2562) ได้ศึกษาแนวทางการจัดการกรดซัลฟิวริกใช้แล้วจากแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ในประเทศไทย จำนวน 3 วิธี ได้แก่ การฟื้นฟูสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่การปรับสภาพให้เป็นกลางและ การผลิตเป็นยิปซัม โดยการสร้างและวิเคราะห์ผังการไหล (MFA) และศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ในโปรแกรม SimaPro 8.3

Suriyanon W. (2023) ให้คำแนะนำสำหรับการกำหนดนโยบายสำหรับการพัฒนาระบบการจัดการซากแบตเตอรี่แบบเศรษฐกิจหมุนเวียนของประเทศ โดยประเทศไทยควรพิจารณาการออกกฎหมายเพื่ออำนวยความสะดวกในการจัดซากแบตเตอรี่อย่างเหมาะสมหรือเพิ่มจำนวนโรงงานรีไซเคิลแบตเตอรี่ และควรมีการสำรวจเทคโนโลยีใหม่สำหรับการรีไซเคิลแบตเตอรี่ประเภทต่างๆ

Fisher K. et al. (2006) ได้ศึกษาแนวทางการจัดการซากแบตเตอรี่ประเภทต่างๆ โดยการเก็บรวบรวมและการรีไซเคิลในสหราชอาณาจักร การศึกษานี้ใช้วิธีการประเมินวงจรชีวิต (LCA) พร้อมด้วยการประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของการจัดการวิธีต่างๆ

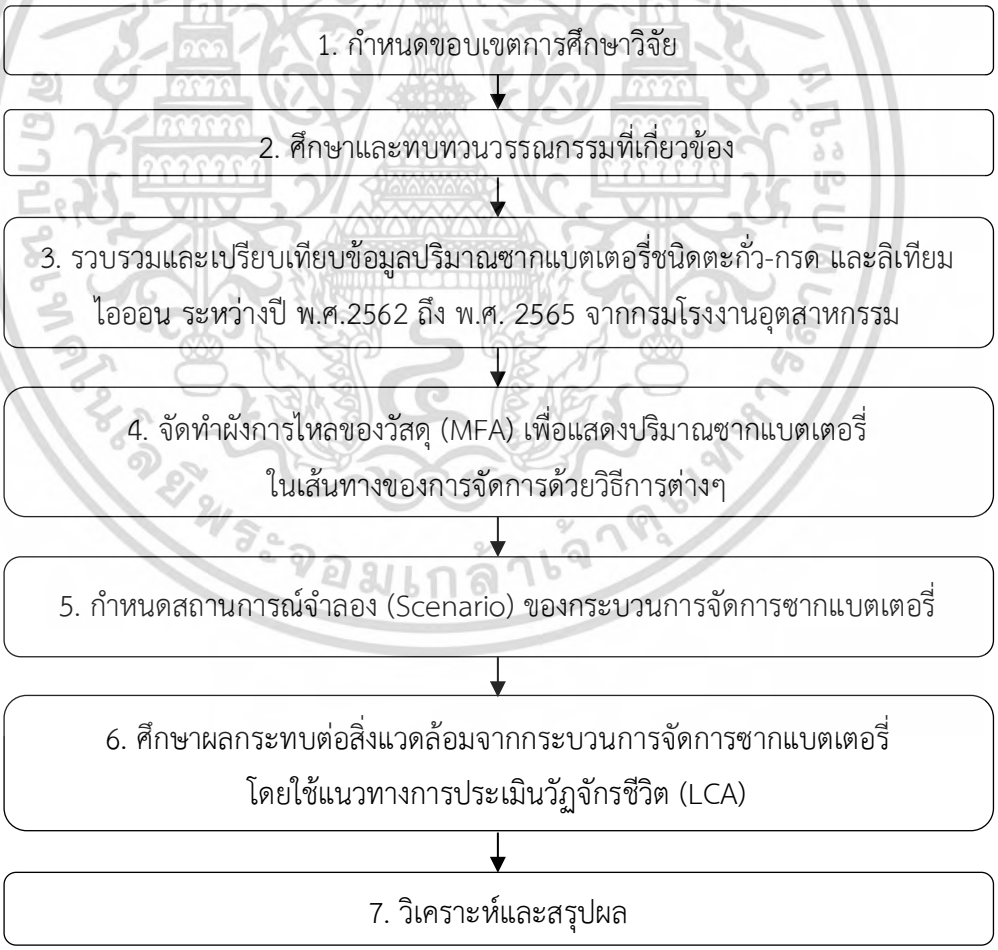
Zhu L. and Chen M. (2020) ได้ศึกษาการจัดการแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า ($LiFePO_4$) ที่ใช้แล้ว และรวบรวมข้อมูลสำหรับการจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก (life cycle inventory; LCI) สำหรับการประเมินวงจรชีวิต (LCA) ในประเทศจีน

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้รวบรวมมานั้น สามารถแสดงให้เห็นถึงแนวทางในศึกษาการจัดการซากแบตเตอรี่ในประเทศไทยที่เหมาะสมและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีขั้นตอนอย่างสังเขป ได้แก่ การรวบรวมและเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณซากแบตเตอรี่ การจัดทำผังการไหลของวัสดุ (MFA) การกำหนดสถานการณ์จำลอง (Scenario) และการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลชนิดและปริมาณของซากแบตเตอรี่ตามรหัสของชนิดและประเภทของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว จากข้อมูลรายงานการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2) ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาเฉพาะปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน จากนั้นได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีการจัดการตามรหัสกำจัดต่างๆ พร้อมจัดทำผังการไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis; MFA) และกำหนดสถานการณ์จำลองของการจัดการซากแบตเตอรี่สำหรับประเทศไทย เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) มีแผนผังการดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังสรุปลำดับและขั้นตอนในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2) ของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วรหัส 16 06 ประเภทแบตเตอรี่ และตัวสะสมประจุ ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 จากระบบการรายงานข้อมูลของกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งมีทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ ชนิดตะกั่ว-กรด (16 06 01 HA) ชนิดใช้นิกเกิล-แคดเมี่ยม (16 06 02 HA) ชนิดที่มีปรอท (16 06 03 HA) ชนิดอัลคาไลน์ (16 06 04) แบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) (16 06 05) และสารละลายไฟฟ้าที่แยกออกมาจากแบตเตอรี่ และตัวเก็บประจุ (16 06 06 HA) โดยในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นเฉพาะปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและลิเทียมไอออนเท่านั้น เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดยังคงมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในรถยนต์สันดาปภายในประเทศ ในขณะเดียวกันประเทศไทยกำลังมุ่งสู่การเปลี่ยนผ่านมาใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเพิ่มมากขึ้น

3.2 การพิจารณาข้อมูลปริมาณซากแบตเตอรี่

ในการศึกษานี้ได้พิจารณาข้อมูลปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออน ที่มีการรายงานใน สก.2 ระหว่าง ปี พ.ศ. 2562 – 2565 ซึ่งได้ระบุรหัสกำจัดแยกตามวิธีการจัดการตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยข้อมูลดังกล่าวได้นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงปริมาณซากแบตเตอรี่ที่มีการจัดการด้วยวิธีต่างๆ

ตารางที่ 3.1 การจัดการซากแบตเตอรี่จำแนกตามวิธีการในการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

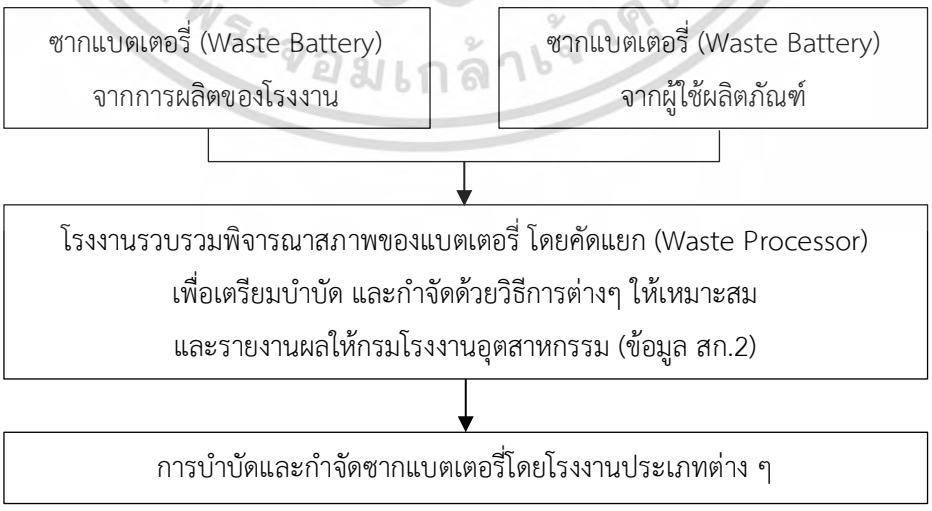
รหัส	วิธีการจัดการ
011	คัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ
021	กักเก็บในภาชนะบรรจุ
032	ส่งกลับผู้ขายเพื่อกำจัด
039	นำกลับมาใช้ซ้ำด้วยวิธีอื่นๆ
042	ทำเชื้อเพลิงผสม
043	เผาเพื่อเอาพลังงาน
049	นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ
051	เข้ากระบวนการนำตัวทำละลายกลับมาใหม่
052	เข้ากระบวนการนำโลหะกลับมาใหม่
071	ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล เฉพาะของเสียไม่อันตรายเท่านั้น
073	ฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัส	วิธีการจัดการ
075	เผาทำลายในเตาเผาเฉพาะสำหรับของเสียอันตราย
079	กำจัดด้วยวิธีอื่นๆ
081	รวบรวมและส่งออกนอกประเทศ

3.3 การวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis; MFA)

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (MFA) โดยใช้โปรแกรม STAN (Substance Flow Analysis) เวอร์ชั่น 2.6.801 เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการวิเคราะห์การไหลของวัสดุตามมาตรฐาน ÖNorm S 2096 ของประเทศออสเตรีย ซึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการของเสีย โดยสร้างผังการไหลเพื่อประเมินปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออน ตามหลักการสมดุลมวล (mass balance) ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลจากการเก็บรวบรวมในข้อที่ 3.2 นำมาพิจารณาปริมาณซากแบตเตอรี่โดยแยกตามวิธีกำจัด ซึ่งผังการไหลจะช่วยให้เข้าใจเส้นทาง ปริมาณ และวิธีการจัดการกับซากแบตเตอรี่ได้ สำหรับเส้นทางการจัดการซากแบตเตอรี่ได้แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยข้อมูลซากแบตเตอรี่จะมาจากการผลิตของโรงงาน และจากผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ใช้งานสินค้าจนแบตเตอรี่เสื่อมสภาพซึ่งถูกตีสภาพเป็นซากแบตเตอรี่ แล้วส่งให้โรงงานกำจัดต่อไป โรงงานจะรวบรวมและเตรียมจัดการซากแบตเตอรี่ จากการพิจารณาตามสภาพของแบตเตอรี่เพื่อเตรียมบำบัดกำจัดด้วยวิธีการต่างๆ ให้เหมาะสม โดยโรงงานจะรายงานผลการจัดการของเสียให้กรมโรงงานอุตสาหกรรม มีรายละเอียดวัสดุขาเข้าและขาออกของแต่ละช่วงผลิตภัณฑ์ และการบำบัดและกำจัดของเสียที่ถูกส่งไปยังโรงงานผู้รับกำจัด การบำบัดและกำจัดได้ถูกจำแนกตามวิธีการในการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ในส่วนการจัดการของเสียในการศึกษานี้ ได้กำหนดขอบเขตเพียงปริมาณซากแบตเตอรี่ใช้แล้วจากกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่ขึ้นทะเบียนไว้กับกรมโรงงาน ตามที่ได้แจ้งไว้ในรายงานขออนุญาตนำวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงานรายปี (สก.2)



รูปที่ 3.2 เส้นทางการจัดการซากแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

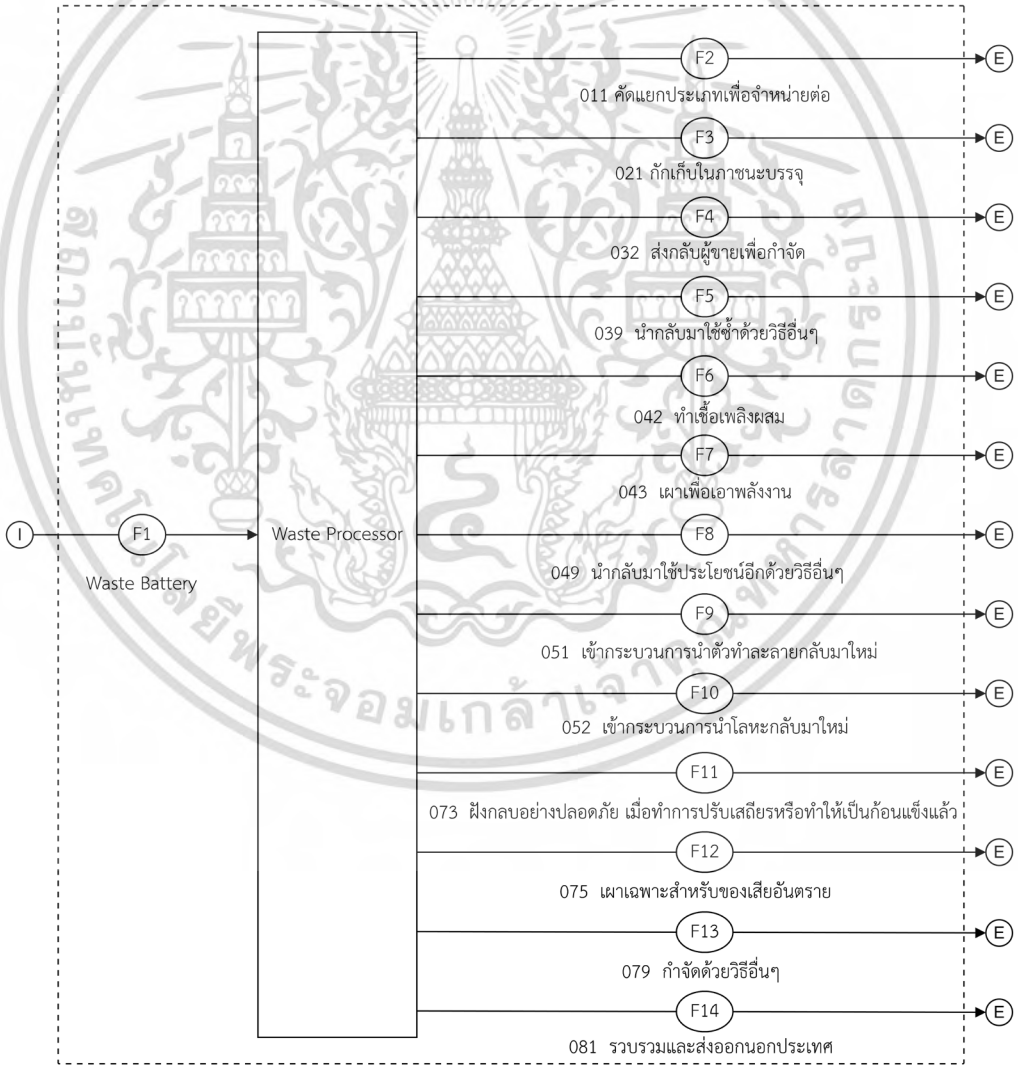
ในการวิเคราะห์ผังการไหลของวัสดุ มีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

1) เลือกขอบเขตของระบบวัสดุ โดยขอบเขตของระบบในการศึกษานี้ คือ ปริมาณของการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออนแยกตามรหัสกำจัด ที่ถูกรายงานใน สก.2 ระหว่าง ปี พ.ศ. 2562 – 2565 โดยในการศึกษานี้ได้นำมาพิจารณาเป็นข้อมูลร้อยละปริมาณของการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยเช่นกัน

2) เขียนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์การไหลของวัสดุ ตั้งแต่ขาเข้าจนถึงขาออก ดังมีตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.3

3) ระบุข้อมูลปริมาณของซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออนแยกตามรหัสกำจัด พร้อมระบุคำอธิบายวิธีการจัดการแต่ละวิธี

4) วิเคราะห์สมดุลการไหลของวัสดุ ด้วยโปรแกรม STAN version 2.6.801



รูปที่ 3.3 ร่างผังการไหลของวัสดุ ของปริมาณซากแบตเตอรี่ตามวิธีการจัดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สถานการณ์จำลองของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่

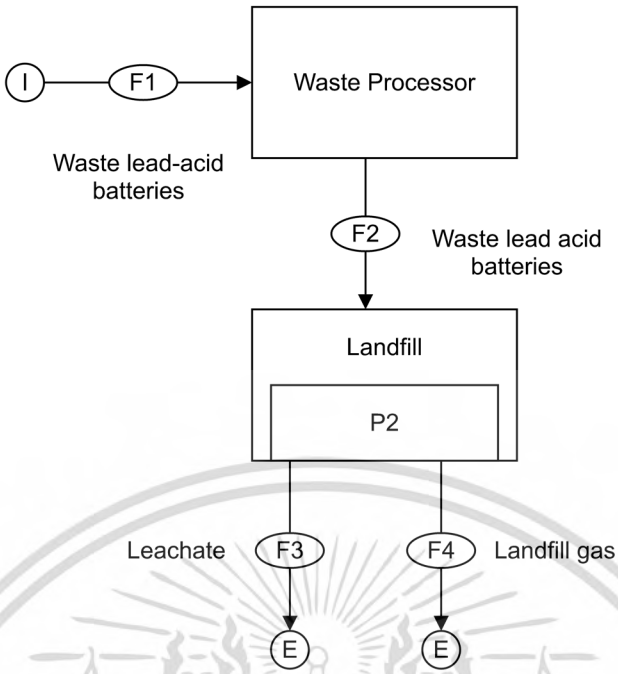
การสร้างสถานการณ์จำลอง (scenario) ของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ เป็นการกำหนดกรอบกระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่จากวิธีการต่างๆ สำหรับใช้ในการพิจารณาเส้นทางและปริมาณการไหลของซากแบตเตอรี่ตั้งแต่ขาเข้า (input) จนถึงขาออก (output) รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่ ด้วยการวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (MFA) เพื่อนำไปพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่ โดยใช้แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ต่อไป

ในการศึกษานี้ได้กำหนดสถานการณ์จำลอง (scenario) โดยพิจารณาและเลือกวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออนในประเทศไทย 2 วิธี ได้แก่ การฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073) และการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049) ซึ่งรวมเป็น 4 สถานการณ์จำลอง (scenario) มีรายละเอียดดังตารางที่ 3.2 สำหรับการสร้างผังการไหลของวัสดุ (MFA) ได้กำหนดปริมาณวัสดุขาเข้าจากข้อมูลซากแบตเตอรี่ที่ได้รวบรวมไว้ในข้อที่ 3.2 โดยสัดส่วนปริมาณวัสดุในกระบวนการต่างๆ ทั้งขาเข้า และขาออก รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละกระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่ ได้เลือกใช้ตามผลการวิจัยที่ผ่านมา โดยผังกระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่แต่ละวิธีแสดงดังรูปที่ 3.4 รูปที่ 3.7

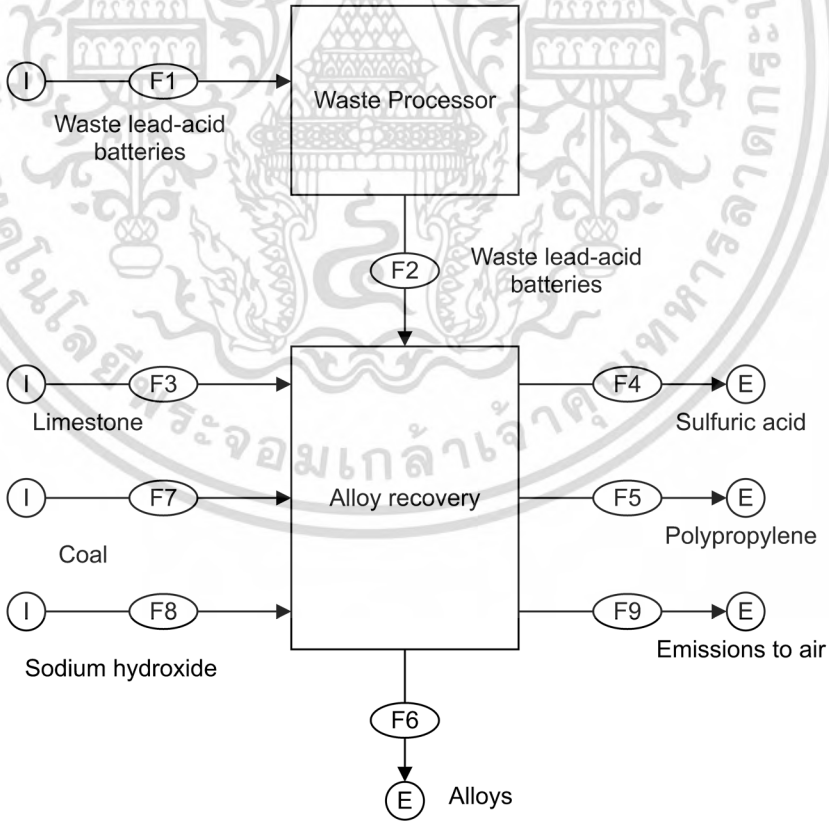
ตารางที่ 3.2 สถานการณ์จำลองการจัดการซากแบตเตอรี่

สถานการณ์จำลอง (Scenario)	ชนิดแบตเตอรี่ (Battery type)	กระบวนการ (Process)	วิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ (Waste battery management)
S_{1_LAB}	Lead Acid	การฝังกลบ (Landfill)	การฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073)
S_{2_LAB}	Lead Acid	การสกัดและหลอมโลหะผสม (Alloy recovery)	นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049)
S_{1_LIB}	Lithium-Ion	การฝังกลบ (Landfill)	การฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073)
S_{2_LIB}	Lithium-Ion	การสกัดและหลอมโลหะมีค่า (Metal recovery)	นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

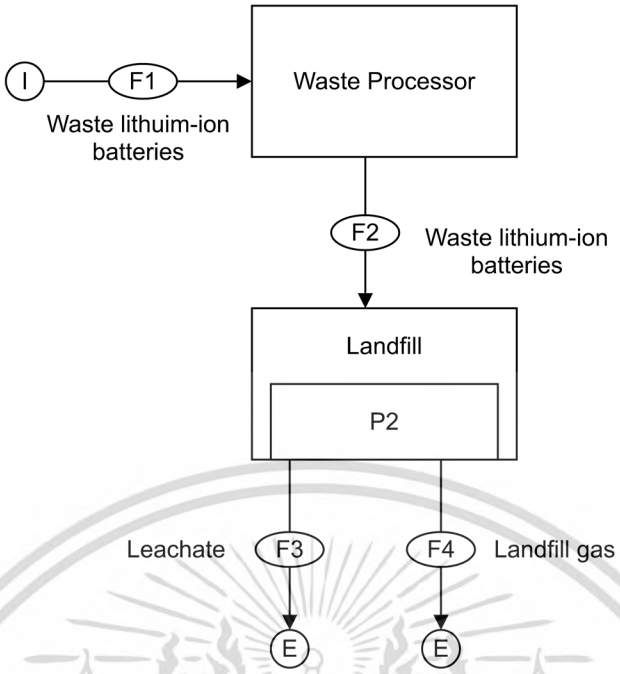


รูปที่ 3.4 สถานการณ์จำลอง S_{1_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073)

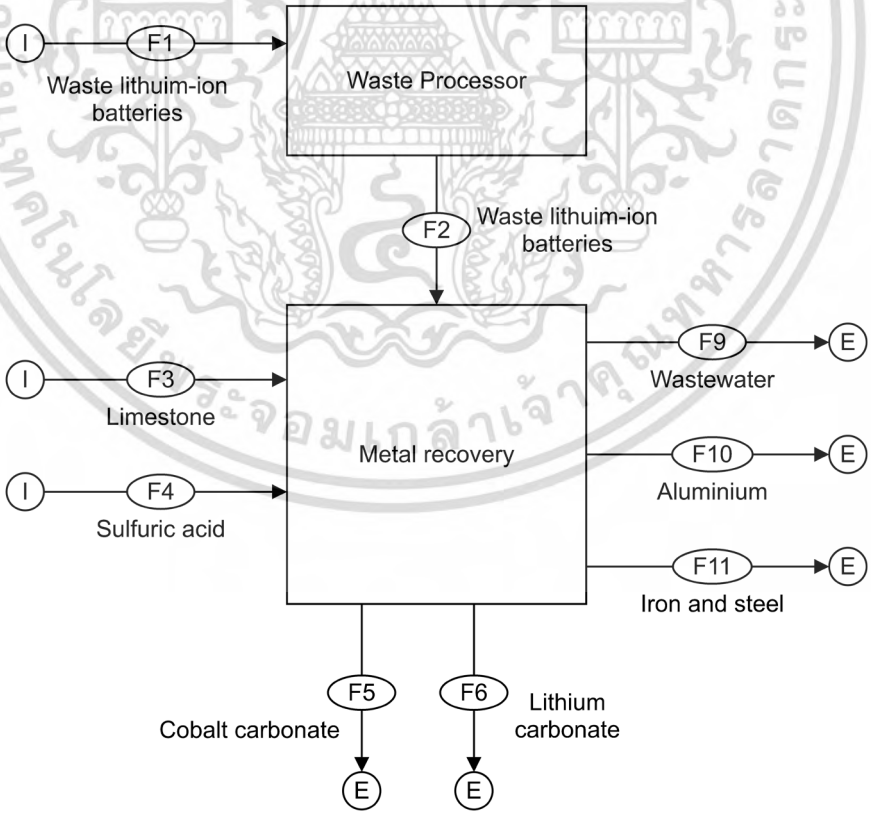


รูปที่ 3.5 สถานการณ์จำลอง S_{2_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 สถานการณ์จำลอง S_{1_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073)



รูปที่ 3.7 สถานการณ์จำลอง S_{2_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่ โดยใช้แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA)

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่ โดยใช้แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของแนวทางการจัดการแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออน ตามขั้นตอนมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040:2006 และ ISO 14044:2006 มีขั้นตอนการดำเนินงาน 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.5.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and scope definition)

งานวิจัยนี้ได้กำหนดผลิตภัณฑ์ หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ หน่วยการทำงาน และ ขอบเขตการศึกษาไว้ ดังนี้

ผลิตภัณฑ์ คือ ซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และ ซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ คือ ของเสียจากการใช้งานแบตเตอรี่

หน่วยการทำงาน คือ ปริมาณซากแบตเตอรี่ ที่รวมวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็นตัน

ขอบเขตการศึกษา คือ Gate-to-Grave เนื่องจากเป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาจากกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งสายโซ่การผลิตจนถึงการสิ้นอายุของผลิตภัณฑ์ (end of life) ซึ่งเป็นแค่บางส่วนของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

3.5.2 การวิเคราะห์จัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก (Inventory analysis)

เป็นขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อจัดทำฐานข้อมูล (inventory) ภายใต้ขอบเขตกระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด และลิเทียมไอออน ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลขาเข้า ได้แก่ ปริมาณซากแบตเตอรี่ สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ พลังงาน และข้อมูลขาออกประกอบไปด้วย วัสดุที่เป็นส่วนประกอบของแบตเตอรี่ สารเคมี เป็นต้น ทำการจัดเก็บข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกโดยแบ่งตามสถานการณ์ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.4 โดยตัวอย่างการบันทึกบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก สถานการณ์จำลอง S_{2_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049) แสดงดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก สถานการณ์จำลอง S_{2_LAB}

รายละเอียด	ปริมาณ	หน่วย	เอกสารอ้างอิง
INPUTS			
Raw material inputs			
Lead acid batteries		tonne	
Limestone		tonne	
Sodium hydroxide		tonne	
Electricity consumption			
Electricity		kWh	
Fuel usage			
Natural gas		tonne	
Coal		tonne	
Water consumption			
Water		tonne	
OUTPUTS			
Product output			
Alloys		tonne	
Sulphuric acid		tonne	
Emissions to air			
Sulfurdioxide		tonne	
Carbondioxide		tonne	
Lead		tonne	
Sb		tonne	

3.5.3 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life cycle impact assessment: LCIA)

ในการศึกษานี้ ได้ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากสถานการณ์จำลอง (scenario) ของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออนในประเทศไทย 2 วิธีการ ได้แก่ การฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073) และการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049) รวมจำนวน 4 สถานการณ์ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.4 โดยการนำข้อมูลของปริมาณสสารทุกอันที่เกี่ยวข้องมาประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro version 9.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับและเป็นนิยมอย่างแพร่หลาย (Karin et al., 2000) ใช้ฐานข้อมูลจาก Ecoinvent 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณผลกระทบด้วยวิธี ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.03 / World (2010) H ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint Impact Assessment) ในด้านต่างๆ จำนวน 18 ด้าน ดังนี้

1. ผลกระทบด้านการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming)
2. ผลกระทบด้านการลดลงของโอโซนในชั้นสตราโทสเฟียร์ (Stratospheric ozone depletion)
3. ผลกระทบด้านการก่อให้เกิดรังสีไอออน (Ionizing radiation)
4. ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของโอโซนที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Ozone formation, Human health)
5. ผลกระทบด้านการเกิดฝุ่นขนาดเล็ก (Fine particulate matter formation)
6. ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของโอโซนที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์บนบก (Ozone formation, Terrestrial ecosystems)
7. ผลกระทบด้านสภาวะความเป็นกรดในดิน (Terrestrial acidification)
8. ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication)
9. ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในระบบในทะเล (Marine eutrophication)
10. ผลกระทบด้านความเป็นพิษในดิน (Terrestrial ecotoxicity)
11. ผลกระทบด้านความเป็นพิษในแหล่งน้ำจืด (Freshwater ecotoxicity)
12. ผลกระทบด้านความเป็นพิษในทางทะเล (Marine ecotoxicity)
13. ผลกระทบด้านความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human carcinogenic toxicity)
14. ผลกระทบด้านความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human non-carcinogenic toxicity)
15. ผลกระทบด้านการลดลงของพื้นที่ (Land use)
16. ผลกระทบด้านการลดลงของแหล่งแร่ (Mineral resource scarcity)
17. ผลกระทบด้านการลดลงของแหล่งฟอสซิล (Fossil resource scarcity)
18. ผลกระทบด้านการใช้น้ำ (Water consumption)

3.5.4 การแปลผลการศึกษา (Life cycle interpretation)

ในการศึกษานี้ได้แปลผลการศึกษา จากการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการซากแบตเตอรี่ ด้วยการเทียบหน่วย (Normalization) คือ การปรับหน่วยของแต่ละผลกระทบ ให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันเพื่อนำมาเปรียบเทียบกันในเชิงปริมาณและเพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละผลกระทบ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้จะต้องสอดคล้องกับเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และ ขอบเขตที่กำหนดไว้ จากขั้นตอนนี้ผลที่คาดว่าจะได้รับ คือ แนวทางในการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในประเทศไทย ที่ใช้วิธีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์ผล

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมและวิเคราะห์ผลจากข้อมูลชนิดและปริมาณของซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน จากข้อมูลรายงานการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2) ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 จากนั้นได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีการจัดการตามรหัสกำจัดต่างๆ พร้อมจัดทำผังการไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis; MFA) และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากสถานการณ์จำลองของการจัดการซากแบตเตอรี่ในประเทศไทย โดยใช้แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) เพื่อหาแนวทางในการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสม มีผลการดำเนินงานและผลจากการวิเคราะห์ ดังนี้

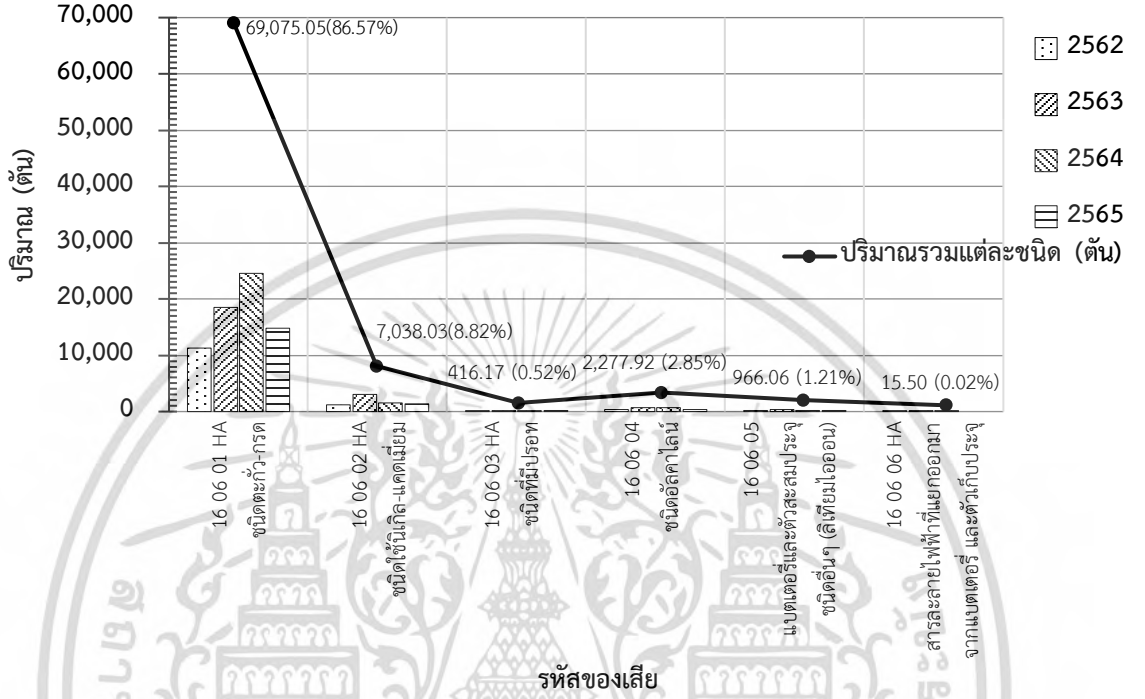
4.1 ข้อมูลสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วรหัส 16 06 ประเภทแบตเตอรี่ และตัวสะสมประจุ

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2) ของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วรหัส 16 06 ประเภทแบตเตอรี่ และตัวสะสมประจุ ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 จากระบบการรายงานข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งมีข้อมูลที่รวบรวมมาพิจารณาเปรียบเทียบ ดังนี้

รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วของประเทศไทย รหัส 16 06 ประเภทแบตเตอรี่ และตัวสะสมประจุ จำนวน 6 ชนิด จากรายงานการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2) ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 มีปริมาณรวมทั้งหมด 79,788.72 ตัน โดยปริมาณมากที่สุด คือ แบตเตอรี่ชนิดใช้ตะกั่ว-กรด (16 06 01 HA) จำนวน 69,075.05 ตัน คิดเป็นร้อยละ 86.57 ของปริมาณแบตเตอรี่ทั้งหมด รองลงมาจะเป็นแบตเตอรี่ชนิดใช้นิกเกิล-แคดเมี่ยม (16 06 02 HA) แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์ (16 06 04) แบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) (16 06 05) แบตเตอรี่ชนิดที่มีปรอท (16 06 03 HA) และสารละลายไฟฟ้าที่แยกออกมาจากแบตเตอรี่ และตัวเก็บประจุ (16 06 06 HA) คิดสัดส่วนเป็นร้อยละ 8.82, 2.85, 1.21, 0.52 และ 0.02 ของปริมาณทั้งหมดตามลำดับ โดยในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นเฉพาะปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและลิเทียมไอออนเท่านั้นเนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดยังคงมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในรถยนต์สันดาปภายในประเทศ (Suriyanon, 2023) ในขณะเดียวกันประเทศไทยกำลังมุ่งสู่การเปลี่ยนผ่านมาใช้รถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น มีการใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าประกอบกับการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหาการจัดการซากแบตเตอรี่ในอนาคตได้



รูปที่ 4.1 ปริมาณสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว รหัส 16 06 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุ ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565

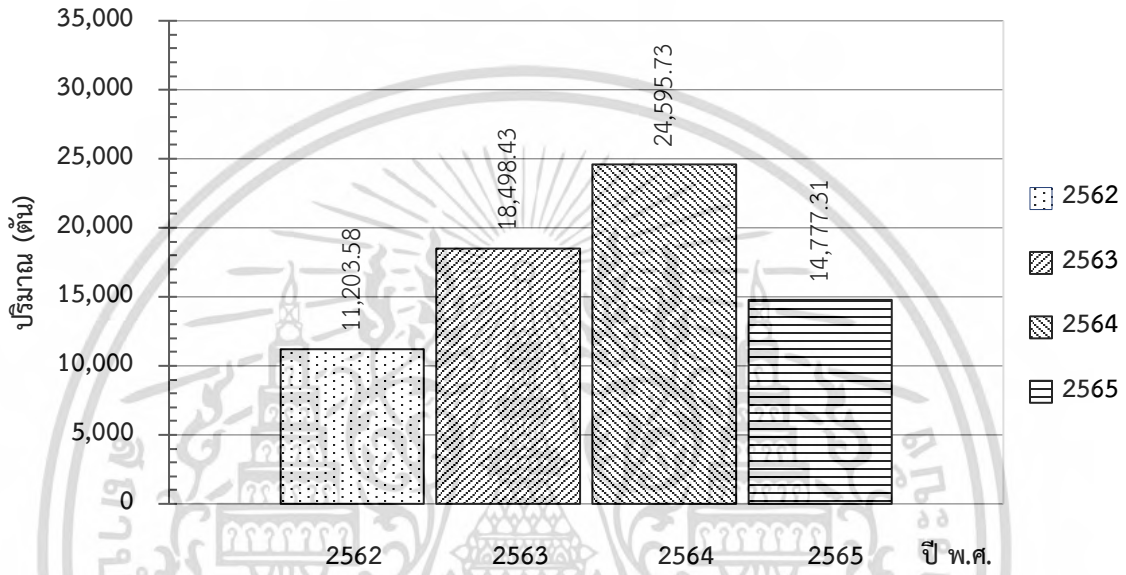
4.1.1 ข้อมูลปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (วัตถุประสงค์ข้อที่ 1)

ตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว รหัส 16 06 01 HA ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 มีปริมาณรวมทั้งหมด 69,075.05 ตัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าแนวโน้มปริมาณซากแบตเตอรี่จากปี พ.ศ.2562 จนถึง ปี พ.ศ. 2564 เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประมาณปีละ 6,000 ตัน คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 เท่าในแต่ละปี แต่ในปี พ.ศ. 2565 กลับพบว่ามีปริมาณลดลงจากปี พ.ศ. 2564 ประมาณ 10,000 ตัน โดยแบตเตอรี่ชนิดนี้นิยมใช้กับรถยนต์สันดาปมีอายุการใช้งานเฉลี่ย 3 ปี ซึ่งถ้าหากพิจารณาถึงสถานการณ์ที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจ จะพบว่าในปี พ.ศ. 2562 เกิดสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ที่ส่งผลกระทบต่อยอดขายรถยนต์สันดาป กล่าวคือ ปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ที่ลดลงในปี พ.ศ. 2565 แปรผันตามกับการลดลงของการใช้รถยนต์ในช่วงปี 2562 (อายุการใช้งานแบตเตอรี่ 3 ปี) ซึ่งเกิดสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ปริมาณของวัสดุจากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2565

ชนิดแบตเตอรี่	ปริมาณ	ปี 2562	ปี 2563	ปี 2564	ปี 2565	รวม
ตะกั่ว-กรด	ตัน	11,203.58	18,498.43	24,595.73	14,777.31	69,075.05
	ร้อยละ	16.22	26.78	35.61	21.39	100.00



รูปที่ 4.2 ปริมาณสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว รหัส 16 06 01 HA ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565

4.1.2 ข้อมูลปริมาณซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (วัตถุประสงค์ข้อที่ 1)

ตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 แสดงปริมาณสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว รหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 มีปริมาณรวมทั้งหมด 966.06 ตัน คิดเป็นประมาณร้อยละ 1.40 ของปริมาณแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดในช่วงปีเดียวกัน แนวโน้มปริมาณซากแบตเตอรี่ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) จากปี พ.ศ. 2562 จนถึง ปี พ.ศ. 2565 แสดงให้เห็นในทิศทางทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง เนื่องจากแบตเตอรี่ประเภทนี้มีอายุการใช้งานเฉลี่ย 10 ปี ซึ่งมากกว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด 3-5 เท่า หากพิจารณาข้อมูลการใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนย้อนหลังในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2553 (สงบ คาค้อ, 2562) พบว่ามีการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดนี้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพาจำนวนมากที่สุด เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์แท็ปเล็ต คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เป็นต้น ส่วนการใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า และ การใช้งานอื่นๆ ยังคงมีการใช้งานปริมาณน้อย อีกทั้งมีบางส่วนที่ยังมีประสิทธิภาพในการกักเก็บประจุ จะถูกนำกลับมาใช้เป็นแบตเตอรี่มือสอง ซึ่งสามารถ

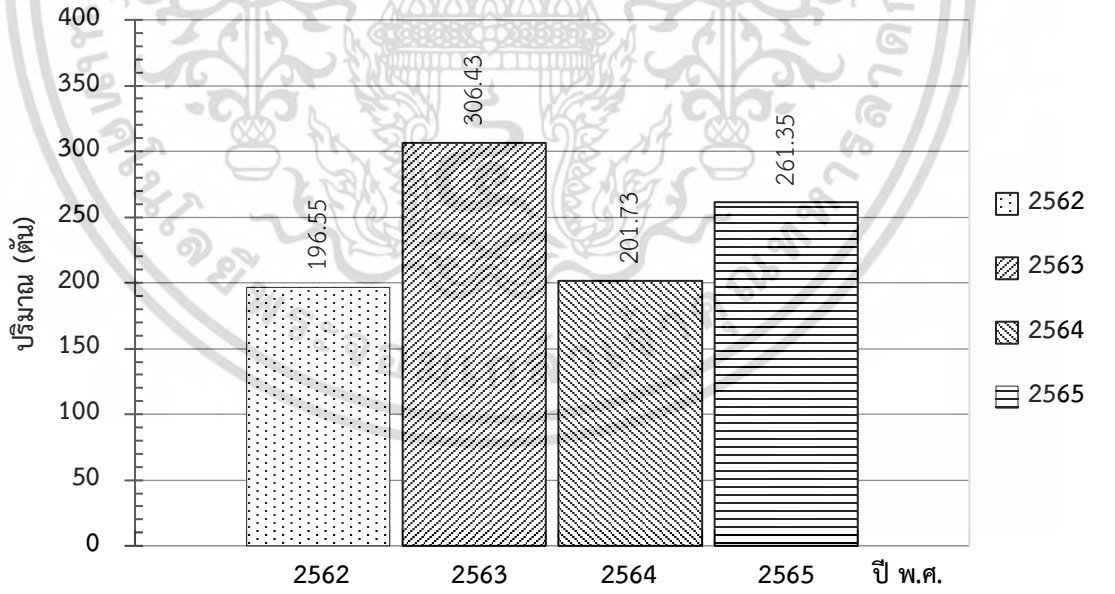
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาใช้ในการกักเก็บไฟฟ้าสำรอง ทำให้ปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดนี้ที่หมดอายุจากการใช้งานมาแล้วนั้นยังคงมีจำนวนน้อยมาก ทำให้ยังไม่สามารถแสดงแนวโน้มทิศทางปริมาณซากแบตเตอรี่ได้อย่างชัดเจนในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตาม การใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนทั้งในปัจจุบันและอนาคตมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อสนองการใช้ชีวิตที่สะดวกสบายในสังคมดิจิตอล โดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา และยานยนต์ไฟฟ้าถือเป็นสองส่วนหลักที่สำคัญที่ผู้บริโภคมีการใช้งานมากที่สุด แนวโน้มนี้เอง แสดงให้เห็นว่าความต้องการแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต ด้วยแนวโน้มดังกล่าวทำให้เกิดการตระหนักถึงกรณีการจัดการแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว จึงจำเป็นต้องเตรียมมาตรการการจัดการซากแบตเตอรี่ประเภทนี้อย่างเหมาะสม เพื่อรองรับต่อปริมาณซากแบตเตอรี่ที่จะมีปริมาณมากขึ้นอย่างรวดเร็วในอนาคต

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของวัสดุจากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2565

ชนิดแบตเตอรี่	ปริมาณ	ปี 2562	ปี 2563	ปี 2564	ปี 2565	รวม
ลิเทียมไอออน	ตัน	196.55	306.43	201.73	261.35	966.06
	ร้อยละ	20.35	31.72	20.88	27.05	100.00



รูปที่ 4.3 ปริมาณสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว รหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ข้อมูลวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ ตามรหัสกำจัด

ในการศึกษานี้ได้พิจารณาปริมาณซากแบตเตอรี่จากข้อมูลปริมาณของเสียรหัส 16 06 01 HA ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และรหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) แยกตามวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ตามรหัสกำจัดในระหว่าง ปี พ.ศ. 2562 – 2565 จากข้อมูลรายงานการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2) มีข้อมูลดังนี้

4.2.1 ข้อมูลวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

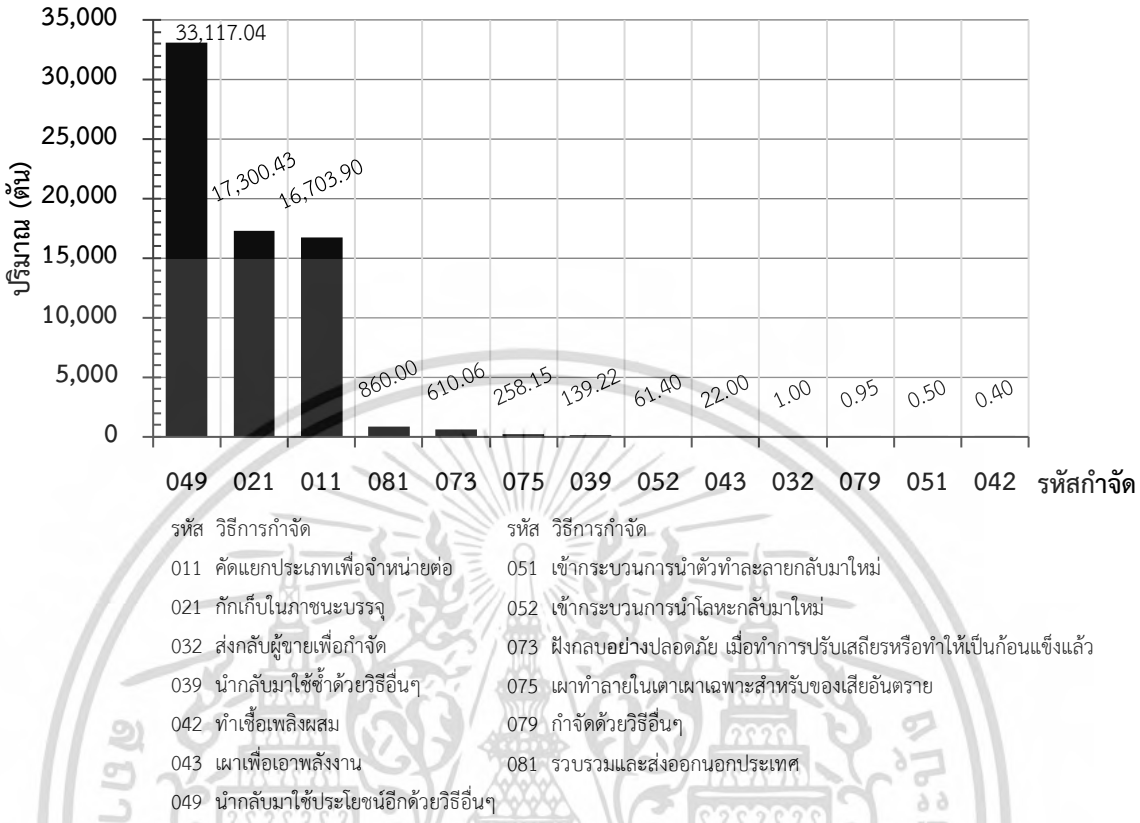
จากตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณของเสียรหัส 16 06 01 HA ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 และได้นำมาพล็อตกราฟปริมาณรวมของเสียดังรูปที่ 4.4 พบว่าซากแบตเตอรี่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) มีปริมาณรวมมากที่สุดถึง 33,117.04 ตัน รองลงมาเป็นการกักเก็บในภาชนะบรรจุ (รหัส 021) จำนวน 17,300.43 ตัน การคัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ (รหัส 011) จำนวน 16,703.90 ตัน การรวบรวมและส่งออกนอกประเทศ (รหัส 081) จำนวน 860.00 ตัน การฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (รหัส 073) จำนวน 610.06 ตัน และอื่นๆ จำนวนรวม 483.62 ตัน ตามลำดับ โดยปริมาณของเสียในแต่ละปีได้แสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งพบว่าการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) มีค่าเฉลี่ยในแต่ละปีปริมาณสูงที่สุด จำนวน 8,279.26 ตัน/ปี โดยวิธีการนี้ได้มีการนำซากแบตเตอรี่กลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ อาทิ เช่น ชิ้นส่วนพลาสติกนำไปหลอมเป็นชิ้นงานใหม่ แผงตะกั่วนำไปหลอมเป็นตะกั่วแท่ง เป็นต้น ในปี พ.ศ. 2564 พบว่าการคัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ (รหัส 011) มีปริมาณสูงสุดจากทุกวิธี โดยมีจำนวนถึง 10,530.40 ตัน แต่ในปี พ.ศ.2565 กลับพบว่ามีปริมาณลดลงไปอย่างมาก สำหรับวิธีการกักเก็บในภาชนะบรรจุ (รหัส 021) นับจากปี พ.ศ.2562 มีแนวโน้มปริมาณสูงมากขึ้นตามลำดับ โดยในปี พ.ศ. 2565 มีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

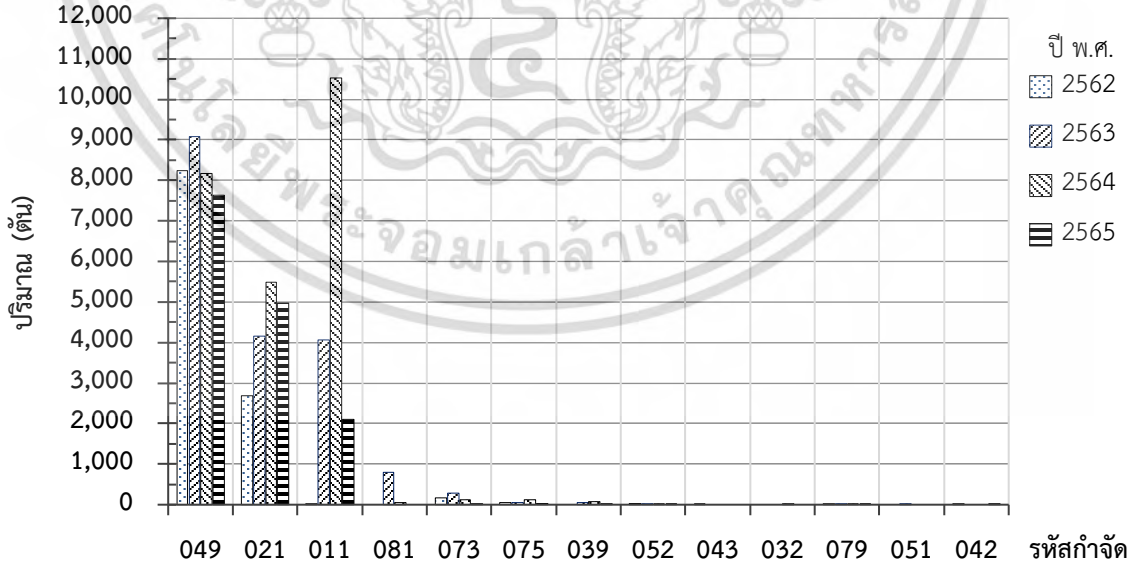
ตารางที่ 4.3 ปริมาณของเสียรหัส 16 06 01 HA ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2565

รหัสวิธีกำจัด	ปี 2562	ปี 2563	ปี 2564	ปี 2565	รวมทุกปี	เฉลี่ย
	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน/ปี)
011	22.00	4,053.20	10,530.40	2,098.30	16,703.90	4,175.98
021	2,678.69	4,148.84	5,490.71	4,982.20	17,300.43	4,325.11
032	-	-	1.00	-	1.00	0.25
039	-	55.40	77.10	6.72	139.22	34.80
042	0.10	-	-	0.30	0.40	0.10
043	22.00	-	-	-	22.00	5.50
049	8,231.39	9,078.56	8,176.98	7,630.11	33,117.04	8,279.26
051	-	0.50	-	-	0.50	0.13
052	28.50	11.00	10.90	11.00	61.40	15.35
073	173.00	293.28	124.75	19.03	610.06	152.51
075	47.70	57.45	123.50	29.50	258.15	64.54
079	0.20	0.20	0.40	0.15	0.95	0.24
081	-	800.00	60.00	-	860.00	215.00
รวม	**11,203.58**	**18,498.43**	**24,595.73**	**14,777.31**	**69,075.05**	**17,268.76**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รวมปริมาณของเสียรหัส 16 06 01 HA ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565



รูปที่ 4.5 ปริมาณของเสียรหัส 16 06 01 HA ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แยกตามรหัสกำจัด ปี พ.ศ. 2562 - 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

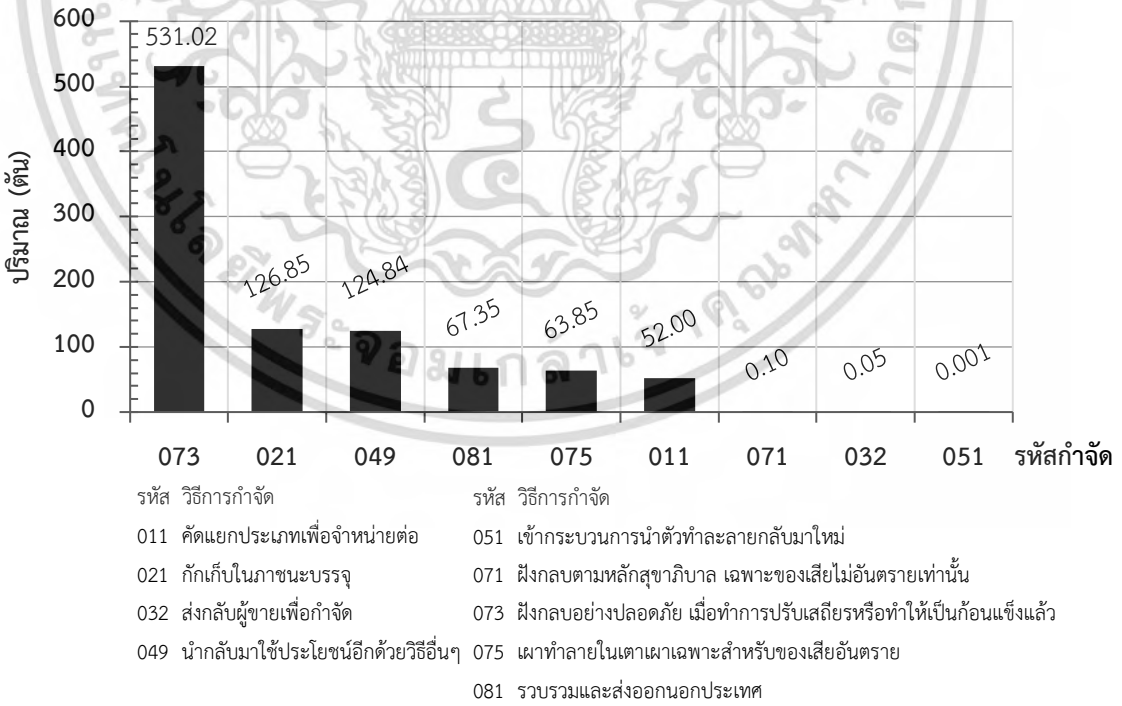
4.2.2 ข้อมูลวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

จากตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณของเสียรหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 และได้นำมาพล็อตกราฟปริมาณรวมของเสียดังรูปที่ 4.6 พบว่าซากแบตเตอรี่ถูกนำไปทำการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (รหัส 073) มีปริมาณมากสุด รวมจำนวน 531.02 ตัน รองลงมาเป็นการกักเก็บในภาชนะบรรจุ (รหัส 021) มีปริมาณ 126.85 ตัน การนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) มีปริมาณ 124.84 ตัน การรวบรวมและส่งออกนอกประเทศ (รหัส 081) มีปริมาณ 67.35 ตัน การนำไปเผาทำลายในเตาเผาเฉพาะสำหรับของเสียอันตราย (รหัส 075) มีปริมาณ 63.85 ตัน และการคัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ (รหัส 011) มีปริมาณ 52.00 ตัน และอื่นๆ 0.06 ตัน ตามลำดับ โดยปริมาณของเสียในแต่ละปีได้แสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งพบว่าในปี พ.ศ.2562 2563 และ 2564 มีการนำซากแบตเตอรี่ไปทำการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (รหัส 073) ปริมาณมากสุด แต่ในปี พ.ศ.2565 พบว่ามีแนวโน้มการนำซากแบตเตอรี่นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) ปริมาณมากขึ้นอย่างรวดเร็ว อาจจะเนื่องมาจากเทคโนโลยีในปัจจุบันถูกคิดค้นและพัฒนาให้สามารถนำซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ โดยในปัจจุบันมีวิธีการนำกลับคืนองค์ประกอบของโลหะในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

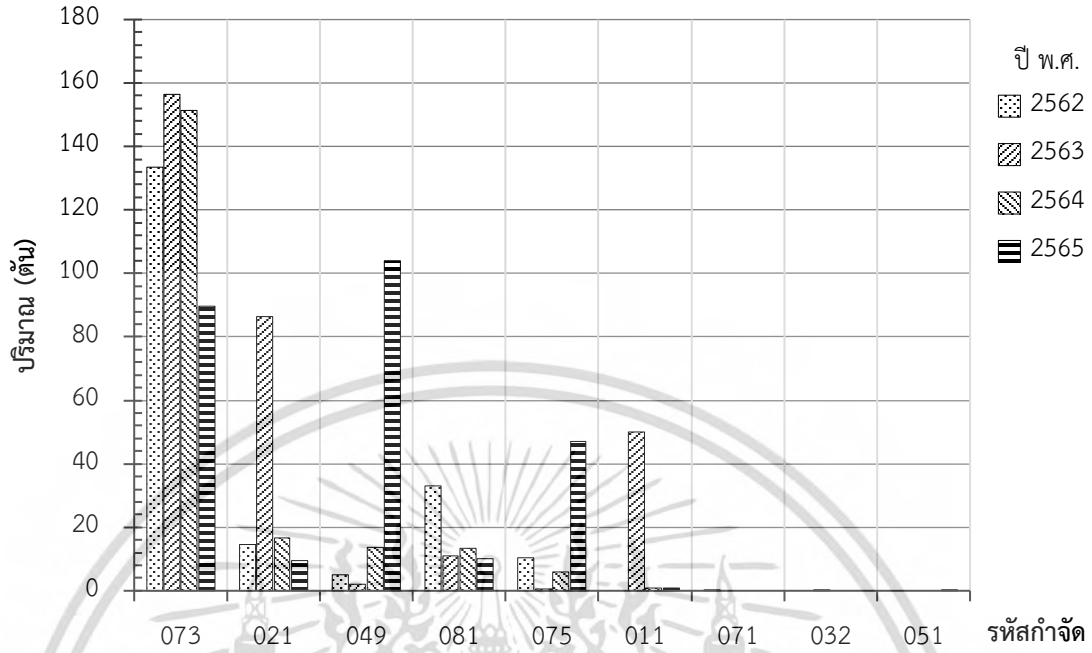
ตารางที่ 4.4 ปริมาณของเสียรหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565

รหัสวิธีกำจัด	2562	2563	2564	2565	รวมทุกปี	เฉลี่ย
	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน)	ปริมาณ (ตัน/ปี)
011	-	50.00	1.00	1.00	52.00	13.00
021	14.50	86.32	16.53	9.50	126.85	31.71
032	-	0.05	-	-	0.05	0.01
049	5.04	2.10	13.70	104.00	124.84	31.21
051	-	-	-	0.001	0.001	0.001
071	0.10	-	-	-	0.10	0.03
073	133.61	156.46	151.25	89.70	531.02	132.76
075	10.30	0.50	5.90	47.15	63.85	15.96
081	33.00	11.00	13.35	10.00	67.35	16.84
รวม	196.55	306.43	201.73	261.35	966.06	241.51



รูปที่ 4.6 รวมปริมาณของเสียรหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ปริมาณของเสียรหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) แยกตามรหัสกำจัด ปี พ.ศ. 2562 – 2565

ปริมาณซากแบตเตอรี่และวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ในประเทศไทย ระหว่างปี 2562 – 2565 มีปริมาณซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด รวมทั้งหมด 69,075.06 ตัน สัดส่วนที่มากที่สุดได้ถูกจัดการด้วยวิธีนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) ปริมาณซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนรวมทั้งหมด 966.06 ตัน สัดส่วนมากที่สุดได้ถูกจัดการด้วยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (รหัส 073) ซึ่งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีปริมาณของเสียน้อยกว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด เนื่องจากปริมาณแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนถูกนำไปใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพาเป็นจำนวนมาก

4.3 ผังการไหลของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่

4.3.1 ผังการไหลของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

จากข้อมูลปริมาณของการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แยกตามรหัสกำจัด ที่ถูกรายงานใน สก.2 ระหว่าง ปี พ.ศ. 2562 – 2565 ตามตารางที่ 4.3 ได้นำมาพิจารณาเป็นข้อมูลร้อยละปริมาณของการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แยกตามรหัสกำจัด ดังตารางที่ 4.5 โดยข้อมูลดังกล่าวได้จัดทำผังการไหลปริมาณและร้อยละของการกำจัดแต่ละวิธีในแต่ละปี เพื่อการวิเคราะห์ปริมาณการไหลของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(MFA) ด้วยโปรแกรม STAN version 2.6.801 จากปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีกำจัดแบบต่างๆ ในแต่ละปี

ตารางที่ 4.5 ปริมาณร้อยละของเสียรหัส 16 06 01 ประเภทแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2565

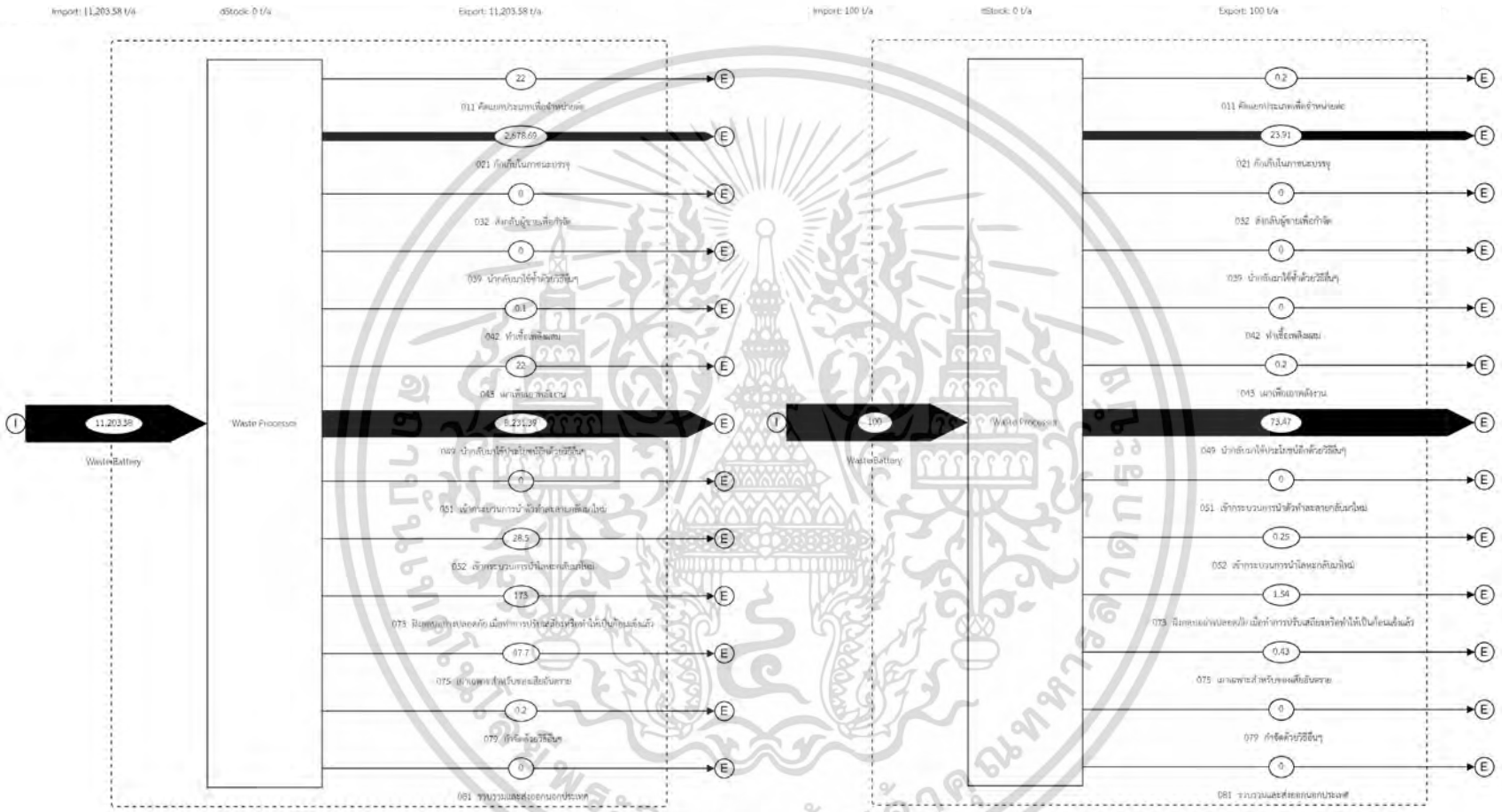
รหัสวิธีกำจัด	2562	2563	2564	2565
	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
011	0.20	21.91	42.81	14.20
021	23.91	22.42	22.32	33.72
032	-	-	0.001	-
039	-	0.29	0.31	0.05
042	0.001	-	-	0.001
043	0.20	-	-	-
049	73.47	49.07	33.25	51.63
051	-	0.00	-	-
052	0.25	0.05	0.04	0.07
073	1.54	1.58	0.51	0.13
075	0.43	0.31	0.50	0.20
079	0.00	0.00	0.00	0.00
081	-	4.32	0.24	-
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00

สำหรับการพิจารณาปริมาณการไหลของวัสดุ (MFA) จากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ด้วยวิธีกำจัดแบบต่างๆ ระหว่างปี พ.ศ. 2562 ถึงปี พ.ศ. 2565 ได้แสดงด้วยผังการไหลปริมาณของวัสดุในแต่ละปี พบว่าในปี พ.ศ. 2562 (รูปที่ 4.8) มีปริมาณการนำซากแบตเตอรี่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 73.47 ของปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีกำจัดแบบต่างๆของปี พ.ศ.2562 ต่อมาในปี พ.ศ. 2563 (รูปที่ 4.9) พบว่ามีปริมาณการนำซากแบตเตอรี่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) ยังคงมีปริมาณมากที่สุด แต่สัดส่วนลดลงจากปีก่อน คิดเป็นร้อยละ 49.07 ของปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีกำจัดแบบต่างๆ ของปี พ.ศ.2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

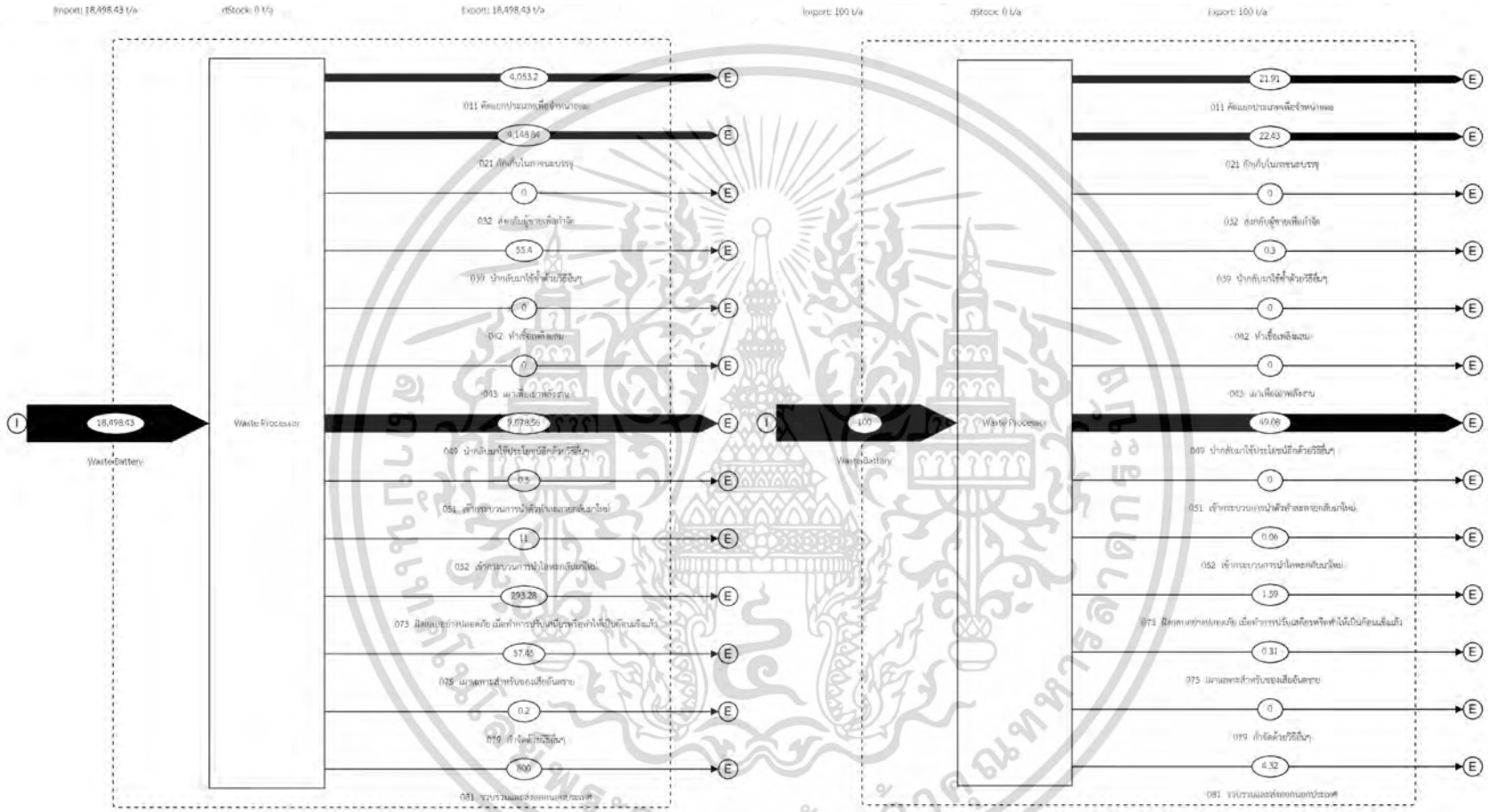
เนื่องจากทั้งปริมาณการคัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ (รหัส 011) และการนำไปกักเก็บในภาชนะบรรจุ (รหัส 021) มีจำนวนสูงมากขึ้นจากปีก่อนอย่างมาก ต่อมาในปี พ.ศ. 2564 (รูปที่ 4.10) พบว่าเป็นปีที่มีปริมาณซากแบตเตอรี่รวมมากที่สุด โดยมีการนำไปคัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ (รหัส 011) มีปริมาณมากที่สุด สัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 42.81 ของปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีกำจัดแบบต่างๆ ของปี พ.ศ.2564 โดยที่ปริมาณการนำซากแบตเตอรี่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) ยังคงใกล้เคียงกับปีก่อนหน้า และในปี พ.ศ. 2565 (รูปที่ 4.11) พบว่ามีปริมาณการนำซากแบตเตอรี่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) กลับมามีปริมาณมากที่สุด โดยมีสัดส่วนมากถึงร้อยละ 51.63 ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแนวโน้มการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด จะเน้นเป็นการนำซากแบตเตอรี่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ เช่น ชิ้นส่วนพลาสติกนำไปหลอมเป็นชิ้นงานใหม่ แผงตะกั่วนำไปหลอมเป็นตะกั่วแท่ง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



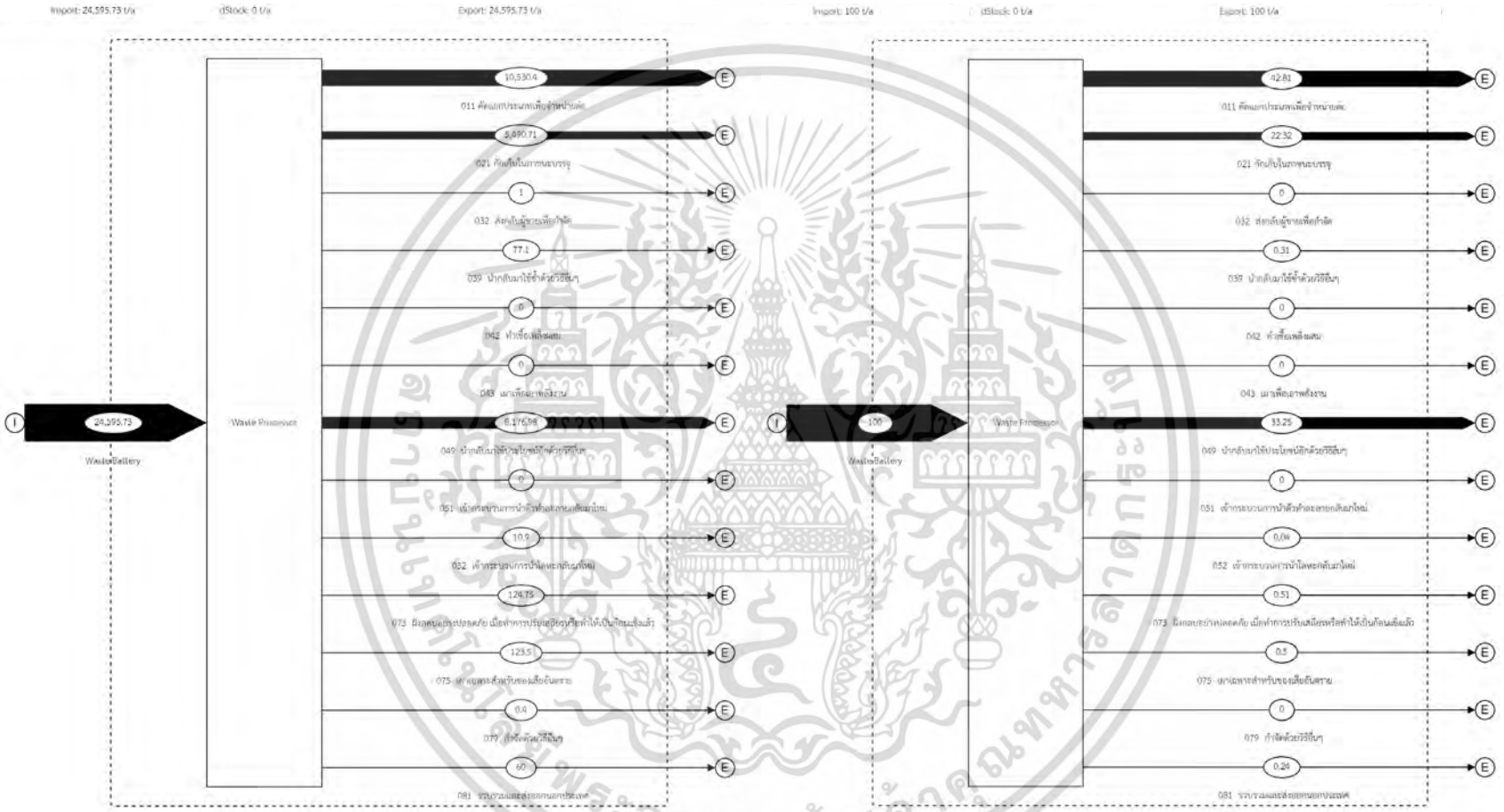
(ก) ปริมาณของวัสดุ (ข) ร้อยละปริมาณของวัสดุ

รูปที่ 4.8 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ปี พ.ศ. 2562



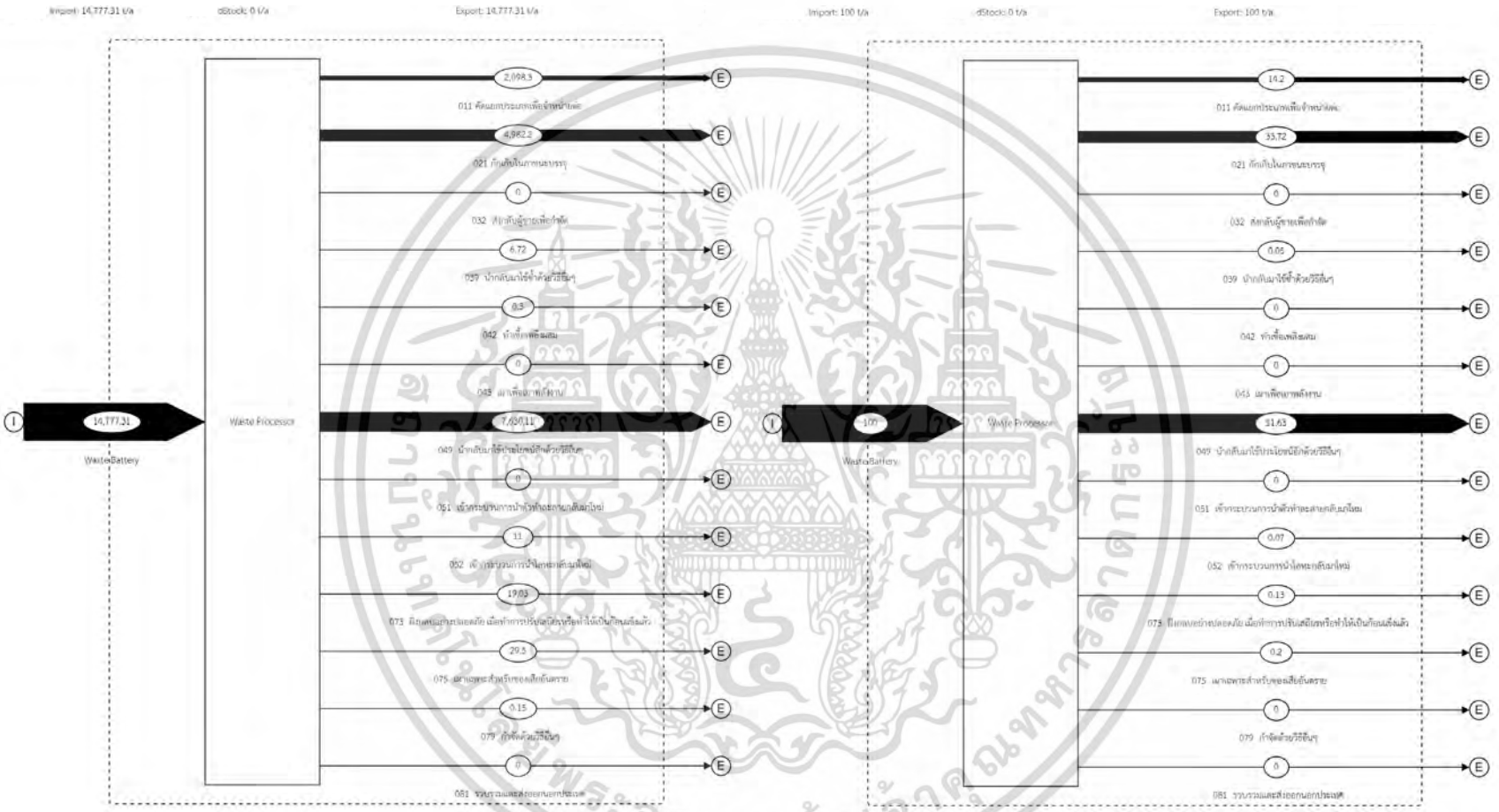
(ก) ปริมาณของวัสดุ (ข) ร้อยละปริมาณของวัสดุ

รูปที่ 4.9 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ปี พ.ศ. 2563



(ก) ปริมาณของวัสดุ (ข) ร้อยละปริมาณของวัสดุ

รูปที่ 4.10 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ปี พ.ศ. 2564



(ก) ปริมาณของวัสดุ (ข) ร้อยละปริมาณของวัสดุ

รูปที่ 4.11 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ปี พ.ศ. 2565

4.3.2 ผังการไหลของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

จากข้อมูลปริมาณของการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แยกตามรหัสกำจัด ที่ถูกรายงานใน สก.2 ระหว่าง ปี พ.ศ. 2562 – 2565 ตามตารางที่ 4.4 ได้นำมาพิจารณาเป็น ข้อมูลปริมาณของการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แยกตามรหัสกำจัดดังตารางที่ 4.6 โดยข้อมูลดังกล่าวได้จัดทำผังการไหลปริมาณและร้อยละวัสดุของการกำจัดแต่ละวิธีในแต่ละปี เพื่อการวิเคราะห์ปริมาณการไหลของวัสดุ (MFA) ด้วยโปรแกรม STAN version 2.6.801 จากปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีกำจัดแบบต่างๆ ในแต่ละปี

ตารางที่ 4.6 ปริมาณร้อยละของเสียรหัส 16 06 05 ประเภทแบตเตอรี่และตัวสะสมประจุชนิดอื่นๆ (ลิเทียมไอออน) แยกตามรหัสกำจัด ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565

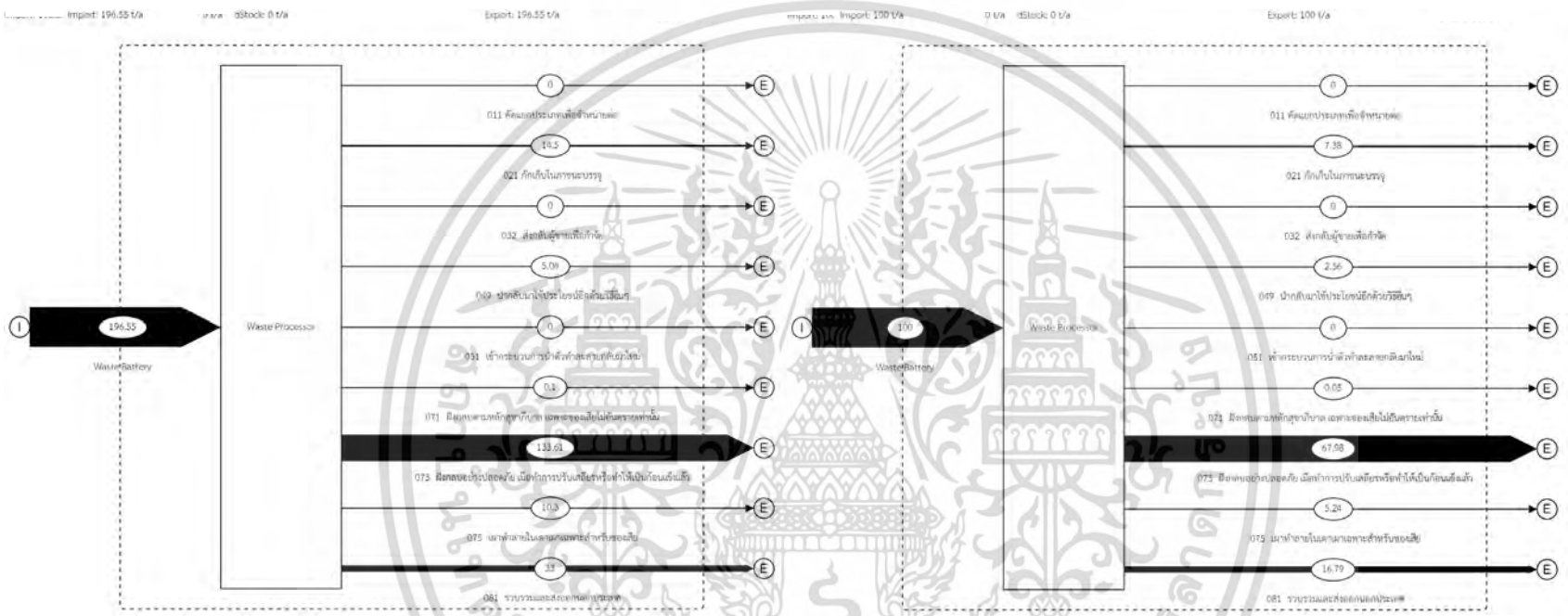
รหัสวิธีกำจัด	2562	2563	2564	2565
	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ
011	-	16.32	0.50	0.38
021	7.38	28.17	8.19	3.63
032	-	0.02	-	-
049	2.56	0.69	6.79	39.79
051	-	-	-	0.01
071	0.05	-	-	-
073	67.98	51.06	74.98	34.32
075	5.24	0.16	2.92	18.04
081	16.79	3.59	6.62	3.83
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00

สำหรับการพิจารณาปริมาณการไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis) จากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ด้วยวิธีกำจัดแบบต่างๆ ระหว่างปี พ.ศ. 2562 ถึงปี พ.ศ. 2565 ได้แสดงด้วยผังการไหลปริมาณของวัสดุในแต่ละปี พบว่าในปี พ.ศ. 2562 (รูปที่ 4.12) มีปริมาณการนำซากแบตเตอรี่ถูกนำไปทำการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (รหัส 073) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 67.98 ของปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีกำจัดแบบต่างๆ ของปี พ.ศ.2562 ต่อมาในปี พ.ศ. 2563 (รูปที่ 4.13) พบว่าปริมาณซากแบตเตอรี่ถูกนำไปทำการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (รหัส 073) ยังคงมีปริมาณมากที่สุด แต่สัดส่วนลดลงจากปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

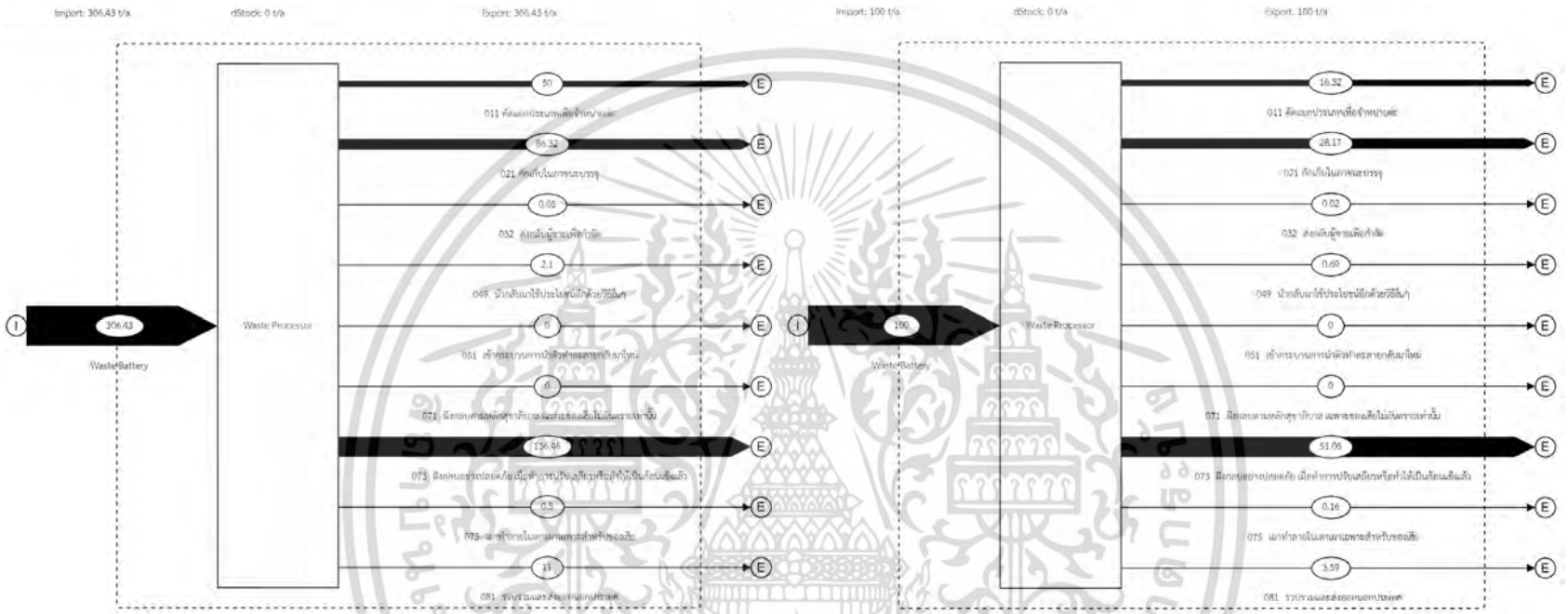
ก่อนคิดเป็นร้อยละ 51.06 ของปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีกำจัดแบบต่างๆ ของปี พ.ศ.2563 ต่อมาในปี พ.ศ. 2564 (รูปที่ 4.14) พบว่าปริมาณซากแบตเตอรี่ถูกนำไปทำการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (รหัส 073) ยังคงมีปริมาณมากที่สุด โดยสัดส่วนสูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 74.98 ของปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีกำจัดแบบต่างๆ ของปี พ.ศ.2564 และในปี พ.ศ. 2565 (รูปที่ 4.15) พบว่ามีปริมาณการนำซากแบตเตอรี่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) มีปริมาณมากที่สุด โดยมีสัดส่วนร้อยละ 39.79 ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแนวโน้มการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในช่วงแรกจะเป็นการนำไปทำการฝังกลบอย่างปลอดภัย และในระยะหลังจะเน้นการนำซากแบตเตอรี่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



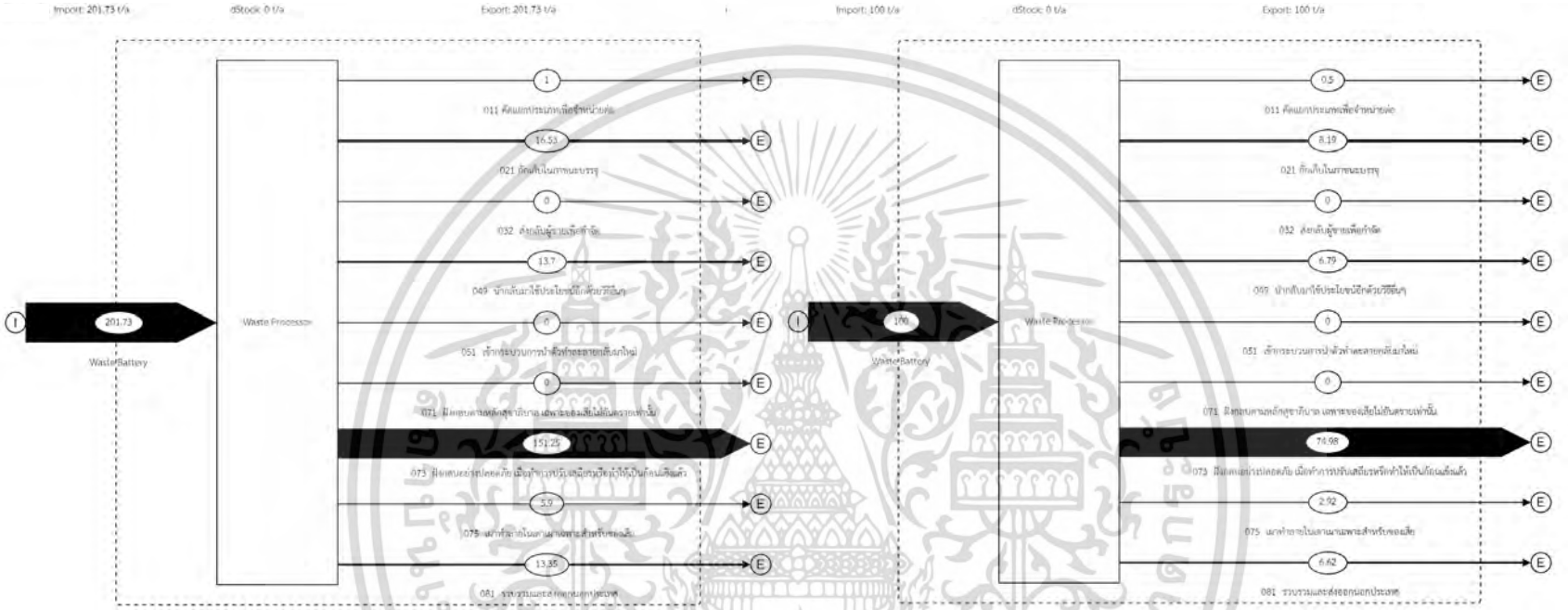
(ก) ปริมาณของวัสดุ (ข) ร้อยละปริมาณของวัสดุ

รูปที่ 4.12 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ปี พ.ศ. 2562



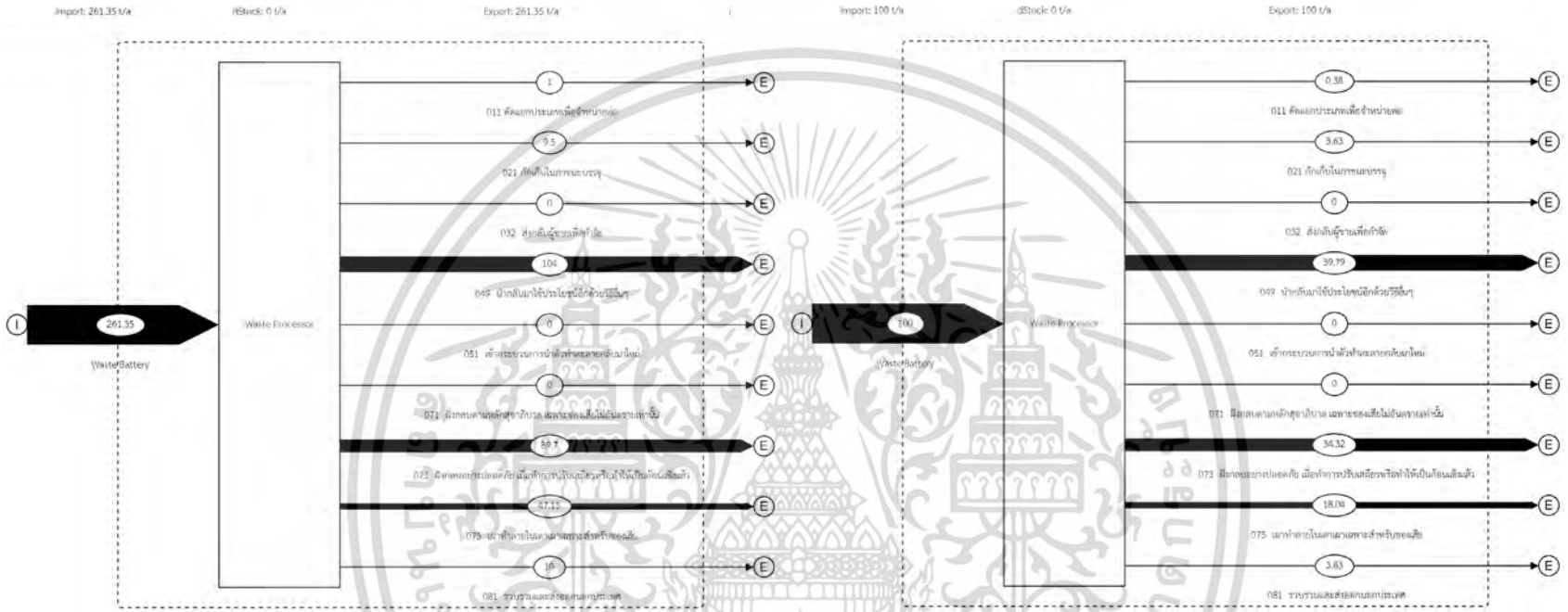
(ก) ปริมาณของวัสดุ (ข) ร้อยละปริมาณของวัสดุ

รูปที่ 4.13 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ปี พ.ศ. 2563



(ก) ปริมาณของวัสดุ (ข) ร้อยละปริมาณของวัสดุ

รูปที่ 4.14 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ปี พ.ศ. 2564



(ก) ปริมาณของวัสดุ (ข) ร้อยละปริมาณของวัสดุ

รูปที่ 4.15 ผังการไหลปริมาณของวัสดุ จากการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ปี พ.ศ. 2565

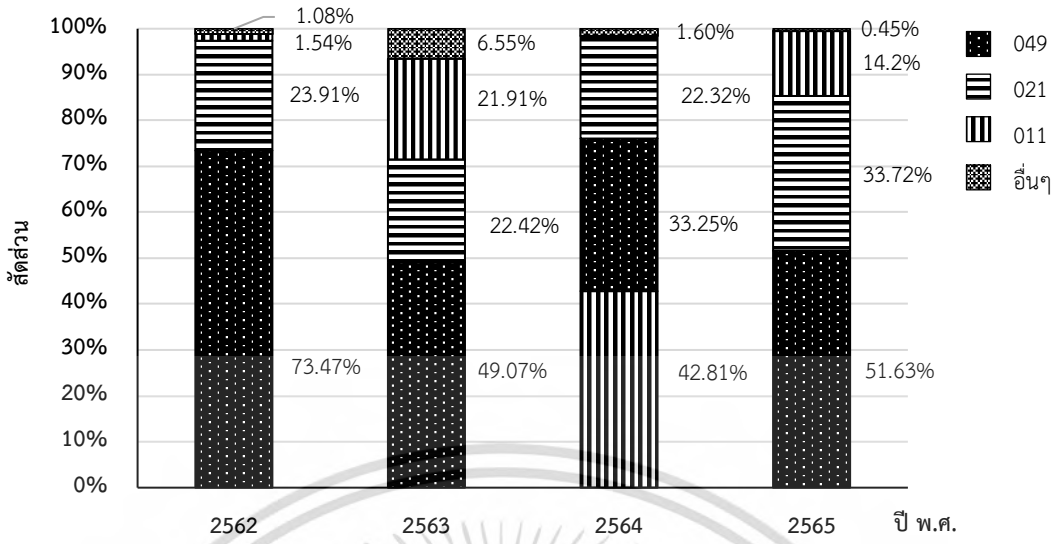
4.3.3 การวิเคราะห์วิธีการจัดการซากแบตเตอรี่จากลำดับสัดส่วนปริมาณ

ตารางที่ 4.7 ลำดับวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดตามสัดส่วนปริมาณในแต่ละปี

ปี	ลำดับ	รหัส	วิธีการจัดการ	ปริมาณ	ร้อยละ
2562	1	049	นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ	8,231.39	73.47
	2	021	กักเก็บในภาชนะบรรจุ	2,678.69	23.91
	3	073	ฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว	173.00	1.54
	4	อื่นๆ	รวมวิธีอื่นๆ	120.50	1.08
2563	1	049	นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ	9,078.56	49.07
	2	021	กักเก็บในภาชนะบรรจุ	4,148.84	22.42
	3	011	คัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ	4,053.20	21.91
	4	อื่นๆ	รวมวิธีอื่นๆ	1,217.83	6.55
2564	1	011	คัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ	10,530.40	42.81
	2	049	นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ	8,176.98	33.25
	3	021	กักเก็บในภาชนะบรรจุ	5,490.71	22.32
	4	อื่นๆ	รวมวิธีอื่นๆ	397.65	1.60
2565	1	049	นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ	7,630.11	51.63
	2	021	กักเก็บในภาชนะบรรจุ	4,982.20	33.72
	3	011	คัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ	2,098.30	14.20
	4	อื่นๆ	รวมวิธีอื่นๆ	66.70	0.45

จากตารางที่ 4.7 แสดงถึงลำดับตามสัดส่วนปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดระหว่าง ปี พ.ศ. 2562 – 2565 โดยได้เลือกวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด 3 อันดับที่มีสัดส่วนมากที่สุดในแต่ละปีตามลำดับ โดยตั้งแต่ลำดับที่ 4 เป็นต้นไป ปริมาณรวมจะถูกรวมอยู่กับวิธีอื่นๆ ซึ่งถือว่ามีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับสัดส่วนรวมในแต่ละปี โดยใน รูปที่ 4.16 แสดงสัดส่วนปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 พบว่าในปี พ.ศ. 2562 – 2563 และ ปี พ.ศ. 2565 การกำจัดซากแบตเตอรี่โดยการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) มีสัดส่วนปริมาณมากที่สุด เนื่องจากซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีการศึกษาและพัฒนาเทคนิคในการจัดการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นนับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยในปี พ.ศ. 2564 วิธีการคัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ (รหัส 011) มีปริมาณมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



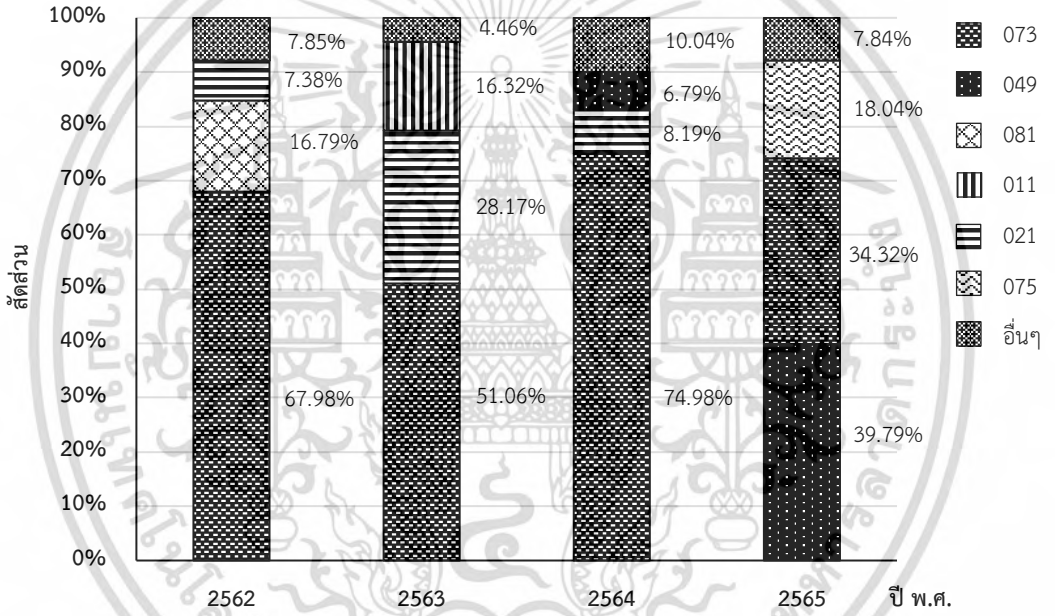
รูปที่ 4.16 สัดส่วนปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดระหว่าง ปี พ.ศ. 2562 – 2565

ตารางที่ 4.8 ลำดับวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนตามสัดส่วนปริมาณในแต่ละปี

ปี	ลำดับ	รหัส	วิธีการกำจัด	ปริมาณ	ร้อยละ
2562	1	073	ฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว	133.61	67.98
	2	081	รวบรวมและส่งออกนอกประเทศ	33.00	16.79
	3	021	กักเก็บในภาชนะบรรจุ	14.50	7.38
	4	อื่นๆ	รวมวิธีอื่นๆ	15.44	7.85
2563	1	073	ฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรฯ	156.46	51.06
	2	021	กักเก็บในภาชนะบรรจุ	86.32	28.17
	3	011	คัดแยกประเภทเพื่อจำหน่ายต่อ	50.00	16.32
	4	อื่นๆ	รวมวิธีอื่นๆ	13.65	4.46
2564	1	073	ฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรฯ	151.25	74.98
	2	021	กักเก็บในภาชนะบรรจุ	16.53	8.19
	3	049	นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ	13.70	6.79
	4	อื่นๆ	รวมวิธีอื่นๆ	20.25	10.04
2565	1	049	นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ	104.00	39.79
	2	073	ฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรฯ	89.70	34.32
	3	075	เผาทำลายในเตาเผาเฉพาะสำหรับของเสียอันตราย	47.15	18.04
	4	อื่นๆ	รวมวิธีอื่นๆ	20.50	7.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 แสดงถึงลำดับตามสัดส่วนปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ระหว่าง ปี พ.ศ. 2562 – 2565 โดยได้เลือกวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 3 อันดับที่มีสัดส่วนมากที่สุดในแต่ละปีตามลำดับ โดยตั้งแต่ลำดับที่ 4 เป็นต้นไป ปริมาณรวมจะถูกรวมอยู่กับวิธีอื่นๆ ซึ่งถือว่ามีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับสัดส่วนรวมในแต่ละปี โดยใน รูปที่ 4.17 แสดงสัดส่วนปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนระหว่าง ปี พ.ศ. 2562 – 2565 พบว่าในแต่ละปี การกำจัดซากแบตเตอรี่โดยการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (รหัส 073) มีสัดส่วนปริมาณมากที่สุด อาจจะเนื่องมาจากเป็นวิธีที่ง่ายต่อการจัดการที่สุด มีต้นทุนและความคุ้มค่ามากที่สุด โดยในปี พ.ศ. 2565 ได้มีวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) มีสัดส่วนริมาณมากที่สุด อาจจะเนื่องมาจากเทคโนโลยีในปัจจุบันถูกคิดค้นและพัฒนาให้สามารถนำซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน นำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆได้อย่างคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.17 สัดส่วนปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนระหว่าง ปี พ.ศ. 2562 – 2565

การจัดทำและวิเคราะห์ผังการไหลของซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 ทำให้ทราบปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ ที่มีการจัดการด้วยวิธีต่างๆ โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผังการไหล เป็นข้อมูลในการสร้างสถานการณ์จำลอง (Scenario) ของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย (รหัส 073) และวิธีนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) เพื่อนำข้อมูลการจัดการจากสถานการณ์จำลองมาศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

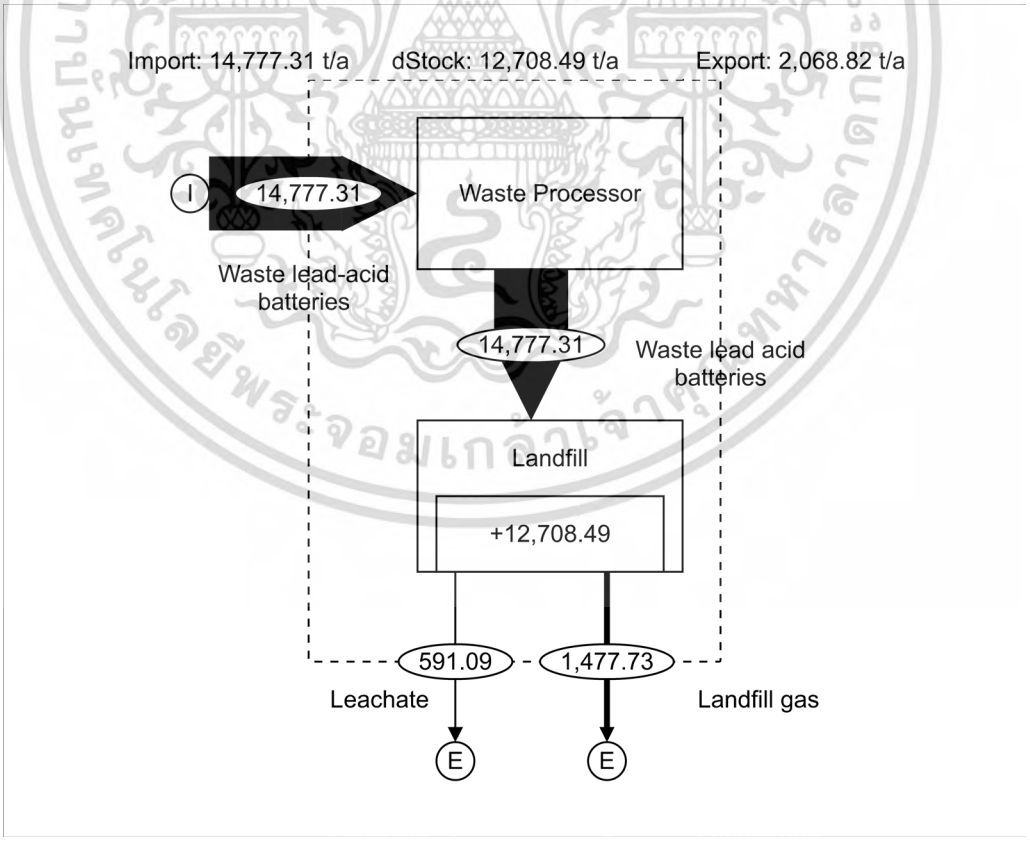
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ข้อมูลสถานการณ์จำลองของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่

4.4.1 ผังการไหลของปริมาณวัสดุในสถานการณ์จำลองของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่

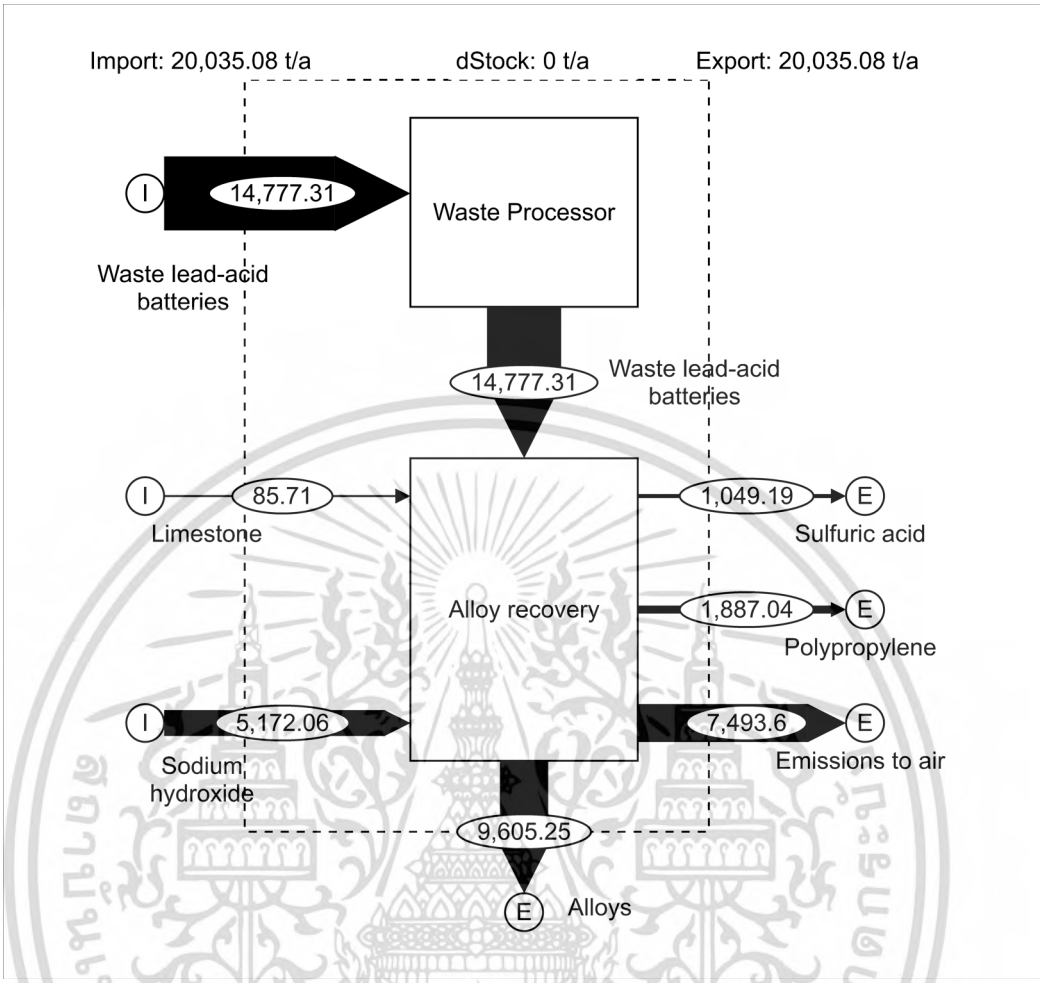
ผังการไหลของปริมาณวัสดุในสถานการณ์จำลองของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ เป็นการพิจารณาเส้นทางและปริมาณการไหลของซากแบตเตอรี่ตั้งแต่ขาเข้า (input) จนถึงขาออก (output) รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่ ด้วยการวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (MFA) เพื่อนำไปพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่

ในการศึกษานี้ได้เลือกวิธีการจัดการของซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออนในประเทศไทยอย่างละ 2 วิธี ได้แก่ การฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073) และการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049) รวมเป็น 4 สถานการณ์จำลอง (scenario) ตามรายละเอียดในตารางที่ 3.2 โดยปริมาณวัสดุขาเข้าเป็นข้อมูลซากแบตเตอรี่รวมในปี พ.ศ.2565 ตามที่ได้รวบรวมไว้ในข้อที่ 4.2 เนื่องจากเป็นข้อมูลของปีที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์การจัดการซากแบตเตอรี่ในปัจจุบันมากที่สุด สำหรับซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด มีปริมาณรวม 14,777.31 ตัน และซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีปริมาณรวม 261.35 ตัน ผังการไหลของปริมาณวัสดุในกระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่แต่ละวิธีแสดงดังรูปที่ 4.18 ถึง รูปที่ 4.21



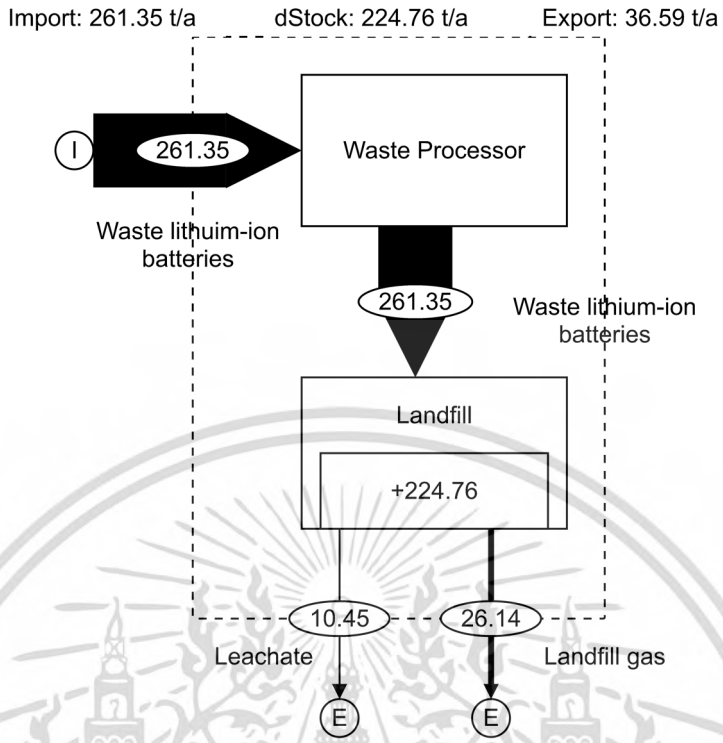
รูปที่ 4.18 ปริมาณการไหลของวัสดุในสถานการณ์จำลอง S_{1_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



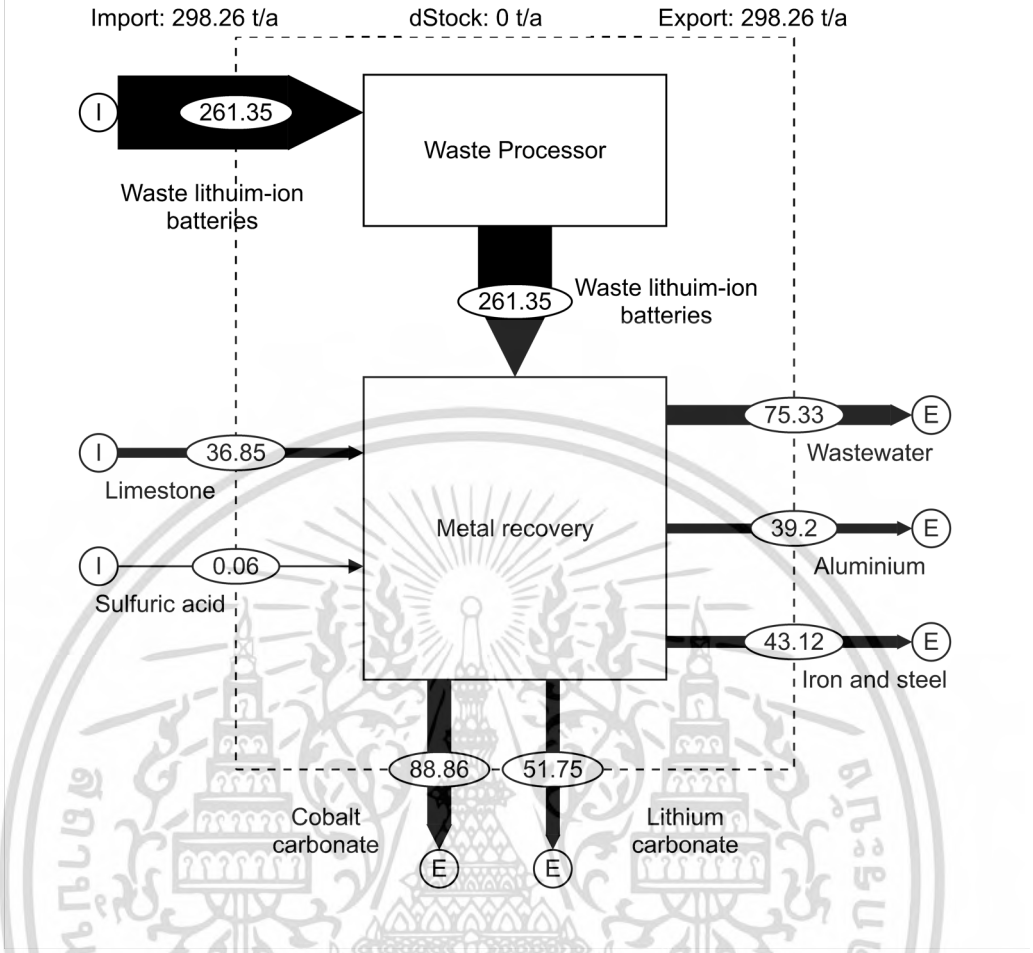
รูปที่ 4.19 ปริมาณการไหลของวัสดุในสถานการณ์จำลอง $S2_{_LAB}$ การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ปริมาณการไหลของวัสดุในสถานการณ์จำลอง S_{1_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ปริมาณการไหลของวัสดุในสถานการณ์จำลอง S_{2_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก (Inventory)

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้วิเคราะห์และจัดทำบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก (Inventory analysis) จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยก่อนหน้า โดยเทียบสัดส่วนปริมาณรายการต่างๆ ระหว่างงานวิจัยที่ถูกอ้างอิงกับข้อมูลซากแบตเตอรี่รวมในปี พ.ศ.2565 ตามที่ได้รวบรวมไว้ในข้อที่ 4.2 โดยบัญชีรายการฯ แยกตามสถานการณ์ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.4 มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.9 ถึง ตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.9 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก สถานการณ์จำลอง S_{1_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073)

รายละเอียด	ปริมาณ	หน่วย	ที่มา/เอกสารอ้างอิง
INPUTS			
Raw material inputs			
Lead acid batteries	14,777.31	tonne	สก.2 (จำนวนรวมปี 2565)
Electricity consumption			
Electricity	37,201.88	kWh	(Karen Fisher, et al., 2006)
Fuel usage			
Diesel	7,758.17	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)
Water consumption			
Water	0.63	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)
OUTPUTS			
Emissions to soil			
Leachate	591.09	tonne	(Malmir, T. et al., 2023)
Emissions to air			
Landfill gas	1,477.73	tonne	(Malmir, T. et al., 2023)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก สถานการณ์จำลอง S_{2_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049)

รายละเอียด	ปริมาณ	หน่วย	เอกสารอ้างอิง
INPUTS			
Raw material inputs			
Lead acid batteries	14,777.31	tonne	สก.2 (จำนวนรวมปี 2565)
Limestone	85.71	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)
Sodium hydroxide	5,172.06	tonne	
Electricity consumption			
Electricity	0.52	kWh	(Karen Fisher, et al., 2006)
Fuel usage			
Natural gas	239.39	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)
Coal	295.55	tonne	
Water consumption			
Water	11.38	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)
OUTPUTS			
Product output			
Alloys	9,605.25	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)
Sulphuric acid	1,049.19	tonne	
Emissions to air			
Sulfurdioxide	104.92	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)
Carbondioxide	7,388.66	tonne	
Lead	0.02	tonne	
Sb	0.000083	tonne	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก สถานการณ์จำลอง S_{1_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073)

รายละเอียด	ปริมาณ	หน่วย	เอกสารอ้างอิง
INPUTS			
Raw material inputs			
Lithium-ion batteries	261.35	tonne	สก.2 (จำนวนรวมปี 2565)
Electricity consumption			
Electricity	657.95	kWh	(Karen Fisher, et al., 2006)
Fuel usage			
Diesel	137.21	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)
Water consumption			
Water	0.01	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)
OUTPUTS			
Emissions to soil			
Leachate	10.45	tonne	(Malmir, T. et al., 2023)
Emissions to air			
Landfill gas	26.14	tonne	(Malmir, T. et al., 2023)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออก สถานการณ์จำลอง S_{2_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049)

รายละเอียด	ปริมาณ	หน่วย	เอกสารอ้างอิง
INPUTS			
Raw material inputs			
Lithium-ion batteries	261.35	tonne	สก.2 (จำนวนรวมปี 2565)
Limestone	36.85	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)
Sulfuric acid	0.06	tonne	
Electricity consumption			
Electricity	0.04	kWh	(Karen Fisher, et al., 2006)
Water consumption			
Water	0.19	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)
OUTPUTS			
Product output			
Cobalt carbonate	88.86	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)
Lithium carbonate	51.75	tonne	
Iron and steel	43.12	tonne	
Aluminium	39.20	tonne	
Emissions to water (sewer)			
Wastewater	75.33	tonne	(Karen Fisher, et al., 2006)

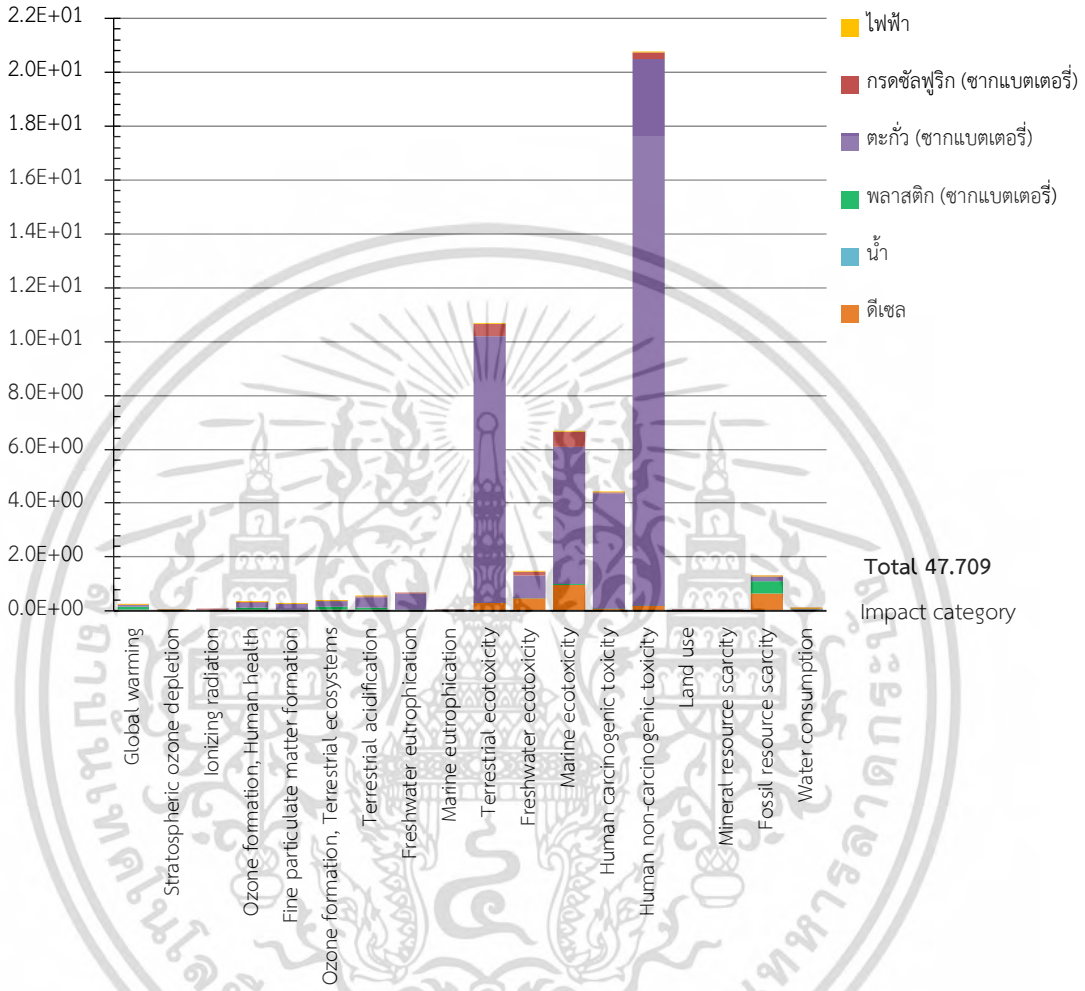
4.5 ผลการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่

จากสถานการณ์จำลองของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ที่กำหนดขึ้นในการศึกษานี้ ซึ่งมีการใช้ข้อมูลปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่จากที่รวบรวมไว้ในข้อที่ 4.2 มาจัดทำผังการไหลของวัสดุและบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกตามที่กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้น ข้อมูลดังกล่าวได้ถูกนำมาวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่ ด้วยการเทียบหน่วย (Normalization) ซึ่งเป็นการปรับหน่วยของแต่ละผลกระทบ ให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันเพื่อนำมาเปรียบเทียบกันในเชิงปริมาณและเพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละผลกระทบ โดยปริมาณด้านบวกแสดงถึงผลกระทบที่ไม่ดีต่อสิ่งแวดล้อม ในทางกลับกัน ปริมาณด้านลบแสดงถึงผลกระทบที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม มีผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

4.5.1.1 S_{1_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073)



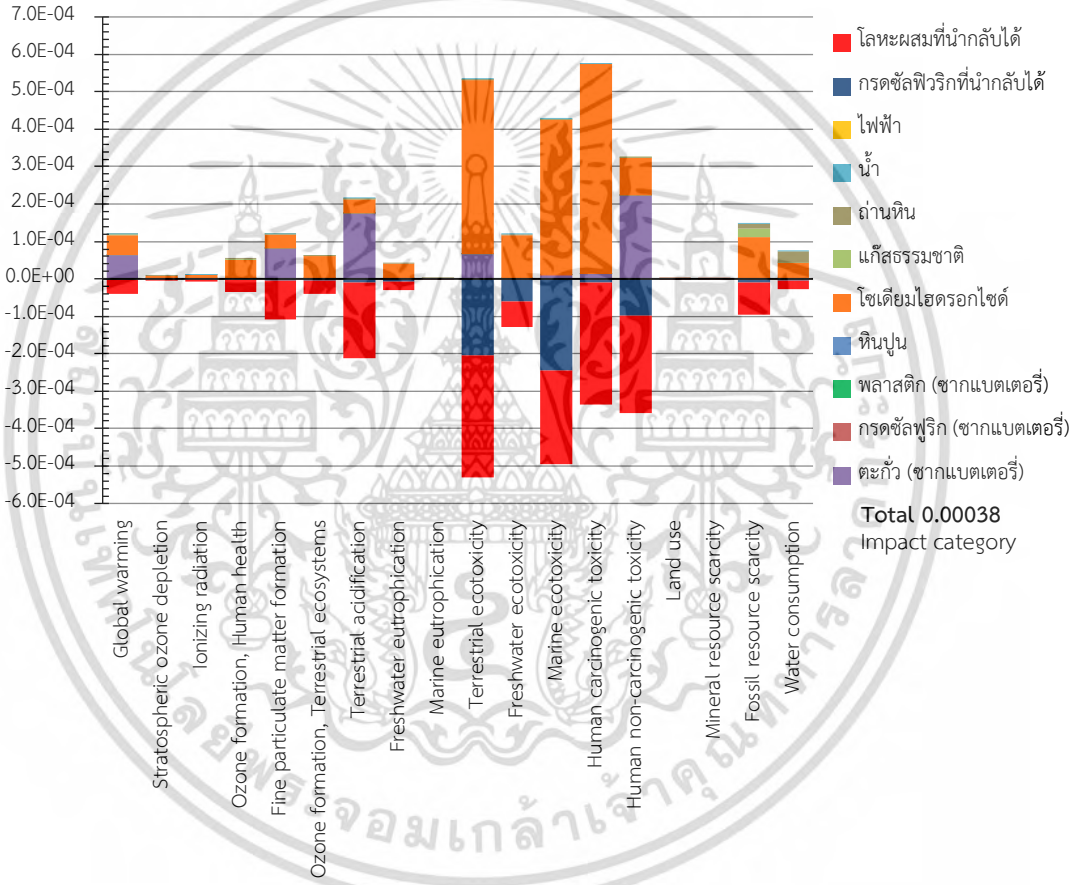
รูปที่ 4.22 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมสถานการณ์จำลอง S_{1_LAB} แบบเทียบหน่วย

จากรูปที่ 4.22 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073) ตามสถานการณ์จำลอง S_{1_LAB} พบว่าค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมรวมแบบเทียบหน่วย (normalization) ของกิจกรรมนี้ คือ 47.709 ซึ่งมีค่ารวมด้านบวก กล่าวคือการจัดการโดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้วนี้ก่อให้เกิดผลกระทบที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีผลกระทบมากสุดในด้านต่างๆ 5 อันดับแรก ได้แก่ ผลกระทบด้านความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human non-carcinogenic toxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษในดิน (Terrestrial ecotoxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษในทางทะเล (Marine ecotoxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human carcinogenic toxicity) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบด้านความเป็นพิษในแหล่งน้ำจืด (Freshwater ecotoxicity) ตามลำดับ มีปัจจัยจากตะกั่วในซากแบตเตอรี่จำนวนมากที่สุด เนื่องจากการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีนี้ได้กำหนดให้ไม่มีการแยกส่วนประกอบต่างๆ ออกมาก่อนการฝังกลบ ซึ่งโดยทั่วไปในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดหนึ่งลูกจะมีสัดส่วนตะกั่วอยู่ประมาณร้อยละ 65 ดังนั้น ในการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดนี้ โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073) จึงควรมีการแยกส่วนประกอบต่างๆออกมาก่อนนำไปฝังกลบ

4.5.1.1 S_{2_LAB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049)



รูปที่ 4.23 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมสถานการณ์จำลอง S_{2_LAB} แบบเทียบหน่วย

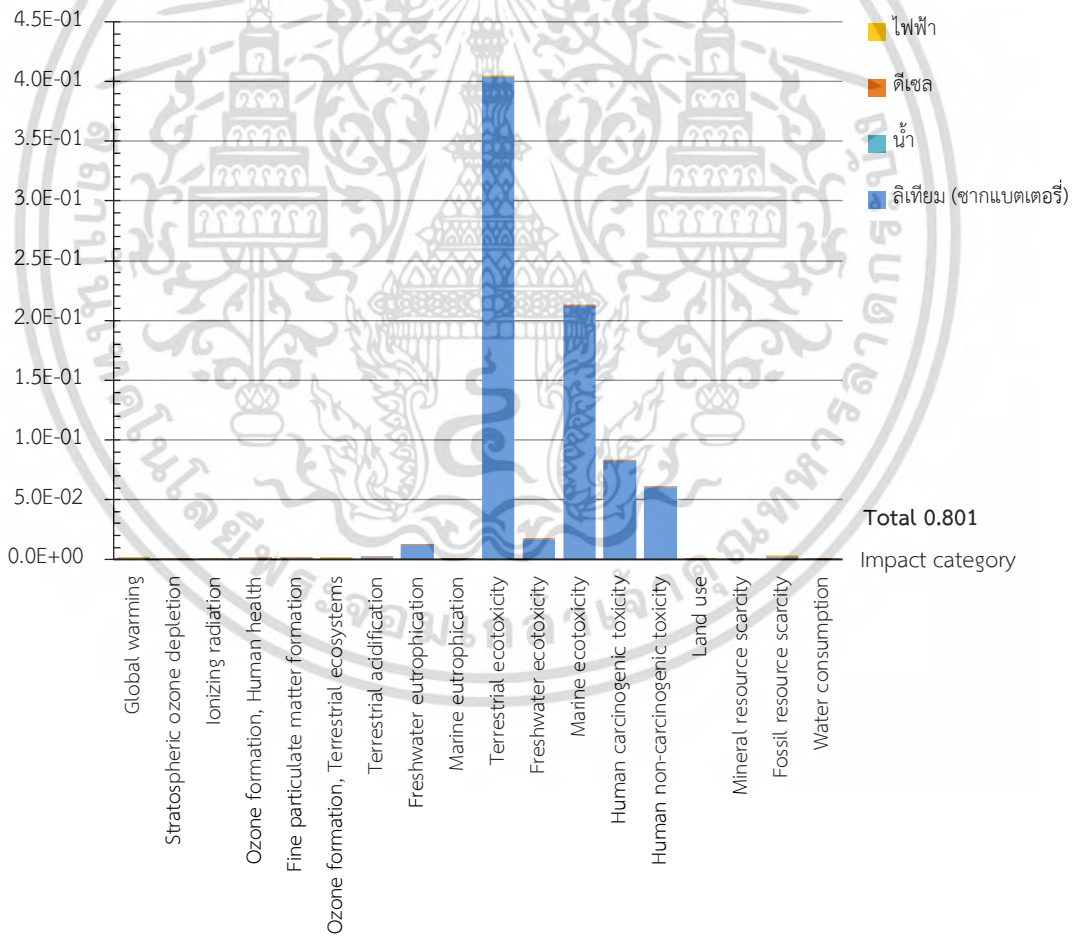
จากรูปที่ 4.23 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049) ตามสถานการณ์จำลอง S_{2_LAB} พบว่าค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมรวมแบบเทียบหน่วย (normalization) ของกิจกรรมนี้ คือ 0.00038 ซึ่งมีค่ารวมด้านบวก กล่าวคือการจัดการโดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆนี้ก่อให้เกิดผลกระทบที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีผลกระทบมากสุดในด้านต่างๆ 5 อันดับแรก ได้แก่ ผลกระทบด้านความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human carcinogenic toxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษในดิน (Terrestrial ecotoxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษในทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทะเล (Marine ecotoxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human non-carcinogenic toxicity) และผลกระทบด้านสภาวะความเป็นกรดในดิน ตามลำดับ โดยมีปัจจัยจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อสกัดโลหะผสม (Alloy) และปริมาณตะกั่วจากซากแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังพบว่าช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 5 อันดับแรก ได้แก่ ด้านความเป็นพิษในดิน (Terrestrial ecotoxicity) ด้านความเป็นพิษในทางทะเล (Marine ecotoxicity) ด้านความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human non-carcinogenic toxicity) ด้านความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human carcinogenic toxicity) และด้านความเป็นพิษในแหล่งน้ำจืด (Freshwater ecotoxicity) ตามลำดับ เนื่องจากมีโลหะผสม (Alloy) และกรดซัลฟิวริกที่นำกลับได้

4.5.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

4.5.2.1 S_{1_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (073)



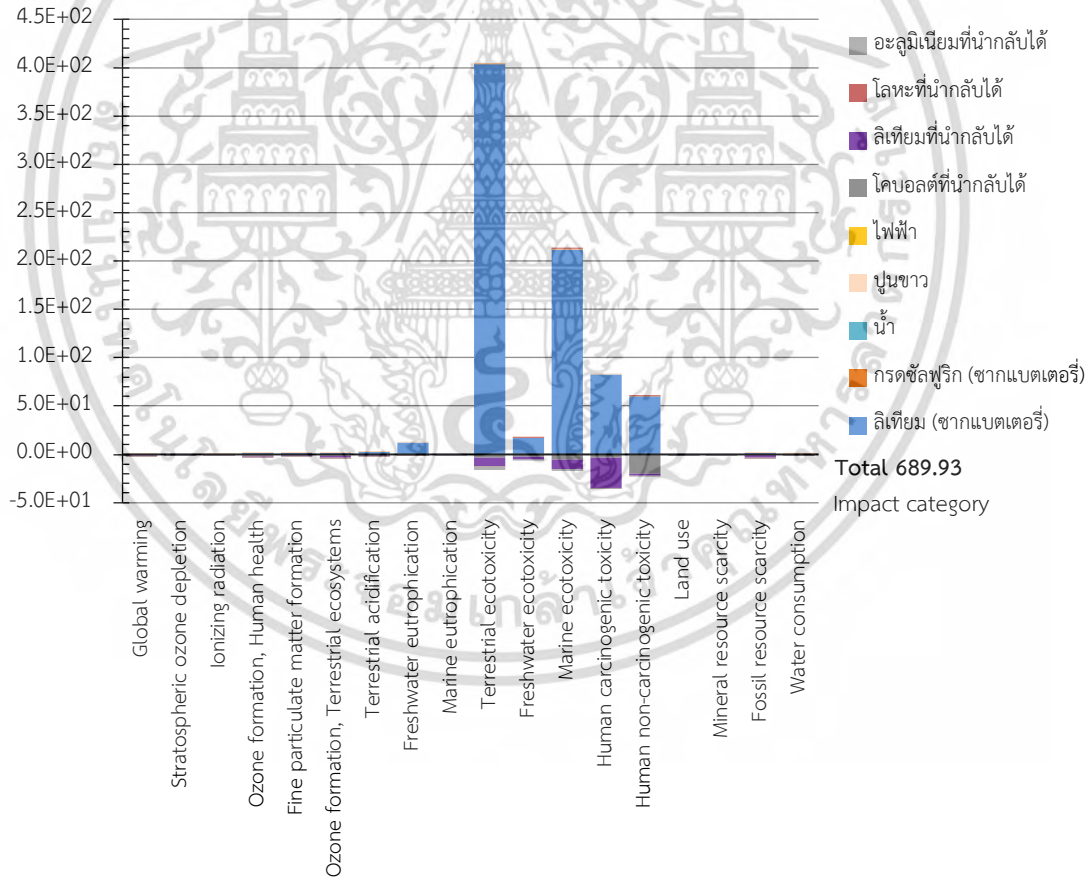
รูปที่ 4.24 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมสถานการณ์จำลอง S_{1_LIB} แบบเทียบหน่วย

จากรูปที่ 4.24 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(073) ตามสถานการณ์จำลอง S_{1_LIB} พบว่าค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมรวมแบบเทียบหน่วย (normalization) ของกิจกรรมนี้ คือ 0.801 ซึ่งมีค่ารวมด้านบวก กล่าวคือการจัดการโดยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้วนี้ก่อให้เกิดผลกระทบที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีผลกระทบมากสุดในด้านต่างๆ 6 อันดับแรก ได้แก่ ผลกระทบด้านความเป็นพิษในดิน (Terrestrial ecotoxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษในทางทะเล (Marine ecotoxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human carcinogenic toxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human non-carcinogenic toxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษในแหล่งน้ำจืด (Freshwater ecotoxicity) และผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication) ตามลำดับ โดยมีปัจจัยจากปริมาณซากแบตเตอรี่ลิเทียมที่มีการนำไปฝังกลบ

4.5.2.2 S_{2_LIB} การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049)



รูปที่ 4.25 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมสถานการณ์จำลอง S_{2_LIB} แบบเทียบหน่วย

จากรูปที่ 4.25 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน โดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (049) ตามสถานการณ์จำลอง S_{2_LIB}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมรวมแบบเทียบหน่วย (normalization) ของกิจกรรมนี้ คือ 689.93 ซึ่งมีค่ารวมด้านบวก กล่าวคือการจัดการโดยวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆนี้ก่อให้เกิดผลกระทบที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีผลกระทบมากสุดในด้านต่างๆ 6 อันดับแรก ได้แก่ ผลกระทบด้านความเป็นพิษในดิน (Terrestrial ecotoxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษในทางทะเล (Marine ecotoxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human carcinogenic toxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human non-carcinogenic toxicity) ผลกระทบด้านความเป็นพิษในแหล่งน้ำจืด (Freshwater ecotoxicity) และผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication) ตามลำดับ โดยมีปัจจัยจากการมีปริมาณซากแบตเตอรี่ลิเทียมจำนวนมาก อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังพบว่าช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 4 อันดับแรก ได้แก่ ด้านความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human carcinogenic toxicity) ด้านความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human non-carcinogenic toxicity) ด้านความเป็นพิษในทางทะเล (Marine ecotoxicity) และด้านความเป็นพิษในดิน (Terrestrial ecotoxicity) ตามลำดับ เนื่องจากมีการสกัดสารประกอบโคบอลต์ ลิเทียม โลหะมีค่า และอะลูมิเนียมที่นำกลับได้

ในการศึกษานี้ได้พิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสถานการณ์จำลองการจัดการซากแบตเตอรี่ ด้วยการพิจารณาปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบเทียบหน่วย (Normalization) โดยปริมาณด้านบวกแสดงถึงผลกระทบที่ไม่ดีต่อสิ่งแวดล้อม ในทางกลับกัน ปริมาณด้านลบแสดงถึงผลกระทบที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม แสดงผลตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.5.1 และ 4.5.2 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

1. การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ด้วยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัยฯ (รหัส 073) มีปริมาณผลกระทบเฉพาะด้านบวกเท่านั้น โดยปริมาณผลกระทบมากที่สุดมาจากตะกั่วในซากแบตเตอรี่ ซึ่งส่งผลกระทบมากที่สุดในด้านความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ โดยก่อให้เกิดโรคพิษของตะกั่ว ส่งผลต่อไตและระบบประสาท แต่องค์กรอนามัยโลกกำหนดให้ตะกั่วอยู่ในกลุ่มสารที่อาจจะก่อให้เกิดมะเร็งได้ ผลความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์จึงส่งผลมากกว่าการก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์

2. การจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ด้วยวิธีนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) โดยกระบวนการเพื่อสกัดและหลอมโลหะผสม (Alloy recovery) มีปริมาณผลกระทบทั้งด้านบวกและด้านลบด้วยสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณผลกระทบด้านบวกมากที่สุดมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการ และตะกั่วจากซากแบตเตอรี่มีปริมาณผลกระทบรองลงมา ซึ่งปริมาณโดยรวมส่งผลกระทบมากที่สุดด้านความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ แต่ทั้งนี้ วิธีการจัดการนี้พบว่ามีปริมาณผลกระทบด้านลบมาจากการสกัดโลหะผสมและกรดซัลฟิวริกที่นำกลับได้ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ เช่น ความเป็นพิษในดิน ความเป็นพิษทางทะเล และความเป็นพิษที่ก่อและไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์

3. การจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ด้วยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัยฯ (รหัส 073) มีปริมาณผลกระทบเฉพาะด้านบวกเท่านั้น โดยปริมาณผลกระทบมากที่สุดมาจากซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ซึ่งส่งผลกระทบมากที่สุดด้านความเป็นพิษในดิน อาจเกิดจากการรั่วไหลจากซากแบตเตอรี่ที่จะส่งผลกระทบต่อน้ำใต้ดินอีกด้วย

4. การจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ด้วยวิธีนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) โดยกระบวนการสกัดและหลอมโลหะมีค่า (Metal recovery) มีปริมาณผลกระทบทั้งด้านบวกและด้านลบด้วยสัดส่วนด้านบวกมากกว่าอย่างชัดเจน โดยมีปริมาณผลกระทบด้านบวกมากที่สุดมาจากซากแบตเตอรี่ลิเทียม ซึ่งส่งผลกระทบมากที่สุดด้านความเป็นพิษในดิน แต่ทั้งนี้วิธีการจัดการนี้พบว่ามีปริมาณผลกระทบด้านลบมาจากองค์ประกอบที่เป็นลิเทียม อะลูมิเนียม และโคบอลต์ที่นำกลับมาได้ ซึ่งสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ เช่น ความเป็นพิษก่อและไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ ความเป็นพิษทางทะเล และความเป็นพิษในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ได้ทำการรวบรวมและวิเคราะห์ผลจากข้อมูลปริมาณของซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออน จากข้อมูลรายงานการนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกนอกบริเวณโรงงาน (สก.2) ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 โดยทำการศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีการจัดการตามรหัสกำจัดต่างๆ พร้อมจัดทำผังการไหลของวัสดุ (MFA) ด้วยโปรแกรม STAN version 2.6.801 และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากสถานการณ์จำลองของการจัดการซากแบตเตอรี่ในประเทศไทย โดยใช้แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ด้วยโปรแกรม SimaPro version 9.0 ใช้ฐานข้อมูลจาก Ecoinvent 3 คำนวณผลกระทบด้วยวิธี ReCiPe 2016 Midpoint (H) ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint Impact Assessment) ในด้านต่างๆ จำนวน 18 ด้าน เพื่อหาแนวทางในการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอย่างเหมาะสม จากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งมีผลสรุปการวิจัย ดังนี้

1. จากข้อมูลรายงาน สก.2 ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ระหว่างปี พ.ศ. 2562 – 2565 พบว่า ซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดร้อยละ 47.94 ของปริมาณซากทั้งหมดถูกจัดการด้วยวิธีนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) ส่วนซากแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ร้อยละ 54.97 จากปริมาณซากทั้งหมดถูกจัดการด้วยวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (รหัส 073) โดยกระบวนการจัดการซากแบตเตอรี่ทั้ง 2 วิธี ได้ถูกเลือกเพื่อใช้ในสถานการณ์จำลอง (Scenario) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดและลิเทียมไอออน

2. การวิเคราะห์ด้วยผังการไหลของวัสดุ (MFA) สามารถช่วยในการพิจารณาปริมาณสารขาเข้าและออกในระบบ โดยในการศึกษานี้ได้สร้างผังการไหลของปริมาณวัสดุเพื่อแสดงปริมาณการจัดการซากแบตเตอรี่ด้วยวิธีกำจัดแบบต่างๆ ในแต่ละปี และผังการไหลของปริมาณวัสดุในสถานการณ์จำลอง (Scenario) ของวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถแสดงภาพรวมของกระบวนการได้อย่างชัดเจน รวมถึงสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์และจัดลำดับวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ได้

3. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเทียบหน่วย (Normalization) ของสถานการณ์จำลองวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และลิเทียมไอออน พบว่า วิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัยฯ (รหัส 073) แสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเฉพาะด้านที่ไม่ดีเท่านั้น ส่วนวิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดนั้น เป็นกระบวนการเพื่อสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหลอมโลหะผสม (Alloy recovery) แสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งด้านดีและไม่ดีด้วยสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้น เป็นกระบวนการสกัดและหลอมโลหะมีค่า (Metal recovery) แสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งด้านที่ดีและไม่ดี โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางด้านไม่ดีมีสัดส่วนมากกว่าด้านที่ดีอย่างมีนัยสำคัญ จากสถานการณ์จำลองวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ทั้งสองชนิดจะเห็นได้ว่า วิธีการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านที่ไม่ดีได้ แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในประเทศไทยควรได้รับการพัฒนาเทคโนโลยีในกระบวนจัดการอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ และรองรับปริมาณซากแบตเตอรี่ที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยผลการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลสนับสนุนในการจัดทำแนวทางหรือมาตรการในการจัดการซากแบตเตอรี่ของประเทศไทยต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จัดการด้วยวิธีนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วยวิธีอื่นๆ (รหัส 049) และวิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัย เมื่อทำการปรับเสถียรหรือทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว (รหัส 073) ได้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบโดยตรงต่อมนุษย์ในด้านความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Human carcinogenic toxicity) ซึ่งควรมีศึกษาวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อไป

2. เนื่องจากการใช้งานแบตเตอรี่ในปัจจุบันมีหลายชนิด จึงควรศึกษาวิธีการจัดการซากแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ เพิ่มเติม

3. เนื่องด้วยปัจจุบันความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีมีเทคนิคหรือกระบวนการใหม่ๆ สำหรับการจัดการซากแบตเตอรี่มากยิ่งขึ้น ในการเลือกแนวทางการจัดการจึงควรพิจารณาวิธีการใหม่นี้ด้วย เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพด้านการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Dehghani-Sanij A.R., Tharumalingam E., Dusseault M.B. and Fraser R. 2019. "Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries." **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** 104: 192-208.

Fisher K., Wallen E., Laenen P. P. and Collins M. 2006. **Battery Waste Management Life Cycle Assessment.** Copenhagen : Environmental Resources Management Limited.

Jie X., Yao Z., Wang C., Qiu D., Chen Y., Zhang Y., Ma B. and Gao W. 2022. "Progress in Waste Lead Paste Recycling Technology from Spent Lead–Acid Battery in China." **Journal of Sustainable Metallurgy**. 8: 978–993.

Karin A., Wolf-Wats C., Erixon M., Olsson, P., Wallen, E. 2000. **LCA Software Survey**, [Online]. Available : https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f472a51/1628413818948/FULLTEXT01.pdf

Malmir T., Heroux M., Lagos D. and Eicker U. 2023. "Assessment of landfill gas storage and application regarding energy management: A case study in the province of Quebec, Canada." **Waste Management.** 171: 155-162.

Shahid M. 2022. **All types of Batteries.** [Online]. Available : https://techatronic.com/different-types-of-batteries/

Suriyanon W. 2023. Development of batteries waste management system in Thailand toward circular economy. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://cmuir.cmu.ac.th/jspui/handle/6653943832/79061

UPS Battery center. 2014. **How Does Intercalation Work in Batteries.** [Online]. เข้าถึงได้จาก: https://blog.upsbatterycenter.com/intercalation-work-batteries/#prettyPhoto

U.S. EPA. 2019.**Used Lithium-Ion Batteries.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.epa.gov/recycle/used-lithium-ion-batteries

Zubi G., Dufo-López R., Carvalho M. and Pasaoglu G. 2018. "The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives." **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** 89: 292-308.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zhu L. and Chen M. 2020. “Research on Spent LiFePO4 Electric Vehicle Battery Disposal and Its Life Cycle Inventory Collection in China.” **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 17(23):8828.

กนกพร อินแตง. 2562. **ผังการไหลและวัฏจักรชีวิตของการจัดการกรดซัลฟิวริกจากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด.** [Online]. เข้าถึงได้จาก :https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/9662

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555. **รายงานโครงการการศึกษาประเมินและจัดทำแผนงานวิจัยพลังงานทดแทน (Energy Storage) ตามกรอบแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib14393.pdf

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2549. **ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://dl.parliament.go.th/backoffice/viewer2300/web/viewer.php

จเรวัฒน์ เทวรัตน. 2550. **การใช้แบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์โสตทัศน์.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.stou.ac.th/Offices/rdec/Nakorn/Main/doc/technical/17.pdf

ฐานเศรษฐกิจ. 2566. **เปิดสถิติยอดจดทะเบียนรถยนต์ EV ในประเทศไทย ต้นปี 2566**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.thansettakij.com/motor/ev/559793

นพรุจ ฤทธานนท์. 2554. **“การศึกษาแบบจำลองพลวัตของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับการประยุกต์ใช้กับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก.”** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

นริศรา อินธิราช. 2559. **การจัดการขยะอันตรายประเภทแบตเตอรี่.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://shorturl.at/GtJRv

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2550. (2551, 13 มีนาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 125 ตอนพิเศษ 53 ง หน้า 18.

รักษพล ธนานุวงศ์. 2564. **แบตเตอรี่: ตอนที่ 2 อุปกรณ์ให้พลังงานแห่งอนาคต**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.scimath.org/article-physics/item/12467-2-2

วีรวรรณ เล็กสกุลไชย. 2547. “แบตเตอรี่ที่หมดสภาพการใช้งาน: ขยะอันตราย.” **วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์การแพทย์**. 18(2) : 179-198.

วลัยพร มุขสุวรรณ. 2560. **แบตเตอรี่รถยนต์ : รีไซเคิลได้ ต้องใส่ใจสิ่งแวดล้อมด้วย.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=3&ID=13

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย. 2563. **“รายงานการวิจัย โครงการการวิจัยเพื่อศึกษาวิเคราะห์ผังการไหล และจัดทำระบบฐานข้อมูลการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์และของเสียอันตรายชุมชนในประเทศไทย.”** สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สงบ คาค้อ. 2562. **“การศึกษาสถานภาพการพัฒนาเทคโนโลยีการรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ชนิดที่มีลิเทียมเป็นองค์ประกอบในประเทศไทย.”** สำนักงานพัฒนาวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ปทุมธานี.

สถาบันยานยนต์. 2561. **“รายงานการศึกษาธุรกิจการจัดการแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว.”** สถาบันยานยนต์. กรุงเทพฯ.

อุกฤษฎ์ สหพัฒน์สมบัติ และคณะ. 2563. **เรื่องน่ารู้เกี่ยวแบตเตอรี่**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www.mtec.or.th/post-knowledges/47282/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอิสริยา ม่วงคะลา
วัน เดือน ปีเกิด	24 พฤศจิกายน 2534
ที่อยู่	16/1 ถ.ภักดีบริรักษณ์ ต.นางรอง อ.นางรอง จ.บุรีรัมย์ 31110

ประวัติการศึกษา:

2556	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย:

2556	สุวิมล บุญฉิม, อิสริยา ม่วงคะลา และ วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์. 2556. “ผลของน้ำตาลโมเลกุลคู่ต่อการเจริญเติบโตและการใช้น้ำตาลของเชื้อ *clostridium beijerinckii* TISTR 1461.” ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2557 – 2559	ครูประจำศูนย์การเรียนชุมชน ศูนย์การศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัยเขตลาดกระบัง
2559 - ปัจจุบัน	นักวิชาการศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้