การศึกษาความเป็นไปได้โครงการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์: กรณีศึกษาบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า

ฉัตตริน เปี่ยมรอด

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน
คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
2569

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

การศึกษาความเป็นไปได้โครงการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์: กรณีศึกษาบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า

ฉัตตริน เปี่ยมรอด

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน
คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
2569

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

FEASIBILITY STUDY OF REVERSE LOGISTICS MANAGEMENT OF SOLAR PANELS: A CASE STUDY OF THE ELECTRIC POWER GENERATION COMPANY

CHATTARIN PIAMROD

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR MASTER DEGREE OF SCIENCE
IN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT
FACULTY OF LOGISTICS
BURAPHA UNIVERSITY
2026

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ ฉัตตริน เปี่ยมรอด ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญภัส เมืองปัน)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ เรือเอก ดร.สราวุธ ลักษณะโต)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติมา วงศ์อินตา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญภัส เมืองปัน)

..... คณบดีคณะโลจิสติกส์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ เร้าธนชลกุล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทวัส แจ้งเอี่ยม)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

66920337: สาขาวิชา: การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน; วท.ม. (การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน)

คำสำคัญ: โลจิสติกส์ย้อนกลับ/ แผงโซล่าเซลล์/ ความคุ้มค่า/ การรีไซเคิล/ NPV/ IRR

ฉัตตริน เปี่ยมรอด : การศึกษาความเป็นไปได้โครงการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์: กรณีศึกษาบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า. (FEASIBILITY STUDY OF REVERSE LOGISTICS MANAGEMENT OF SOLAR PANELS: A CASE STUDY OF THE ELECTRIC POWER GENERATION COMPANY) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: ธัญภัส เมืองปัน, Ph.D. ปี พ.ศ. 2569.

งานวิจัย เรื่อง “การศึกษาความเป็นไปได้โครงการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์: กรณีศึกษาบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า” มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุการใช้งาน และประเมินความเป็นไปได้ของโครงการในด้านต้นทุน ขั้นตอนการดำเนินงาน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้กรณีศึกษาจากบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้าแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร การวิจัยใช้วิธีการแบบผสมผสาน โดยเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ และข้อมูลเชิงปริมาณจากการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงิน

ผลการศึกษา พบว่า ต้นทุนเฉลี่ยในการจัดการแผงโซล่าเซลล์อยู่ที่ 6,880 บาทต่อแผง ขณะที่รายได้จากการรีไซเคิลอยู่ที่ 147.75 บาทต่อแผง ส่งผลให้โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ -230,927,344.36 บาท และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ประมาณ 1.60% ซึ่งต่ำกว่าอัตราคิดลดที่กำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าโครงการยังไม่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

อย่างไรก็ตาม หากได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ หรือมีการพัฒนาโมเดลธุรกิจที่เหมาะสม โครงการดังกล่าว อาจมีความเป็นไปได้ในเชิงนโยบายและสิ่งแวดล้อมในอนาคต

66920337: MAJOR: LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT; M.Sc. (LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT)

KEYWORDS: REVERSE LOGISTICS/ SOLAR PANEL/ FEASIBILITY/ RECYCLING/ NPV/ IRR

CHATTARIN PIAMROD : FEASIBILITY STUDY OF REVERSE LOGISTICS MANAGEMENT OF SOLAR PANELS: A CASE STUDY OF THE ELECTRIC POWER GENERATION COMPANY. ADVISORY COMMITTEE: THANYAPHAT MUANGPAN, Ph.D. 2026.

This research, entitled “Feasibility Study on Reverse Logistics Management of Solar Panels: A Case Study of a Power Generation Company,” aims to examine reverse logistics management for end-of-life solar panels and to assess the project’s feasibility in terms of cost, operational procedures, and economic performance. A case study was conducted at a power generation company in Bangkok using a mixed-method approach, combining expert interviews with cost–benefit analysis.

The results reveal that the average cost per solar panel is 6,880 THB, while revenue from recyclable materials amounts to only 147.75 THB per panel. The project yields a Net Present Value (NPV) of -230,927,344.36 THB and an Internal Rate of Return (IRR) of approximately 1.60%, which is below the 10% discount rate, indicating that the project is not economically viable.

Nevertheless, with appropriate government support or an improved business model, the project may offer potential value from policy and environmental perspectives in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธัญภัส เมืองปั๋น อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในทุกขั้นตอนของการทำงานนิพนธ์ฉบับนี้ ด้วยความเอาใจใส่ อดทน และเมตตาเป็นอย่างยิ่ง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เรือเอก ดร. สราวุธ ลักษณะโต และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิติมา วงศ์อินตา คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะอันทรงคุณค่า เพื่อพัฒนาผลงานวิจัยชิ้นนี้ ให้มีความสมบูรณ์และถูกต้องตามหลักวิชาการ

ขอขอบคุณบริษัทที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนข้อมูลที่สำคัญ รวมถึงบุคลากรในองค์กรที่อำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล และให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นและครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนทั้งด้านจิตใจและด้านการดำรงชีวิต ตลอดช่วงระยะเวลาของการศึกษาและการจัดทำงานนิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้ศึกษาในสาขาวิชาที่ผู้วิจัยมีความสนใจอย่างลึกซึ้ง และเป็นแรงผลักดันสำคัญให้ผู้วิจัยพัฒนาศักยภาพทั้งในด้านวิชาการและวิชาชีพ

ฉัตตริน เปี่ยมรอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

ขอบเขตของการศึกษา 2

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา 3

นิยามศัพท์เฉพาะ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโลจิสติกส์และกิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับ 4

การจัดการแผงโซล่าเซลล์ 5

แนวคิดทฤษฎีของ การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ 6

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 9

การวางแผน (Planning phase) 9

เครื่องมือในการวิจัย 10

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือด้วย IOC 11

การเก็บข้อมูล (Data collection phase)....13
ประชากร....14
การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis phase)....15
สรุปผลและข้อเสนอแนะ (Conclusion & recommendations phase)....17
วัตถุประสงค์ของการศึกษา....18
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล....19
ผลการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์ SCOR Model (Supply chain operations reference model)....19
ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับแผงโซล่าเซลล์ของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า....22
ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับแผงโซล่าเซลล์ของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า เชิงปริมาณ....26
การคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)....33
การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)....34
การตีความผลการวิเคราะห์ทางการเงิน....36
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ....39
สรุปผลการวิจัย....39
อภิปรายผล....40
ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งถัดไป....41
บรรณานุกรม....43
ประวัติย่อของผู้วิจัย....44

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 รายได้ประมาณการจากวัสดุรีไซเคิลต่อแผงโซล่าเซลล์ 25

ตารางที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนและรายได้ของโครงการ 29

ตารางที่ 3 การคำนวณกำไรสุทธิจากการดำเนินโครงการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์ 31

ตารางที่ 4 สมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ NPV และ IRR ของโครงการ 32

ตารางที่ 5 กระแสเงินสดและมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ 34

ตารางที่ 6 การคำนวณ NPV แบบรายปี (Detailed cash flow table).....34

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ขั้นตอนการวางแผน.....10

ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล.....14

ภาพที่ 3 แผนผังแสดงกระบวนการโลจิสติกส์ขาไปของแผงโซล่าเซลล์.....21

ภาพที่ 4 แผนผังแสดงกระบวนการโลจิสติกส์ขากลับของแผงโซล่าเซลล์.....22

ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราคิดลด (Discount rate) กับมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV).....33

ภาพที่ 6 กราฟแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสม (NPV) ของโครงการตลอดระยะเวลา 10 ปี.....35

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีบทบาทสำคัญต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลในระยะยาว ด้วยคุณสมบัติที่สามารถแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยไม่ปล่อยมลพิษระหว่างการใช้งาน พลังงานชนิดนี้จึงถูกผลักดันให้เป็นทางเลือกหลักในการขับเคลื่อนการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศจีน ซึ่งมีการลงทุนอย่างต่อเนื่องในระบบการผลิต ติดตั้ง และรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์อย่างครบวงจร ประเทศจีนจึงกลายเป็นกรณีศึกษาสำคัญที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการบริหารจัดการวงจรชีวิตของแผงโซล่าเซลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนอกจากจะลดปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์แล้ว ยังสามารถดึงมูลค่าจากวัสดุรีไซเคิลกลับมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ประเทศส่วนใหญ่รวมถึงประเทศไทยยังไม่มีแนวทางที่ชัดเจนสำหรับการจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุหรือเสียหาย โดยแผงเหล่านี้มักถูกจัดเก็บไว้โดยไม่มีการคัดแยกหรือถูกกำจัดผ่านการฝังกลบ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว และสะท้อนถึงข้อจำกัดในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจหมุนเวียนในภาคพลังงาน

แม้ประเทศไทยจะมีแนวโน้มการเติบโตของพลังงานแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง ทั้งจากภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม แต่กลับยังขาดระบบการบริหารจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่ครอบคลุมตลอดอายุการใช้งาน โดยเฉพาะแผงที่หมดอายุหรือได้รับความเสียหายก่อนกำหนด ซึ่งเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย เช่น ความเสียหายจากสภาพอากาศ อุบัติเหตุจากการติดตั้ง หรือข้อบกพร่องจากการผลิต บริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้าหลายแห่งในประเทศไทยจึงยังคงใช้วิธีการจัดเก็บแผงที่เสื่อมสภาพไว้ภายในคลังหรือส่งมอบให้ผู้รับกำจัดโดยไม่มีการรีไซเคิลหรือแยกวัสดุอย่างเป็นระบบ ความล่าช้าดังกล่าวสะท้อนถึงการขาดโครงสร้างพื้นฐานด้านการรีไซเคิล เทคโนโลยีสนับสนุน และกฎหมายบังคับใช้ที่ชัดเจน ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการนำวัสดุที่มีมูลค่าในแผง เช่น อะลูมิเนียม ทองแดง หรือซิลิคอน กลับมาใช้ใหม่ได้อย่างคุ้มค่า ทั้งนี้ยังส่งผลให้เกิดต้นทุนแฝงจากการจัดเก็บแผงเหล่านี้โดยไม่จำเป็น และอาจกลายเป็นแหล่งปนเปื้อนของสารอันตรายหากไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม เช่น ตะกั่วหรือแคดเมียมที่พบในแผงบางประเภท

ภายใต้ข้อจำกัดเชิงกฎหมาย เศรษฐศาสตร์ และโครงสร้างพื้นฐานดังกล่าว บริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยจำเป็นต้องพิจารณาแนวทางการจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุ

หรือเสียหายอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของการพัฒนาแนวทางโลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse logistics) ที่สามารถเชื่อมโยงตั้งแต่กระบวนการเก็บรวบรวม การขนส่ง การคัดแยก ไปจนถึงการรีไซเคิลหรือการกำจัดที่ปลอดภัย โดยไม่เพิ่มภาระด้านต้นทุนมากเกินไป งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุ โดยอ้างอิงจากกรณีศึกษาของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ซึ่งจะครอบคลุมทั้งมิติด้านการเงิน เทคโนโลยี กฎหมาย และสิ่งแวดล้อม อันจะนำไปสู่ข้อเสนอแนะแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมต่อการลดต้นทุน เพิ่มโอกาสในการรีไซเคิล และสนับสนุนความยั่งยืนของอุตสาหกรรมพลังงานในระยะยาว

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ สำหรับแผงโซล่าเซลล์ของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า

2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้โครงการ การจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ สำหรับแผงโซล่าเซลล์ของบริษัทพลังงานไฟฟ้า

ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตเชิงเนื้อหา

1. มุ่งศึกษาแนวคิดการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ มาประยุกต์กับการขนส่ง การจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับแผงโซล่าเซลล์ของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า

2. ทฤษฎีและแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับโลจิสติกส์ย้อนกลับ การจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุการใช้งาน หรือที่เสื่อมสภาพการใช้งานก่อนกำหนด และ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ กับการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

3. การประเมินความเป็นไปได้ของโครงการโลจิสติกส์ย้อนกลับ จากประเทศไทยกลับไปประเทศจีน ใน 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านการเงิน ด้านเทคนิค ด้านกฎหมาย และด้านสิ่งแวดล้อม

ขอบเขตระยะเวลา

ระยะเวลาการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2568

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

ประโยชน์ทางตรง ได้แก่:

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์

2. สามารถนำแนวทางการจัดการที่ศึกษาไปปรับใช้ในการจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุการใช้งานในบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า

3. สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่ไม่ถูกต้อง

ประโยชน์ทางอ้อม ได้แก่:

1. สนับสนุนการเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนในการจัดการทรัพยากรในอุตสาหกรรมพลังงาน

2. สร้างมาตรฐานการจัดการที่ยั่งยืนสำหรับการรีไซเคิลและกำจัดแผงโซล่าเซลล์ในประเทศไทย

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. โลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse logistics) คือ กระบวนการเคลื่อนย้ายสินค้า วัสดุ หรือผลิตภัณฑ์จากจุดใช้งานกลับมายังผู้ผลิตหรือศูนย์กลางการจัดการเพื่อการรีไซเคิล การใช้ซ้ำ หรือการกำจัดอย่างเหมาะสม

2. แผงโซล่าเซลล์ (Solar panel) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไปมีอายุการใช้งานประมาณ 25 - 30 ปี

3. ข้อกำหนด WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive) คือ กฎหมายของสหภาพยุโรปที่กำหนดให้มีการเก็บรวบรวมและรีไซเคิลอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เพื่อลดปริมาณขยะ

4. นโยบาย EPR (Extended Producer Responsibility) คือ นโยบายที่กำหนดให้ผู้ผลิตต้องรับผิดชอบต่อการเก็บรวบรวมและการจัดการผลิตภัณฑ์เมื่อหมดอายุการใช้งาน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานศึกษาวิจัยเล่มนี้ได้ทำการศึกษาแนวคิดทฤษฎีและผลงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการโลจิสติกส์และกิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับ การจัดการแผงโซล่าเซลล์ การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ แนวคิดทฤษฎีของ การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ โดยเน้นที่ทฤษฎีหลักที่ใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการและการศึกษาในประเด็นที่เกี่ยวข้องเพื่อสนับสนุนและอ้างอิง ตามลำดับดังนี้

1. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโลจิสติกส์และกิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับ
2. การจัดการแผงโซล่าเซลล์
3. แนวคิดทฤษฎีของ การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโลจิสติกส์และกิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับ

ความหมายและความสำคัญของโลจิสติกส์ย้อนกลับ

โลจิสติกส์ย้อนกลับ หมายถึง กระบวนการที่มีการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์หรือวัสดุจากจุดใช้งานหรือจุดบริโภคกลับไปยังจุดผลิตหรือจุดที่กำหนดไว้สำหรับการรีไซเคิล การใช้ซ้ำ หรือการกำจัดอย่างเหมาะสม

ความสำคัญของโลจิสติกส์ย้อนกลับอยู่ที่การลดปริมาณของเสียและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุนการดำเนินงานและเสริมสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับองค์กร

องค์ประกอบของโลจิสติกส์ย้อนกลับ

การจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับประกอบด้วยองค์ประกอบหลักดังนี้

การเก็บรวบรวม (Collection) การรวบรวมผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งานหรือที่ไม่ใช้งานแล้วจากผู้บริโภคหรือจุดจำหน่าย

การขนส่ง (Transportation) การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์จากจุดเก็บรวบรวมไปยังศูนย์กลางการจัดการ

การคัดแยกและการจัดเก็บ (Sorting and storage) การคัดแยกวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ตามประเภทการจัดการ เช่น การรีไซเคิล การซ่อมแซม หรือการกำจัด

การจัดการและการกำจัด (Processing and disposal) การจัดการที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์หรือวัสดุที่ได้รับ เช่น การรีไซเคิล การซ่อมแซม หรือการกำจัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

การจัดการแผงโซล่าเซลล์

แผงโซล่าเซลล์มีอายุการใช้งานประมาณ 25 - 30 ปี ซึ่งเมื่อหมดอายุการใช้งานจำเป็นต้องได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การจัดการนี้สามารถทำได้ผ่านกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับ

นิยามและที่มาของการใช้งานแผงโซล่าเซลล์

การใช้งาน แผงโซล่าเซลล์ (Solar panel) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า นิยมใช้ในภาคพลังงานหมุนเวียน เนื่องจากประสิทธิภาพสูง อายุการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ 25 - 30 ปี โดยมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วโลก เช่น จีนและยุโรปเป็นตลาดใหญ่สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Chowdhury et al., 2020)

การจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุ

ขั้นตอนการจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุการใช้งาน

การเก็บรวบรวมแผงโซล่าเซลล์: การรวบรวมแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุจากสถานที่ติดตั้งหรือลูกค้า เพื่อเข้าสู่กระบวนการจัดการ

การขนส่งไปยังศูนย์จัดการ: การขนส่งแผงไปยังศูนย์กลางหรือโรงงานที่มีความสามารถในการจัดการแผงเหล่านี้

การคัดแยกและการประเมินสภาพ: การคัดแยกแผงตามประเภทของวัสดุและประเมินสภาพการใช้งาน

การรีไซเคิลและการกำจัด: การนำแผงไปรีไซเคิลเพื่อแยกชิ้นส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือการกำจัดวัสดุที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้อย่างเหมาะสม

แนวทางการจัดการในต่างประเทศ

ในหลายประเทศ เช่น สหภาพยุโรปและญี่ปุ่น มีนโยบายและกฎระเบียบที่กำหนดให้ผู้ผลิตแผงโซล่าเซลล์ต้องรับผิดชอบในการจัดการแผงที่หมดอายุ ตัวอย่างเช่น กฎหมาย WEEE Directive ของสหภาพยุโรปที่บังคับให้มีการเก็บรวบรวมและรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์เพื่อป้องกันการเพิ่มปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์

แนวคิดทฤษฎีของ การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (Feasibility study) เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการประเมินว่าการดำเนินโครงการสามารถเป็นไปได้หรือไม่ โดยเฉพาะในด้านการเงิน การดำเนินงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาความเป็นไปได้ประกอบด้วยการวิเคราะห์หลายด้าน ได้แก่

การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน (Financial feasibility) ใช้ในการประเมินต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการ โดยพิจารณาถึงต้นทุนเริ่มต้น ค่าดำเนินการ ค่าบำรุงรักษา รวมถึงรายได้ที่คาดว่าจะได้รับ การวิเคราะห์เชิงการเงินมักใช้ตัวชี้วัด เช่น มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) เพื่อประเมินความคุ้มค่าของโครงการ (John Smith, 2018)

การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค (Technical feasibility) เป็นการวิเคราะห์ว่าเทคโนโลยีหรือกระบวนการทางวิศวกรรมที่ใช้ในโครงการมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงทรัพยากรที่จำเป็นและความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลง (Robert Johnson, 2017)

การศึกษาความเป็นไปได้ทางกฎหมาย (Legal feasibility) พิจารณากฎระเบียบที่เกี่ยวข้องและนโยบายของรัฐที่อาจมีผลกระทบต่อโครงการ เช่น กฎหมายด้านสิ่งแวดล้อม หรือการควบคุมการดำเนินการของอุตสาหกรรม

การศึกษาความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม (Environmental feasibility) เป็นการประเมินผลกระทบที่โครงการอาจมีต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านการใช้ทรัพยากรและการลดขยะ โดยเฉพาะในกรณีที่โครงการเกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ เช่น แผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุการใช้งาน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะนำเสนอการทบทวนวรรณกรรมจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลังงาน รวมถึงการจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุการใช้งาน โดยเน้นการวิเคราะห์วิธีการและแนวทางที่ประสบความสำเร็จในต่างประเทศและการนำมาใช้ในบริบทของประเทศไทย

Filip Krawczyk ได้ศึกษาการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่หมดอายุการใช้งานในสหภาพยุโรป โดยให้ความสำคัญกับการจัดการ แผงโซล่าเซลล์ ผลการศึกษาพบว่า การจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับยังคงเผชิญกับความท้าทายหลายประการ เช่น การเก็บรวบรวมที่ไม่ทั่วถึงและการขาดเทคโนโลยีการรีไซเคิลที่มีประสิทธิภาพ ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยดังกล่าวคือ การพัฒนานโยบายและเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อสนับสนุนการรีไซเคิล รวมถึงการสร้างความตระหนักรู้ให้กับผู้บริโภคเกี่ยวกับความสำคัญของการจัดการแผงโซล่าเซลล์เมื่อหมดอายุการใช้งาน (Filip Krawczyk, 2019)

Giulia Olivieri มุ่งเน้นการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมพลังงานของประเทศอิตาลี โดยเฉพาะการจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการจัดการที่มีประสิทธิภาพสามารถลดปริมาณของเสียและเพิ่มอัตราการรีไซเคิลได้ หากมีการนำเทคโนโลยีใหม่เข้ามาใช้ร่วมกับการบังคับใช้กฎระเบียบที่เข้มงวด งานวิจัยดังกล่าวเสนอให้บริษัทผู้ผลิตแผงโซล่าเซลล์และภาครัฐร่วมมือกันในการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับที่มีความยั่งยืนมากยิ่งขึ้น (Giulia Olivieri, 2016)

Sayed Chowdhury ได้ทำการศึกษาการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุการใช้งานในระดับสากล โดยมุ่งวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการใช้ทรัพยากร ผลการวิจัยพบว่าการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์มีความซับซ้อน เนื่องจากส่วนประกอบของแผงมีความหลากหลายและมีการใช้สารเคมีที่อาจก่อให้เกิดอันตราย ข้อเสนอแนะสำคัญคือ การพัฒนากระบวนการรีไซเคิลที่มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งการสร้างมาตรฐานสากลในการจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุการใช้งาน (Sayed Chowdhury, 2020)

Ilaria D’Adamo ได้สำรวจความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) ในการจัดการแผงโซล่าเซลล์หมดอายุในอิตาลี โดยผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าแนวคิดดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรและช่วยลดปริมาณของเสียได้อย่างเป็นรูปธรรม อย่างไรก็ตาม การดำเนินการยังคงต้องพัฒนากฎหมายและเทคโนโลยีที่รองรับอย่างเพียงพอ งานวิจัยจึงเสนอให้มีการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการรีไซเคิล รวมถึง การสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐและภาคเอกชน (Ilaria D’Adamo, 2020)

Jung-Kook Choi ได้ทำการวิเคราะห์ความท้าทายและโอกาสในการจัดการ แผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุในประเทศสหรัฐอเมริกา ผลการวิจัยพบว่า แม้จะมีความพยายามใน การจัดการ แต่ยังคงมีช่องว่างสำคัญในด้านกฎหมายและเทคโนโลยี ข้อเสนอแนะหลักคือ การกำหนดนโยบายที่ชัดเจนและการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์ ตลอดจนการส่งเสริมการวิจัยเพื่อหาวิธีการจัดการที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Jung-Kook Choi, 2010)

John Smith & Andrew Brown ศึกษาวิธีการประเมินต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการ โดยเน้นการวิเคราะห์องค์ประกอบด้านการเงิน เช่น ต้นทุนเริ่มต้น ค่าดำเนินงาน ค่าบำรุงรักษา และรายได้ที่คาดว่าจะได้รับ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการประเมินความคุ้มค่าของโครงการ

มักใช้ตัวชี้วัดด้านการเงิน เช่น มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) เพื่อประกอบการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ (John Smith, 2018)

Robert Johnson ได้ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของโครงการ โดยมุ่งเน้นการประเมินเทคโนโลยีและกระบวนการทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง รวมถึงทรัพยากรที่จำเป็นและศักยภาพในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี ผลการศึกษาเสนอว่า ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีมีผลโดยตรงต่อความสำเร็จของโครงการ และการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานได้อย่างมีนัยสำคัญ (Robert Johnson, 2017)

Giulia Olivieri ได้ศึกษากฎระเบียบและนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานด้านพลังงาน โดยเฉพาะในมิติสิ่งแวดล้อมและการควบคุมอุตสาหกรรม ผลการศึกษาชี้ว่า การปฏิบัติตามกฎระเบียบที่เข้มงวดและการปรับตัวให้สอดคล้องกับข้อกำหนดทางกฎหมายถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จของโครงการพลังงานในภาพรวม (Giulia Olivieri, 2016)

Sayed Chowdhury ได้วิเคราะห์ผลกระทบของโครงการพลังงานโดยพิจารณาทั้งด้านการใช้ทรัพยากรและการลดขยะอิเล็กทรอนิกส์ ผลการวิจัยชี้ว่า การจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุสามารถช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรในระยะยาว (Md. Sayed Chowdhury, 2020)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุหรือเสียหาย โดยพิจารณาทั้งด้านต้นทุนการดำเนินงาน การขนส่ง และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์ในบริบทของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้าแห่งหนึ่งในประเทศไทย การวิจัยนี้ใช้แนวทางการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed-methods research) ประกอบด้วยการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative research) และการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research) เพื่อนำข้อมูลเชิงลึกและข้อมูลเชิงสถิติมาประกอบการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

1. การวางแผน (Planning phase)
2. การเก็บข้อมูล (Data collection phase)
3. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis phase)
4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ (Conclusion & recommendations phase)

การวางแผน (Planning phase)

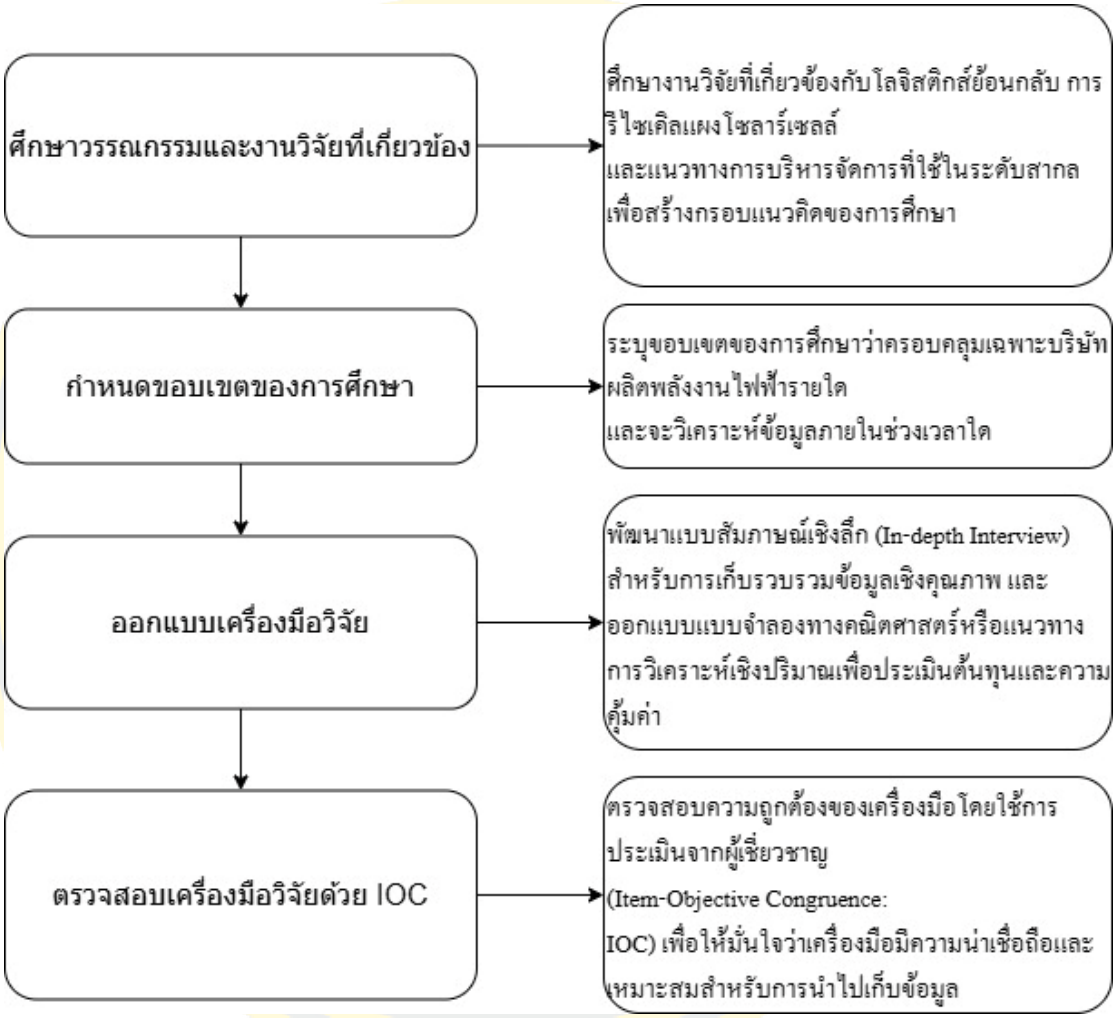
ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการกำหนดแนวทางการวิจัย โดยเริ่มจากการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษา และวางแผนแนวทางการดำเนินการเพื่อให้การวิจัยเป็นไปตามกรอบที่กำหนดไว้ โดยครอบคลุมเนื้อหาดังต่อไปนี้

1. การทบทวนวรรณกรรม (Literature review) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลจิสติกส์ย้อนกลับ การรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์ และแนวทางการบริหารจัดการที่ใช้ในระดับสากล เพื่อสร้างกรอบแนวคิดของการศึกษา

2. การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Scope definition) ระบุขอบเขตของการศึกษาว่าครอบคลุมเฉพาะบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้ารายใด และจะวิเคราะห์ข้อมูลภายในช่วงเวลาใด

3. การออกแบบเครื่องมือวิจัย (Research instrument design) พัฒนาแบบสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interviews) สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพ และออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือแนวทางการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อประเมินต้นทุนและความคุ้มค่า

4. การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย (Instrument validation) ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือโดยใช้การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ (Item-Objective Congruence: IOC) เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมสำหรับการนำไปเก็บข้อมูล



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการวางแผน

เครื่องมือในการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ที่มีความเหมาะสมกับลักษณะของปัญหา โดยมุ่งเน้นไปที่การสัมภาษณ์เชิงลึกและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและสามารถนำไปใช้พิจารณาความเป็นไปได้ของการดำเนินโครงการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับแผงโซล่าเซลล์

แบบสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interviews)

การสัมภาษณ์เชิงลึกใช้เป็นเครื่องมือหลักในการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยมีการออกแบบแนวคำถามที่สอดคล้องกับประเด็นที่ต้องการศึกษา โดยมีโครงสร้างของคำถามที่ครอบคลุมประเด็นต่อไปนี้:

1. กระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์

2. การจัดการต้นทุนที่เกี่ยวข้องในกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์ ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุน การจัดเก็บ การขนส่ง และการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์

3. การจัดการด้านเทคนิค ที่เกี่ยวข้องกับ อัตราการเสียหายของแผงโซล่าเซลล์และปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของแผง

4. ข้อจำกัดทางกฎหมายและนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการส่งออกแผงโซล่าเซลล์เพื่อ รีไซเคิล

5. แนวทางการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุ

ในการสัมภาษณ์ประกอบด้วย:

1. กลุ่มผู้ให้ข้อมูลจากภาคอุตสาหกรรมพลังงานของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า

2. กลุ่มผู้ให้ข้อมูลจากภาคโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

3. กลุ่มผู้ให้ข้อมูลจากภาคการรีไซเคิลและสิ่งแวดล้อม

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือด้วย IOC

เพื่อให้แน่ใจว่าแบบสัมภาษณ์ที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยและสามารถนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง จึงมีการใช้ ดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย (IOC: Index of Item-Objective Congruence) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ได้รับ

การยอมรับในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย

1. การคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือ

ผู้เชี่ยวชาญที่เข้าร่วมการประเมินแบบสัมภาษณ์ได้รับการคัดเลือกจากบุคคลที่มีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

1.1 ผู้เชี่ยวชาญด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

1.1.1 อาจารย์มหาวิทยาลัยที่มีความเชี่ยวชาญด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับ

1.1.2 ผู้บริหารจากบริษัทโลจิสติกส์ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งแผงโซล่าเซลล์

1.1.3 นักวิจัยด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทานที่มีประสบการณ์ในการวิเคราะห์ต้นทุนและการบริหารจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์

1.2 ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานและเทคโนโลยีแผงโซล่าเซลล์

1.2.1 ผู้บริหารจากบริษัทผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีประสบการณ์ในอุตสาหกรรมพลังงานหมุนเวียน

1.2.2 วิศวกรพลังงานที่เชี่ยวชาญด้านการทำงานและอายุการใช้งานของแผงโซล่าเซลล์

1.2.3 นักวิจัยที่เชี่ยวชาญด้านพลังงานทดแทนและกระบวนการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์

1.3 ผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและการพยากรณ์แนวโน้ม (Forecasting)

1.3.1 อาจารย์มหาวิทยาลัยที่มีความเชี่ยวชาญด้านสถิติและการพยากรณ์ข้อมูล

1.3.2 นักวิจัยด้านการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีประสบการณ์ในด้าน Monte Carlo Simulation หรือ Trend-based Forecasting

1.3.3 นักวิเคราะห์เชิงปริมาณที่มีความเชี่ยวชาญในการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์อัตราการเสียหายของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2. กระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือ

ผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับคัดเลือกจะทำการประเมินความสอดคล้องของข้อคำถามแต่ละข้อในแบบสัมภาษณ์ โดยให้คะแนนตามระดับความสอดคล้อง ดังนี้

+1 หมายถึง ข้อคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยอย่างสมบูรณ์

0 หมายถึง ข้อคำถามมีความสอดคล้องบางส่วน แต่ควรปรับปรุง

-1 หมายถึง ข้อคำถามไม่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย

ค่าคะแนนที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนจะถูกนำมาคำนวณโดยใช้สูตร

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

โดยที่

R คือ ผลรวมคะแนนที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญ

N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

หากข้อคำถามใดมีค่า IOC ต่ำกว่า 0.50 จะต้องได้รับการปรับปรุงหรือแก้ไขก่อนนำไปใช้ในการสัมภาษณ์จริง

3. การปรับปรุงเครื่องมือก่อนใช้งานจริง

หลังจากการประเมินค่าความสอดคล้องของข้อคำถามผ่าน IOC แล้ว คำถามที่มีคะแนนต่ำจะถูกปรับปรุงโดยอ้างอิงความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ พร้อมทั้งทบทวนความเหมาะสมของการใช้คำศัพท์และโครงสร้างของคำถามเพื่อให้แน่ใจว่า ผู้ให้ข้อมูลสามารถเข้าใจและตอบคำถามได้อย่างถูกต้อง

เมื่อเครื่องมือได้รับการปรับปรุงตามข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว จะถูกนำไปทดสอบในการสัมภาษณ์นำร่อง (Pilot interviews) กับผู้ให้ข้อมูลในกลุ่มเป้าหมาย ก่อนนำไปใช้จริงในงานวิจัย

การเก็บข้อมูล (Data collection phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ โดยแบ่งออกเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ดังนี้

การเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative data collection):

1. ดำเนินการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interviews) กับผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องใน 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

1.1 ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ในอุตสาหกรรมพลังงาน

1.2 ผู้เชี่ยวชาญด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

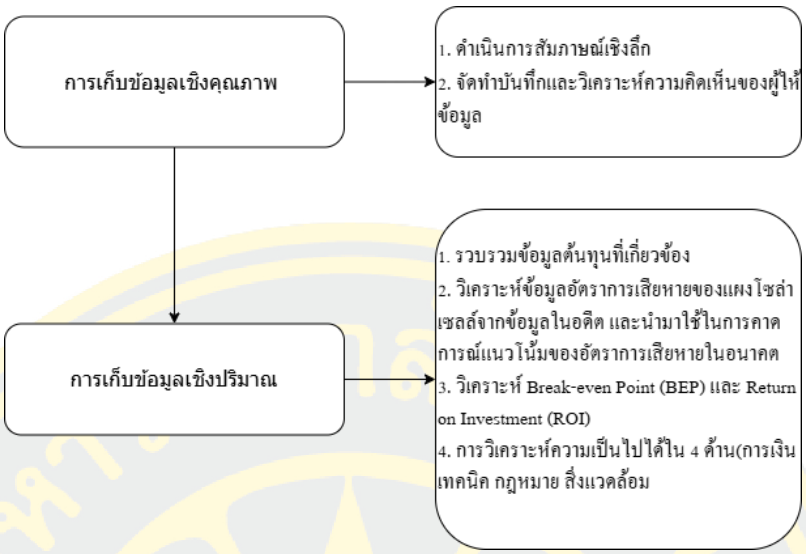
1.3 ผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรีไซเคิลและสิ่งแวดล้อม

2. จัดทำบันทึกและวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ให้ข้อมูล เพื่อค้นหาประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ของโครงการ

การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative data collection):

1. รวบรวมข้อมูลต้นทุนที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าขนส่ง ค่าจัดเก็บ ค่าธรรมเนียมศุลกากร และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับ

2. วิเคราะห์ข้อมูลอัตราการเสียหายของแผงโซล่าเซลล์จากข้อมูลในอดีต และนำมาใช้ในการคาดการณ์แนวโน้มของอัตราการเสียหายในอนาคต



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

ประชากร

สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องโดยตรงทั้งหมดจำนวน 11 คน โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

1. กลุ่มผู้ให้ข้อมูลจากภาคอุตสาหกรรมพลังงานของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า
   1.1 ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร (CEO) 1 คน
   1.2 ประธานเจ้าหน้าที่ฝ่ายปฏิบัติการ (COO) 1 คน
   1.3 ผู้จัดการฝ่ายปฏิบัติการด้านการผลิตพลังงานทดแทนและการบำรุงรักษา 1 คน
   1.4 ผู้จัดการด้านการจัดการโลจิสติกส์และการดำเนินงานด้านพลังงาน 1 คน
   1.5 ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ 1 คน
   1.6 ผู้จัดการวิศวกรด้านพลังงานทดแทนและการบำรุงรักษา 1 คน
2. กลุ่มผู้ให้ข้อมูลจากภาคโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน
   2.1 ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร (CEO) 1 คน
   2.2 ผู้จัดการฝ่ายโลจิสติกส์ที่ดูแลการขนส่งข้ามพรมแดนฝั่งจีน 1 คน
   2.3 ผู้บริหารจากบริษัท Third-Party Logistics (3PL) หรือ Fourth-Party Logistics (4PL) 1 คน
3. กลุ่มผู้ให้ข้อมูลจากภาคการรีไซเคิลและสิ่งแวดล้อม
   3.1 ผู้จัดการหรือผู้เชี่ยวชาญจากโรงงานรีไซเคิลในประเทศจีน 1 คน
   3.2 นักวิจัยหรือผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์จากฝั่งผู้ผลิต 1 คน

การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis phase)

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมเพื่อใช้ในการตัดสินใจ โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน

1. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative analysis):

1.1 ใช้เทคนิค Thematic analysis เพื่อระบุหัวข้อสำคัญจากข้อมูลสัมภาษณ์

1.2 จัดกลุ่มข้อมูลตาม Value chain และ Supply chain เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นไปได้ของโครงการ

1.3 ใช้ SCOR Model (Supply Chain Operations Reference Model) ในการวิเคราะห์กระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับ

1.4 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ใน 4 ด้าน ที่จะครอบคลุม ปัจจัยที่ไม่มีค่าตัวเลขชัดเจน แต่มีผลต่อความสำเร็จของโครงการ ได้แก่:

1.4.1 มิติทางการเงิน (Financial feasibility - Qualitative analysis) เพื่อเข้าใจ ปัจจัยความเสี่ยงทางการเงิน เช่น ต้นทุนแฝง และ โครงสร้างทางภาษี ที่อาจมีผลต่อโครงการ

1.4.2 มิติทางเทคนิค (Technical feasibility - Qualitative analysis) วิเคราะห์ ความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐาน ในการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์ในประเทศไทย

1.4.3 มิติทางกฎหมาย (Legal feasibility - Qualitative analysis) วิเคราะห์ กฎหมายและระเบียบข้อบังคับของไทย ที่เกี่ยวข้องกับ การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ และ WEEE Directive รวมถึง การศึกษา กรณีศึกษากฎหมายสิ่งแวดล้อมในต่างประเทศ เช่น สหภาพยุโรปและญี่ปุ่น

1.4.4 มิติทางสิ่งแวดล้อม (Environmental feasibility - Qualitative analysis) ศึกษาผลกระทบของการฝังกลบแผงโซล่าเซลล์ เปรียบเทียบกับ การรีไซเคิล

2. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis):

2.1 ใช้แนวทางการพยากรณ์แนวโน้ม (Trend-based forecasting) ในการคาดการณ์จำนวนแผงโซล่าเซลล์ที่เสียหายในอนาคต

2.2 คำนวณต้นทุนและผลตอบแทนจากการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์ โดยใช้เครื่องมือ Cost-Benefit Analysis (CBA)

2.3 วิเคราะห์ Break-even Point (BEP) และ Return on Investment (ROI) เพื่อประเมินความคุ้มค่าของการดำเนินโครงการ

คำนวณ จุดคุ้มทุนของโครงการ (BEP)

$$\text{BEP จำนวนแผง} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น(รวมค่าดำเนินการ)}}{\text{รายได้ต่อแผง} - \text{ต้นทุนต่อแผง}}$$

คำนวณ ผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI)

$$ROI = \frac{\text{กำไรสุทธิ}}{\text{เงินลงทุนทั้งหมด}} \times 100$$

2.4 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ใน 4 ด้าน

2.4.1 มิติทางการเงิน (Financial feasibility - Quantitative analysis) คำนวณ NPV (Net Present Value) และ IRR (Internal Rate of Return) เพื่อวิเคราะห์ ผลตอบแทนในระยะยาว

คำนวณ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C_0$$

โดยที่

Ct = กระแสเงินสดสุทธิ (Net cash flow) ในปีที่ t

R = อัตราคิดลด (Discount rate) หรือ ต้นทุนของเงินทุน

t = ปีที่เกิดกระแสเงินสด

C0 = เงินลงทุนตั้งต้น

เกณฑ์การตัดสินใจ:

ถ้า NPV > 0 ⟶ โครงการให้ผลตอบแทนที่ดี ควรลงทุน

ถ้า NPV < 0 ⟶ โครงการขาดทุน ไม่ควรลงทุน

ถ้า NPV = 0 ⟶ โครงการอยู่ที่จุดคุ้มทุน

คำนวณ อัตราผลตอบแทนภายใน(IRR)

$$0 = \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+IRR)^t} - C_0$$

โดยที่

IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน

Ct = กระแสเงินสดสุทธิในปีที่ t

t = ปีที่เกิดกระแสเงินสด

C0 = เงินลงทุนตั้งต้น

เกณฑ์การตัดสินใจ:

ถ้า IRR > อัตราคิดลด (r) โครงการให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าต้นทุนเงินทุน ควรลงทุน

ถ้า IRR < อัตราคิดลด (r) โครงการให้ผลตอบแทนต่ำ ไม่คุ้มค่า

2.4.2 มิติทางเทคนิค (Technical feasibility - Quantitative analysis) คำนวณ อัตราการรีไซเคิล (%) และวิเคราะห์ ต้นทุนต่อหน่วยของกระบวนการรีไซเคิล

คำนวณ อัตราการรีไซเคิล (%)

$$\text{อัตราการรีไซเคิล} = \frac{\text{ปริมาณวัสดุที่ใช้รีไซเคิลได้}}{\text{ปริมาณวัสดุทั้งหมด}} \times 100$$

2.4.3 มิติทางกฎหมาย (Legal feasibility - Quantitative analysis) ประเมิน ต้นทุนค่าธรรมเนียมและค่าปรับทางกฎหมาย

ต้นทุนกฎหมาย = ค่าธรรมเนียมใบอนุญาต + ค่าปรับที่เป็นไปได้ + ค่าทนายความ

2.4.4 มิติทางสิ่งแวดล้อม (Environmental feasibility - Quantitative analysis)

คำนวณ ปริมาณขยะที่ลดลงจากการรีไซเคิล

ขยะที่ลดลง = จำนวนขยะที่ถูกรีไซเคิล – จำนวนขยะที่ต้องฝังกลบ

สรุปผลและข้อเสนอแนะ (Conclusion & recommendations phase)

ขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการวิจัยคือการสังเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับ และนำเสนอข้อสรุปเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของโครงการ พร้อมข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินการในอนาคต

การสรุปผลการศึกษา:

1. นำเสนอผลการวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

2. อธิบายปัจจัยที่มีผลต่อความคุ้มค่าของโครงการโลจิสติกส์ย้อนกลับ

ข้อเสนอแนะทางปฏิบัติ:

1. แนะนำแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินโครงการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

2. เสนอแนวทางการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในประเทศเพื่อรองรับการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์ในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ สำหรับแผงโซล่าเซลล์ของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า

2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้โครงการ การจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ สำหรับแผงโซล่าเซลล์ของบริษัทพลังงานไฟฟ้า

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

บทนี้นำเสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์ โดยอ้างอิงจากข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ซึ่งครอบคลุม 4 มิติของความเป็นไปได้ ได้แก่ มิติด้านการเงิน มิติด้านเทคนิค มิติด้านกฎหมาย และมิติด้านสิ่งแวดล้อม ตามลำดับดังนี้

1. ผลการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์
2. ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับแผงโซล่าเซลล์ของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า

ผลการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์ SCOR Model (Supply chain operations reference model)

สำหรับการวิเคราะห์กระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับ

การวิเคราะห์กระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse logistics) ของแผงโซล่าเซลล์ สามารถประยุกต์ใช้ SCOR Model เพื่ออธิบายขั้นตอนการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ โดย SCOR Model ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ Plan, Source, Make, Deliver และ Return ซึ่งในบริบทของการศึกษานี้จะมุ่งเน้นที่การวิเคราะห์กระบวนการ Return และกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อสะท้อนถึงความท้าทายและโอกาสในการบริหารจัดการแผงโซล่าเซลล์หมดอายุหรือเสียหาย ดังนี้

1. Plan (การวางแผน)

บริษัทกรณีศึกษายังไม่มีการกำหนด แผนงานเชิงกลยุทธ์ สำหรับการจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุอย่างชัดเจน การดำเนินการส่วนใหญ่เกิดขึ้นแบบ Ad-hoc เมื่อเกิดความเสียหายหรือสิ้นอายุการใช้งาน ทำให้การคาดการณ์ปริมาณของเสีย (End-of-life panels) และการวางแผนงบประมาณสำหรับการจัดเก็บ/กำจัดมีข้อจำกัด ส่งผลให้เกิดการจัดเก็บแผงที่เสื่อมสภาพในคลังเป็นระยะเวลานาน

2. Source (การจัดหา/ ผู้ให้บริการภายนอก)

ในปัจจุบัน บริษัทอาศัยผู้รับเหมาภายนอกในการเก็บกู้ (Collection) และการขนส่งกลับ แต่ยังไม่มีมาตรการคัดเลือกหรือประเมินผู้ให้บริการด้าน Reverse logistics อย่างเป็นระบบ ขาด

มาตรฐานในการปฏิบัติ เช่น วิธีการจัดการกับแผงที่แตกหักหรือมีสารตกค้าง อันอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3. Make (การดำเนินการ/ การแปรรูป)

กิจกรรมในขั้นตอนนี้แทบจะไม่มีในบริษัท เนื่องจากไม่มีการซ่อมแซมหรือรีไซเคิลภายในองค์กรโดยตรง แผงที่เสื่อมสภาพจะถูกจัดเก็บในคลังกลางโดยไม่มีการคัดแยกประเภท (เช่น แผงที่สามารถซ่อมได้ vs. แผงที่ต้องกำจัด) ส่งผลให้สูญเสียโอกาสในการนำวัสดุที่มีมูลค่า เช่น ซิลิคอนและอะลูมิเนียม กลับมาใช้ประโยชน์

4. Deliver (การกระจาย/ การขนส่งต่อ)

แม้ว่าจะมีการขนส่งแผงที่หมดอายุหรือเสียหายไปยังผู้รับกำจัดที่ได้รับอนุญาต แต่ยังไม่มี มาตรฐานการจัดการความเสี่ยงด้านการขนส่ง โดยเฉพาะกรณีที่แผงมีความเปราะบางหรือมีการปนเปื้อนสารโลหะหนัก เช่น ตะกั่วและแคดเมียม การขาดระบบติดตาม (Tracking system) ยังทำให้ไม่สามารถตรวจสอบเส้นทางการไหลย้อนกลับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. Return (การรับคืน/ การจัดการย้อนกลับ)

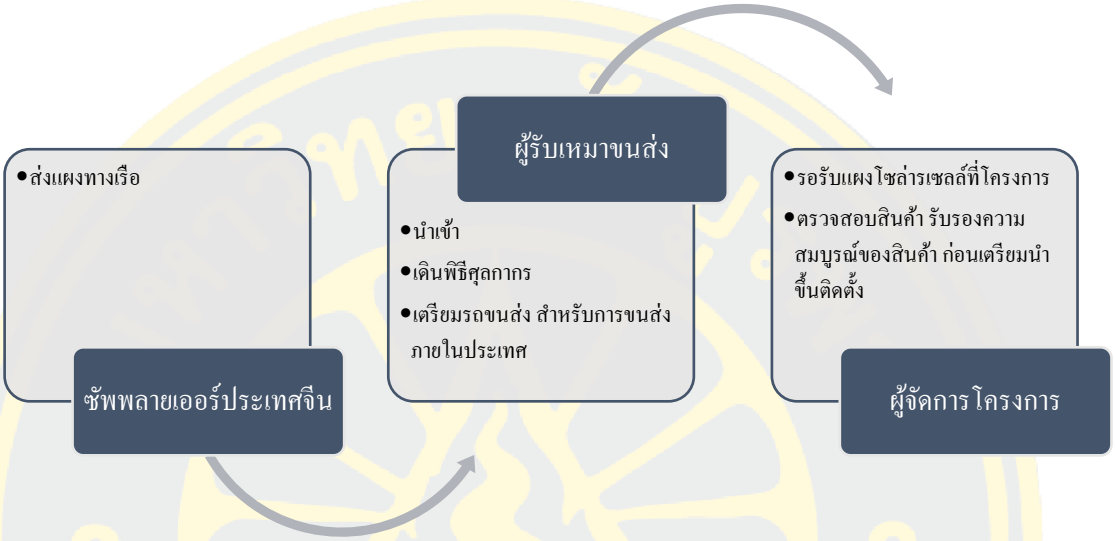
เป็นกระบวนการหลักที่สะท้อนถึงข้อจำกัดของบริษัท โดยการรับคืนแผงเสื่อมสภาพยังไม่มี Reverse flow ที่ครบวงจร เช่น การคัดแยกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) หรือการเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล (Recycle) บริษัทกรณีศึกษายังคงพึ่งพาการจัดเก็บชั่วคราวและการส่งกำจัดเป็นหลัก ส่งผลให้เกิดต้นทุนแฝงด้านพื้นที่จัดเก็บ และลดศักยภาพในการสร้างมูลค่าเพิ่มจากของเสีย

จากการศึกษารูปแบบการจัดการโลจิสติกส์ของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า พบว่ากระบวนการโลจิสติกส์ทั้งหมดของแผงโซล่าเซลล์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) โลจิสติกส์ขาไป (Forward logistics) ซึ่งหมายถึงการจัดส่งแผงโซล่าเซลล์จากคลังสินค้าหรือโรงงานไปยังพื้นที่ติดตั้ง (Project site) และ 2) โลจิสติกส์ขากลับ (Reverse logistics) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดเก็บและขนย้ายแผงที่หมดอายุหรือเสียหายกลับมายังคลังกลางของบริษัทเพื่อรอการจัดการต่อไป ทั้งนี้พบว่ากระบวนการในทั้งสองทิศทางยังขาดความครบวงจร โดยเฉพาะในฝั่งโลจิสติกส์ย้อนกลับที่ยังไม่มีมาตรฐานด้านการคัดแยก การประเมินสภาพ หรือการรีไซเคิลภายในองค์กรอย่างเป็นระบบ

1. โลจิสติกส์ขาไป (Forward logistics)

บริษัทมีการดำเนินการในลักษณะ ส่งตรงจากซัพพลายเออร์ จากประเทศจีน ⟶ หน้างานโครงการ โดยกระบวนการเริ่มต้นจากการรับมอบแผงโซล่าเซลล์จากซัพพลายเออร์ภายนอกเข้าสู่ประเทศไทย หลังจากนั้น บริษัทจะดำเนินการจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่หรือ

รถหกล้อตามจำนวนแผงที่ต้องจัดส่ง โดยพนักงานภายในหรือผู้รับเหมาขนส่งเป็นผู้รับผิดชอบ การขนส่งแผงในแต่ละรอบไม่มีการใช้บรรจุภัณฑ์เฉพาะสำหรับป้องกันความเสียหาย นอกจากการใช้พาเลทและสายรัดเพื่อลดแรงกระแทกเท่านั้น



ภาพที่ 3 แผนผังแสดงกระบวนการโลจิสติกส์ขาไปของแผงโซล่าเซลล์

2. โลจิสติกส์ขากลับ (Reverse logistics)

เมื่อตรวจพบว่าแผงโซล่าเซลล์ในโครงการเกิดความเสียหายหรือหมดอายุการใช้งาน แผงเหล่านั้นจะถูกแยกออกจากระบบผลิตพลังงานและจัดเก็บไว้ในจุดพักชั่วคราว (Temporary holding area) ภายในไซต์งาน จากนั้นจะมีการประสานงานกับทีมขนส่งของบริษัท หรือผู้รับเหมาภายนอก ให้ดำเนินการรับแผงเหล่านี้กลับเข้าสู่คลังกลาง โดยใช้รถร่วมกับระบบโลจิสติกส์เดิม (Backhaul transportation) เพื่อประหยัดต้นทุน ซึ่งแผงที่ได้รับคืนมาจะถูกบันทึก Serial number ลงทะเบียนไว้ในระบบ และจัดเก็บรวมกันโดยไม่มีการคัดแยกประเภทหรือประเมินสภาพอย่างเป็นระบบ กระบวนการขากลับนี้ยังไม่มีมาตรฐานหรือข้อกำหนดเฉพาะ เช่น การแยกแผงที่มีสารอันตราย หรือการบรรจุแผงที่แตกร้าวให้อยู่ในภาชนะปิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อน จึงอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 4 แผนผังแสดงกระบวนการโลจิสติกส์ขากลับของแผงโซล่าเซลล์

ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับแผงโซล่าเซลล์ของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า

การสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้เชี่ยวชาญ 11 ราย จากภาคธุรกิจพลังงาน ภาคโลจิสติกส์ และภาคการจัดการสิ่งแวดล้อม ให้ข้อมูลเชิงลึกที่สามารถสรุปสาระสำคัญได้ ดังนี้

ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับแผงโซล่าเซลล์ของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า เชิงคุณภาพ

Thematic Analysis จากข้อมูลสัมภาษณ์

จากการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา พบธีมหลัก 6 กลุ่มที่สะท้อนอุปสรรคและโอกาสของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์ ดังนี้:

Theme 1: ขาดระบบรีไซเคิลภายในประเทศที่ครบวงจร

จากข้อมูลการสัมภาษณ์พบว่า ประเทศไทยยังไม่มีโรงงานหรือเทคโนโลยีที่สามารถดำเนินการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์อย่างครบวงจร ส่งผลให้แผงที่หมดอายุหรือเสียหายถูกจัดเก็บไว้ในคลังโดยไม่มีแผนการจัดการที่ชัดเจน ผู้ให้สัมภาษณ์หลายรายสะท้อนว่าการขาดระบบดังกล่าวเป็นอุปสรรคหลักที่ทำให้ไม่สามารถดำเนินการรีไซเคิลในประเทศได้อย่างเป็นระบบ

Theme 2: ข้อจำกัดด้านกฎหมายและนโยบายภาครัฐ

แม้จะมีการกล่าวถึงกฎหมาย WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipment) และกฎหมายสิ่งแวดล้อมในระดับสากล แต่การบังคับใช้ในบริบทของประเทศไทยยังไม่ชัดเจน

กฎหมายเกี่ยวกับการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ยังไม่ครอบคลุมแผงโซล่าเซลล์โดยตรง ทำให้ภาคเอกชนขาดแนวทางปฏิบัติที่เป็นมาตรฐาน นอกจากนี้ยังไม่มีนโยบายกระตุ้นให้เกิดการนำแผงกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล เช่น Extended Producer Responsibility (EPR)

Theme 3: ต้นทุนการดำเนินงานสูง

ผู้ให้สัมภาษณ์หลายรายสะท้อนตรงกันว่า ต้นทุนในการจัดเก็บ ขนส่ง และดำเนินการรีไซเคิลมีมูลค่าสูง โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่มีผู้รับซื้อวัสดุที่ได้จากกระบวนการดังกล่าว ต้นทุนที่สูงนี้เกิดจากทั้งระยะทางการขนส่ง น้ำหนักของแผง และความซับซ้อนในการแยกชิ้นส่วน ส่งผลให้ การจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจในสภาวะปัจจุบัน

Theme 4: ขาดความรู้และแผนการดำเนินงานภายในองค์กร

องค์กรผู้ประกอบการในภาคพลังงานส่วนใหญ่ยังไม่มีแผนการจัดการแผงที่หมดอายุหรือเสียหายอย่างชัดเจน ขาดการจัดสรรงบประมาณหรือทรัพยากรเพื่อรองรับกระบวนการดังกล่าว บางรายยังไม่มีการกำหนดหน่วยงานรับผิดชอบโดยตรง และยังขาดแนวทางการประเมินความคุ้มค่าทางสิ่งแวดล้อมหรือสังคมจากการจัดการแผงที่หมดอายุ

Theme 5: ข้อจำกัดด้านศักยภาพของบุคลากรและผู้รับเหมา

ในขั้นตอนของการถอดถอนและการขนย้ายแผง พบว่ามีข้อจำกัดด้านความรู้และเครื่องมือของทีมงาน โดยบางครั้งแผงที่ถอดออกอาจเกิดความเสียหายเพิ่มเติมเนื่องจากการจัดการที่ไม่เหมาะสม เช่น ไม่มีวัสดุกันกระแทก หรือขาดความเข้าใจเกี่ยวกับความเสี่ยงของสารเคมีตกค้างในแผงเก่า

Theme 6: โอกาสจากตลาดรองรับและแรงสนับสนุนจากภาครัฐ

แม้จะมีอุปสรรคจำนวนมาก แต่ผู้ให้สัมภาษณ์บางรายได้เสนอแนวคิดว่า หากมีแรงสนับสนุนจากภาครัฐ เช่น การให้สิทธิประโยชน์ทางภาษีแก่บริษัทที่ดำเนินการรีไซเคิล การจัดตั้งกองทุนสิ่งแวดล้อม หรือการออกนโยบาย EPR อย่างเป็นทางการ อาจส่งเสริมให้เกิดโมเดลธุรกิจใหม่ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการแผงโซล่าเซลล์อย่างยั่งยืน

การวิเคราะห์เชิงธีมนี้สะท้อนให้เห็นว่า ความเป็นไปได้ในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์ในประเทศไทยยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกันทั้งในเชิงโครงสร้างพื้นฐาน กฎหมาย ต้นทุน และการสนับสนุนเชิงนโยบาย

ซึ่งทำให้สามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

1. กระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์ในปัจจุบัน: จากการสัมภาษณ์ผู้บริหารในภาคพลังงาน พบว่า ปัจจุบันการจัดการแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุในประเทศไทยยังไม่มีรูปแบบที่เป็นระบบ ส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในรูปของการจัดเก็บแผงที่เสื่อมสภาพไว้ในโกดังหรือ

คลังสินค้าชั่วคราว โดยยังไม่มีแผนการกำจัดที่ชัดเจน มีเพียงการถอดชิ้นส่วนภายนอก เช่น เฟรมอะลูมิเนียม เพื่อนำไปขายเป็นเศษโลหะ ซึ่งถือเป็นการใช้ประโยชน์เพียงบางส่วน ในกรณีที่แผงเสียหายอย่างสมบูรณ์ ผู้ประกอบการบางรายเลือกใช้บริการบริษัทกำจัดขยะอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งมักใช้วิธีฝังกลบหรือเผา ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

2. มิติด้านการเงิน (Financial feasibility - Qualitative): จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในอุตสาหกรรมพลังงานและโลจิสติกส์ พบว่าการส่งออกแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุจากประเทศไทยไปยังประเทศจีนเพื่อรีไซเคิล มีต้นทุนรวมเฉลี่ยมากกว่า 6,000 บาทต่อแผง ซึ่งสามารถแจกแจงได้ดังนี้:

ค่าขนส่งระหว่างประเทศ (Transport cost): เป็นค่าขนส่งแบบรวมจากประเทศไทยไปยังโรงงานรีไซเคิลในจีน โดยคำนวณจากอัตราค่าขนส่งเฉลี่ย 168 บาทต่อกิโลกรัม และน้ำหนักเฉลี่ยของแผงโซล่าเซลล์อยู่ที่ประมาณ 35 กิโลกรัมต่อแผง

ค่าขนส่งต่อแผง = 168 บาท/ กก. × 35 กก. = 5,880 บาท

ค่าดำเนินการรีไซเคิลในโรงงานจีน (Recycling process cost): จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการด้านรีไซเคิลในจีน ระบุว่าค่าดำเนินการเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 1,000 บาทต่อแผง ซึ่งครอบคลุมกระบวนการแยกชั้นวัสดุ การบำบัดของเสีย และการจัดการภายใต้มาตรฐานสิ่งแวดล้อมของจีน

ค่าดำเนินการรีไซเคิลต่อแผง = 1,000 บาทดังนั้น ต้นทุนรวมต่อแผงในการส่งออกเพื่อรีไซเคิล สามารถสรุปได้เป็นต้นทุนรวมต่อแผง = 5,880+1,000 = 6,880 บาท/ แผง

ขณะที่รายได้จากวัสดุรีไซเคิลอยู่ที่ประมาณ 260 บาทต่อแผง ส่งผลให้ขาดทุนเฉลี่ยกว่า 6,620 บาทต่อแผง ทำให้โครงการไม่สามารถดำเนินการได้โดยลำพังในเชิงธุรกิจ หากไม่มีการสนับสนุนจากภาครัฐ ทั้งนี้ตัวเลขดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยที่อาจเปลี่ยนแปลงตามอัตราแลกเปลี่ยน ราคาน้ำมัน และเงื่อนไขโลจิสติกส์ในช่วงเวลานั้น ๆ อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยระดับนี้ถือเป็นอุปสรรคสำคัญต่อความคุ้มทุนทางเศรษฐกิจของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ หากไม่มีมาตรการสนับสนุนจากภาครัฐหรือการจัดตั้งระบบ EPR อย่างจริงจัง

ผู้เชี่ยวชาญจากโรงงานรีไซเคิลในจีนให้ข้อมูลว่า ประเทศไทยยังไม่มีโรงงานรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์ที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง โรงงานที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถจัดการได้เพียงบางขั้นตอน เช่น การถอดชิ้นส่วนภายนอก หรือการย่อยสลายบางประเภท แต่ยังไม่สามารถแยกวัสดุภายใน เช่น ซิลิคอน เซลล์ และโลหะหนักได้อย่างสมบูรณ์

ผู้เชี่ยวชาญจากโรงงานรีไซเคิลในจีนระบุว่า โรงงานในจีนเริ่มมีการนำเทคโนโลยีรีไซเคิลแบบครบวงจรเข้ามาใช้ โดยสามารถแยกวัสดุได้มากกว่า 90% ของน้ำหนักแผง ผ่าน

กระบวนการแบบกลไก-ความร้อน-เคมี ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การแยกชั้นฟิล์ม การแยกโลหะ การหลอมซิลิคอน ไปจนถึงการแยกอนุภาคเงินและทองแดง เทคโนโลยีเหล่านี้ยังไม่สามารถใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้ในประเทศไทย เนื่องจากขาดความสามารถด้านวิศวกรรมและการลงทุนที่เพียงพอ

ตารางที่ 1 รายได้ประมาณการจากวัสดุรีไซเคิลต่อแผงโซล่าเซลล์

องค์ประกอบของแผงโซล่าเซลล์	**สัดส่วนโดยน้ำหนัก (%)**	**น้ำหนักต่อแผง (กิโลกรัม)**	**ราคาขายวัสดุรีไซเคิล (บาท/ กก.)**	**รายได้ต่อแผง (บาท)**
อะลูมิเนียม (Aluminum)	17	5.95	30	178.5
กระจก (Glass)	65	22.75	0.75	17.0625
ซิลิคอน (Silicon)	6	2.1	7.5	15.75
ทองแดง/ เงิน (Copper/ Silver)	1	0.35	135	47.25
พลาสติกและวัสดุอื่น (EVA, ฯลฯ)	11	3.85	0	0
รวม	100	35	–	258.56 ≈ 260

หมายเหตุ: - น้ำหนักเฉลี่ยของแผงโซล่าเซลล์ต่อแผงอยู่ที่ประมาณ 35 กิโลกรัม

- ราคาขายวัสดุรีไซเคิลเป็นราคาตลาดเฉลี่ย ณ ปีปัจจุบัน พ.ศ. 2568

- วัสดุบางประเภท เช่น EVA หรือฟิล์มพลาสติก ไม่สามารถขายได้ในเชิงรีไซเคิลทั่วไป จึงคิดมูลค่าเป็นศูนย์

- มูลค่ารวมประมาณ 258.56 บาท จึงปัดเป็น 260 บาทต่อแผง เพื่อความสะดวกในการคำนวณต้นทุนรวม

- ข้อมูลเชิงตัวเลขในตารางนี้เป็นค่าถัวเฉลี่ยจากหลายแหล่ง อาจมีความคลาดเคลื่อนขึ้นอยู่กับบริบทของพื้นที่และช่วงเวลา

มิติด้านกฎหมาย (Legal feasibility - Qualitative)

จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญด้านโลจิสติกส์และการจัดการของเสีย พบว่า ประเทศไทยยังไม่มีพระราชบัญญัติที่กำหนดให้ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าแผงโซล่าเซลล์ต้องรับผิดชอบต่อการกำจัดผลิตภัณฑ์เมื่อหมดอายุการใช้งาน มีเพียงร่างกฎหมายภายใต้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (DEDE) ซึ่งอยู่ระหว่างการพิจารณา โดยสาระสำคัญคือ การกำหนดให้ผู้ประกอบการต้องจัดการแผงโซล่าเซลล์ตามแนวทางที่กำหนด และต้องขออนุญาตหากจะดำเนินการรีไซเคิลหรือขนย้ายไปยังต่างประเทศ

นอกจากนี้ ประเทศไทยยังได้ให้สัตยาบันตามอนุสัญญาบาเซิล ทำให้การส่งออกแผงที่มีสารโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว หรือแคดเมียม ต้องผ่านขั้นตอนการขออนุญาตทั้งจากประเทศต้นทางและปลายทาง จึงมีความล่าช้าและต้นทุนแฝงจำนวนมาก

มิติด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental feasibility - Qualitative)

ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อมเห็นว่า การปล่อยให้แผงโซล่าเซลล์หมดอายุสะสมโดยไม่มีการจัดการ อาจก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนสารเคมี เช่น ตะกั่วที่อยู่ในบัดกรีของแผง หรือแคดเมียมจากแผงบางประเภท ซึ่งอาจรั่วไหลสู่ดินและแหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในระยะยาว หากไม่มีการกำหนดแนวทางรีไซเคิลที่เหมาะสม ปริมาณแผงที่หมดอายุในประเทศจะสะสมมากกว่า 1,000 ตันภายในปี 2573 ซึ่งเกินขีดความสามารถของระบบฝังกลบขยะในปัจจุบัน

ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับแผงโซล่าเซลล์ของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า เชิงปริมาณ

การจัดกลุ่มตาม Value chain จากข้อมูลสัมภาษณ์

จากการสังเคราะห์ข้อมูลสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง พบว่าโซ่คุณค่าของการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์ (Reverse-logistics value chain) ในกรณีศึกษาสามารถแบ่งเป็น 6 กิจกรรมหลัก (Primary activities) และ 5 กิจกรรมสนับสนุน (Support activities) ดังนี้

กิจกรรมหลัก (Primary activities)

1. การเก็บกู้/ รวบรวม (On-site collection)

ลักษณะปัจจุบัน: แผงที่เสีย/หมดอายุถูกถอดออกและพักไว้บริเวณไซต์งานชั่วคราว ก่อนวางแผนขนย้ายกลับคลังกลางของบริษัท

ประเด็นจากสัมภาษณ์: ยังไม่มีมาตรฐานเดียวกันด้านการคัดแยกเบื้องต้น/ การป้องกันการแตกร้าว และไม่มีแบบฟอร์ม RMA/ Disposition ที่เป็นทางการ

ผลต่อความเป็นไปได้:

การเงิน: เกิดความเสียหายซ้ำซ้อน ทำให้สูญเสียมูลค่าวัสดุรีไซเคิล

เทคนิค: ขาดอุปกรณ์ป้องกันแรงกระแทกและเครื่องมือถอดถอน

กฎหมาย: ขาดหลักฐานการติดตามครุภัณฑ์ (traceability) ที่เพียงพอ

สิ่งแวดล้อม: เสี่ยงการรั่วไหลของสารตกค้างระหว่างพักเก็บ

2. การรวมศูนย์และเตรียมพร้อมขนส่ง (Consolidation & Staging)

ลักษณะปัจจุบัน: ใช้พื้นที่ของไซต์งานหรือคลังย่อยเพื่อรอรอบรถ (Backhaul) ร่วมกับโลจิสติกส์ปกติ

ผลต่อความเป็นไปได้:

การเงิน: หากไม่มีการรวมเที่ยว (Consolidation) จะทำให้ต้นทุนต่อหน่วยสูง

เทคนิค: ขาดมาตรฐานพาเลท/ลัง/กันกระแทกสำหรับแผงแตกร้าว

กฎหมาย: ต้องมีบันทึก S/N และสถานะสินทรัพย์ชัดเจนเพื่อรองรับการตรวจสอบ

3. การขนส่งย้อนกลับ (Reverse transportation)

ลักษณะปัจจุบัน: ใช้รถหกล้อ/ สิบล้อร่วมกับเส้นทางจัดส่งปกติ (Backhaul) แต่ไม่มีมาตรฐานเฉพาะสำหรับของเสียอิเล็กทรอนิกส์

ผลต่อความเป็นไปได้:

การเงิน: ต้นทุนโลจิสติกส์เป็นตัวแปรสำคัญที่สุดของทั้งระบบ

เทคนิค: ต้องการ SOP การยึดตรึง ป้ายเตือน และการรับประกันความเสียหาย

กฎหมาย: เมื่อมีการข้ามแดนเพื่อรีไซเคิล ต้องผ่านขั้นตอนอนุสัญญาบาเซิลและใบอนุญาตที่เกี่ยวข้อง

สิ่งแวดล้อม: ต้องมีแผนจัดการเหตุฉุกเฉินจากการแตกรั่ว

4. การตรวจรับ/ คัดแยก ณ จุดรวมกลาง (Inbound at Central DC: Triage & Sorting)

ลักษณะปัจจุบัน: ลงทะเบียน S/N และจัดเก็บรวม ยังไม่คัดแยกตามสภาพ (ซ่อมได้/ ใช้ซ้ำ/ แยกชิ้นส่วน/ กำจัด)

ผลต่อความเป็นไปได้:

การเงิน: การคัดแยกที่แม่นยำช่วยเพิ่มอัตรากู้คืน (Recovery rate) และลดค่ารีไซเคิลรวม

เทคนิค: ต้องมีวิธีทดสอบมาตรฐาน (เช่น IV-curve/ EL test สำหรับแผงที่ยังซ่อมได้)

กฎหมาย/ สิ่งแวดล้อม: จำเป็นต้องมีพื้นที่/ อุปกรณ์ที่ได้รับอนุญาตสำหรับของเสียอันตราย

5. การจัดการปลายทาง (Refurbish/ Reuse/ Recycle/ Disposal)

ลักษณะปัจจุบัน: ประเทศไทยยังไม่มีโรงงานรีไซเคิลครบวงจร จึงพึ่งพาต่างประเทศหรือแยกได้เพียงบางชิ้นส่วน (เช่น เฟรมอะลูมิเนียม)

ผลต่อความเป็นไปได้:

การเงิน: รายได้จากวัสดุรีไซเคิลในประเทศต่ำเมื่อเทียบกับต้นทุนโลจิสติกส์

เทคนิค: เทคโนโลยีแยกชั้นวัสดุ (กลไก-ความร้อน-เคมี) ยังไม่พร้อมเชิงพาณิชย์ในประเทศ

กฎหมาย: การส่งออกเพื่อรีไซเคิลต้องขออนุญาตต้นทาง-ปลายทาง

สิ่งแวดล้อม: รีไซเคิลเต็มรูปแบบลดการฝังกลบและความเสี่ยงปนเปื้อน

6. การกระจายผลได้/ ข้อมูลกลับ (Outbound of secondary materials & feedback loop)

ลักษณะปัจจุบัน: ยังไม่มีสัญญาซื้อขายวัสดุรีไซเคิลแบบระยะยาว (Off-take) และระบบป้อนกลับข้อมูลความเสียหายสู่ฝ่ายวิศวกรรม

ผลต่อความเป็นไปได้:

การเงิน: ขาด Off-take ทำให้ราคาวัสดุผันผวนและรายได้ไม่แน่นอน

เทคนิค: หากมี Feedback ที่ดี จะลดอัตราเสียหายในอนาคต

กฎหมาย/ สิ่งแวดล้อม: การขายเศษโลหะต้องเป็นผู้รับซื้อที่ได้รับอนุญาต

กิจกรรมสนับสนุน (Support activities)

1. โครงสร้างองค์กรและธรรมาภิบาล: ยังไม่มีเจ้าภาพกลางดูแล RL แบบ end-to-end → กระทบการบูรณาการข้อมูล/ งบประมาณ

2. การจัดการทรัพยากรบุคคล: ต้องฝึกอบรมความปลอดภัย HSE/ของเสียอันตราย/ เทคนิคถอด-ขนย้าย

3. เทคโนโลยีสารสนเทศ: จำเป็นต่อการติดตาม Serial Number, ติดตามสถานะ, ต้นทุนต่อหน่วย และเอกสารกำกับของเสีย

4. การจัดซื้อและพันธมิตร (Sourcing & Partnering): สัญญากับ 3PL/ 4PL, โรงคัดแยก, โรงรีไซเคิล, ผู้รับซื้อเศษโลหะ และที่ปรึกษากฎหมายข้ามแดน

5. การจัดการด้านกฎหมายและสิ่งแวดล้อม: การปฏิบัติตามกฎหมายในประเทศ/ ต่างประเทศ, ใบอนุญาต, การรายงานของเสีย

สรุปเชิง Value: ตัวผลักดันมูลค่า (Value drivers) ที่สำคัญ ได้แก่ การรวมเที่ยวขนส่งและ Backhaul, มาตรฐานบรรจุหีบห่อ, การคัดแยกคุณภาพตั้งแต่ต้นทาง, สัญญา Off-take วัสดุรีไซเคิล, ระบบ IT traceability และกรอบกำกับแบบ EPR ซึ่งล้วนลดต้นทุน/เพิ่มรายได้/ ลดความเสี่ยงกฎหมายและสิ่งแวดล้อม

เพื่อประเมินความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับแผงโซล่าเซลล์ในประเทศไทย งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลเชิงตัวเลขจากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญในภาคโลจิสติกส์ ภาคพลังงาน และโรงงานรีไซเคิลของจีน รวมถึงเอกสารจากแหล่งข้อมูลภายนอกที่น่าเชื่อถือ เพื่อประเมินต้นทุนและผลประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์:

1. ข้อมูลเบื้องต้นและสมมติฐานหลัก

ตารางที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนและรายได้ของโครงการ

รายการ	ค่าเฉลี่ย	แหล่งที่มา
น้ำหนักเฉลี่ยของแผงโซล่าเซลล์	35 กิโลกรัม/แผง	มาตรฐานผู้ผลิตในตลาด
จำนวนแผงที่ต้องจัดการ (พ.ศ. 2568-2573)	50,000 แผง	การสัมภาษณ์กลุ่มผู้ให้ข้อมูลจากภาคอุตสาหกรรมพลังงานของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้า
ค่าขนส่งระหว่างประเทศ	168 บาท/กิโลกรัม	การสัมภาษณ์กลุ่มผู้ให้ข้อมูลจากภาคโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน
ค่าดำเนินการรีไซเคิลที่จีน	1,000 บาท/แผง	การสัมภาษณ์กลุ่มผู้ให้ข้อมูลจากภาคการรีไซเคิลและสิ่งแวดล้อม
รายได้จากวัสดุรีไซเคิล	260 บาท/แผง	การสัมภาษณ์กลุ่มผู้ให้ข้อมูลจากภาคการรีไซเคิลและสิ่งแวดล้อม

หมายเหตุ: ข้อมูลเชิงตัวเลขในตารางนี้เป็นค่าถัวเฉลี่ยจากหลายแหล่ง อาจมีความคลาดเคลื่อนขึ้นอยู่กับบริบทของพื้นที่และช่วงเวลา

1. การพยากรณ์แนวโน้มจำนวนแผงที่หมดอายุ

บริษัทมีการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 โดยมีจำนวนแผงติดตั้งรวมกว่า 200,000 แผง คาดว่าในช่วงปี พ.ศ. 2568-2573 จะมีแผงเสื่อมสภาพและหมดอายุสะสมกว่า 50,000 แผง หรือประมาณ 900-1,200 ตัน ซึ่งจำเป็นต้องมีแนวทางจัดการอย่างเป็นระบบ

2. การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis - CBA)

จากผลวิเคราะห์ต้นทุนเชิงปริมาณ มิติด้านการเงิน (Financial feasibility - qualitative) พบว่าเฉลี่ยต่อแผงในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับได้แก่:

- ค่าขนส่งไปยังโรงงานรีไซเคิลในจีน: ประมาณ 168 บาท/กก. หรือ 5,880 บาท/ แผง (35 กก.)

- ค่าดำเนินการและรีไซเคิล: ประมาณ 1,000 บาท/ แผง

จากข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแผงโซล่าเซลล์ (ดูรายละเอียดใน ตารางที่ 1 รายได้ประมาณการจากวัสดุรีไซเคิลต่อแผงโซล่าเซลล์) พบว่ารายได้จากวัสดุรีไซเคิลต่อแผงอยู่ที่ประมาณ 260 บาท ซึ่งประกอบด้วยกระจกประมาณ 22.75 กิโลกรัม (0.75บาท/ กก.), อะลูมิเนียมประมาณ 5.95 กิโลกรัม (30 บาท/ กก.) และวัสดุอื่น ๆ เช่น ทองแดงหรือซิลิคอน

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับต้นทุนรวมในการดำเนินการโลจิสติกส์ย้อนกลับ ซึ่งอยู่ที่ 6,880 บาทต่อแผง คำนวณผลต่าง: ผลประโยชน์สุทธิ = รายได้ - ต้นทุนรวม

260– 6,880 = –6,620 บาท/ แผง (ขาดทุน)

1. จุดคุ้มทุน (Break-even Point - BEP) และ ROI)

เนื่องจากโครงการนี้มีต้นทุนรวมต่อแผงสูงถึง 6,880 บาท ขณะที่รายได้เฉลี่ยต่อแผงจากการขายวัสดุรีไซเคิลอยู่ที่เพียง 260 บาท ทำให้ไม่สามารถคำนวณจุดคุ้มทุน (Break-even Point) ได้จริงในบริบทปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม เพื่อแสดงให้เห็นภาพเชิงเปรียบเทียบ จึงได้จำลองกรณี “กำไรต่อแผง = 0” เพื่อหาปริมาณขั้นต่ำที่ต้องรีไซเคิลต่อปีให้คุ้มทุน

$$\text{BEP จำนวนแผง} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น(รวมค่าดำเนินการ)}}{\text{รายได้ต่อแผง-ต้นทุนต่อแผง}}$$

$$\frac{30,000,000}{260\text{-}6,880} = \text{ไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากผลลัพท์ติดลบ}$$

ดังนั้นในเชิงเศรษฐศาสตร์ โครงการนี้จะไม่สามารถมีจุดคุ้มทุนได้เลย เว้นแต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสำคัญในปัจจัย เช่น:

1. การสนับสนุนจากภาครัฐให้ค่าตอบแทน (Subsidy) ต่อแผง
2. การเพิ่มรายได้จากวัสดุรีไซเคิล เช่น ราคาทองแดง เงิน ซิลิคอน
3. การลดต้นทุนขนส่งผ่านระบบขนส่งแบบรวม หรือ Local recycling

ตารางที่ 3 การคำนวณกำไรสุทธิจากการดำเนินโครงการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์

รายการ	**จำนวน (บาท)**	**วิธีคำนวณ**
รายได้รวม	13,000,000	260 บาท/ แผง × 50,000 แผง
ต้นทุนรวม	344,000,000	6,880 บาท/ แผง × 50,000 แผง
กำไรสุทธิ (ขาดทุน)	-331,000,000	รายได้รวม - ต้นทุนรวม

หมายเหตุ: ข้อมูลเชิงตัวเลขในตารางนี้เป็นค่าถัวเฉลี่ยจากหลายแหล่ง อาจมีความคลาดเคลื่อนขึ้นอยู่กับบริบทของพื้นที่และช่วงเวลา

การคำนวณ ROI (Return on Investment) โดยใช้สูตร:

$$\text{ROI} = \frac{\text{กำไรสุทธิ}}{\text{เงินลงทุนทั้งหมด}} \times 100$$

ในกรณีนี้ กำไรสุทธิ = –331,000,000 บาท (จากแผง 50,000 แผง) และเงินลงทุนเบื้องต้น 30,000,000 บาท จึงได้:

$$\text{ROI} = \frac{-331,000,000}{30,000,000} \times 100$$

$$\text{ROI} = -1,036.67\%$$

ตัวเลขนี้ แสดงถึงการขาดทุนอย่างรุนแรง ซึ่งสะท้อนว่าโครงการไม่สามารถสร้างผลตอบแทนทางเศรษฐกิจได้ภายใต้เงื่อนไขปัจจุบัน

1. การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

ในการประเมินความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ ได้กำหนดสมมติฐานของรูปแบบการดำเนินโครงการระยะยาวเป็นเวลา 10 ปี โดยพิจารณาจากรูปแบบโรงงานขนาดเล็ก-กลางที่มีขีดความสามารถในการรีไซเคิลแผงหมดอายุปีละประมาณ 5,000 แผง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแผงหมดอายุสะสมในประเทศไทยช่วงปี พ.ศ. 2568-2573

เงินลงทุนเริ่มต้นถูกประมาณที่ 30 ล้านบาท ครอบคลุมต้นทุนค่าก่อสร้างอาคารและสถานที่ (โรงเก็บ/ โรงคัดแยก) เครื่องจักรและอุปกรณ์เบื้องต้น รวมถึงระบบจัดการของเสียเบื้องต้นภายในประเทศ ไม่รวมต้นทุนดำเนินงานซึ่งเกิดซ้ำในแต่ละปี เช่น ค่าขนส่งระหว่างประเทศ ค่าดำเนินการรีไซเคิลในประเทศปลายทาง (จีน) และ ค่าจัดการเอกสารสิ่งแวดล้อมและนำเข้า-ส่งออก

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานถูกคำนวณจากต้นทุนรีไซเคิลต่อแผง (6,880 บาท) × 5,000 แผง/ ปี ≈ 34.4 ล้านบาท/ปี และปัดเป็น 34 ล้านบาทเพื่อให้สอดคล้องกับการลดต้นทุนจากการดำเนินการต่อเนื่อง

รายได้จากวัสดุรีไซเคิลคิดจากราคาตลาดเฉลี่ย 260 บาท/ แผง รวมเป็น 1,300,000 บาท/ ปี

อัตราคิดลด (Discount rate) กำหนดไว้ที่ 10% ซึ่งเหมาะสมกับโครงการที่มีความไม่แน่นอนสูงในระยะเริ่มต้น

ตารางที่ 4 สมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ NPV และ IRR ของโครงการ

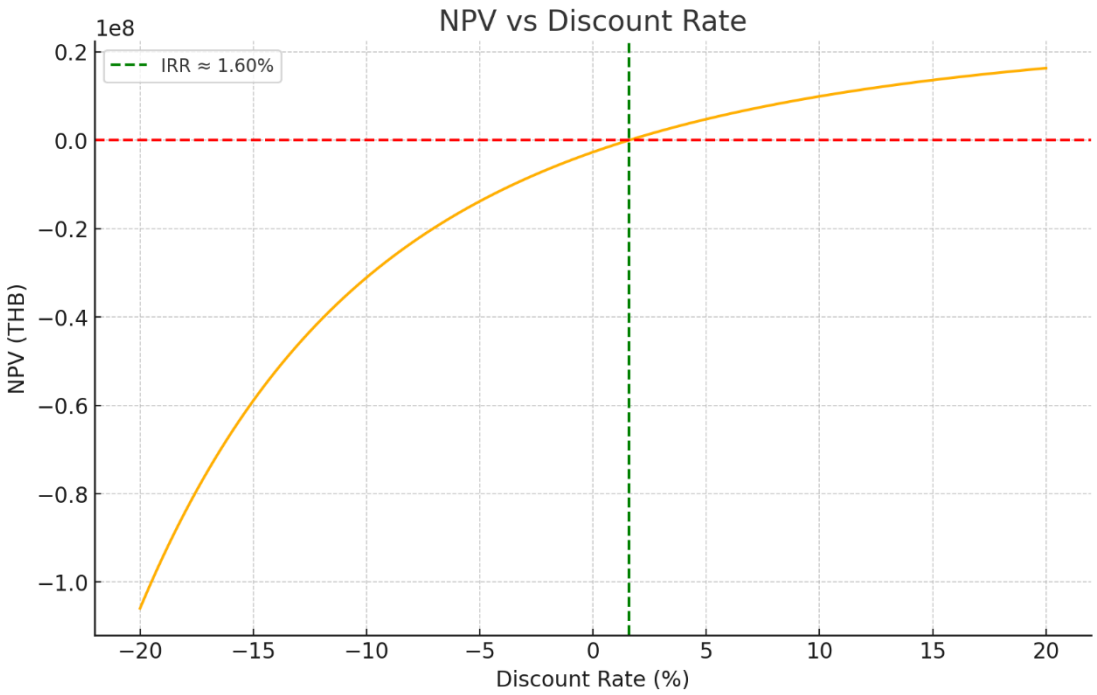
รายการ	**ค่า**	**หมายเหตุ**
เงินลงทุนตั้งต้น (C_0)	30,000,000 บาท	ปีที่ 0 รวมค่าดำเนินการเก็บกู้ การอบรมพนักงาน
กระแสเงินสดสุทธิปีที่ 1-10 (CF_{1-10})	-32,700,000 บาท/ ปี	= รายได้ (1,300,000) - รายจ่าย (34,000,000)
อัตราคิดลด (r)	10%	ค่ากลางสำหรับโครงการมีความเสี่ยง
ระยะเวลา	10 ปี	ตามแนวทางวิเคราะห์โครงการลงทุน

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางไม่ใช่ต้นทุนหรือราคาจริง ณ จุดเวลาใดจุดเวลาหนึ่ง แต่เป็นค่าเฉลี่ยที่ใช้เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเปรียบเทียบของโครงการ

การคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

ในการคำนวณค่า IRR ไม่สามารถระบุได้จากโปรแกรม Excel โดยตรง เนื่องจากกระแสเงินสดติดลบตลอดระยะเวลา อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยประมาณค่าด้วยวิธีลองผิดลองถูก (Trial-and-Error) และพบว่า เมื่อกำหนดอัตราคิดลดประมาณ 1.60% ค่า NPV ใกล้เคียงศูนย์ที่สุด ดังนั้นจึงสามารถประมาณได้ว่า IRR ≈ 1.60% ภายใต้ข้อจำกัดของโครงการ

ค่า IRR ที่ติดลบดังกล่าว สะท้อนว่าโครงการไม่สามารถคืนทุนได้แม้ในระดับต้นทุนเงินทุนขั้นต่ำ ถือเป็นข้อบ่งชี้สำคัญถึงความไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ



ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราคิดลด (Discount rate) กับมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

หมายเหตุ: กราฟแสดงจุดตัดของเส้น NPV กับแกนร้อยละ ซึ่งชี้ให้เห็นอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) ที่ประมาณ 1.60% โดยที่ค่า NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งถือเป็นค่าที่ทำให้โครงการคุ้มทุนพอดีตามแนวคิดการประเมินโครงการลงทุน

การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

ผลการคำนวณในโครงการนี้ เมื่อใช้อัตราคิดลด r=10% และกำหนดกระแสเงินสดสุทธิประจำปีที่ –32,700,000 บาท เป็นระยะเวลา 10 ปี โดยมีเงินลงทุนเริ่มต้นที่ 30,000,000 บาท พบว่า: NPV= -230,927,344.36 บาท ค่าดังกล่าวเป็นลบอย่างมีนัยสำคัญ แสดงถึงการขาดทุนตลอดอายุโครงการ แม้จะดำเนินงานต่อเนื่องจนครบ 10 ปี ก็ตาม

ตารางที่ 5 กระแสเงินสดและมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ

ปี (t)	รายได้ (บาท)	รายจ่าย (บาท)	กระแสเงินสดสุทธิ (CF)	ค่าปัจจุบันสุทธิของ CF
0	–	–30,000,000	–30,000,000	–30,000,000
1–10	1,300,000	34,000,000	–32,700,000	CF / (1 + 0.10)^t

ผลรวมของค่าปัจจุบันสุทธิของ CF ปีที่ 1–10 เท่ากับ ≈ -200,927,344.36 บาท

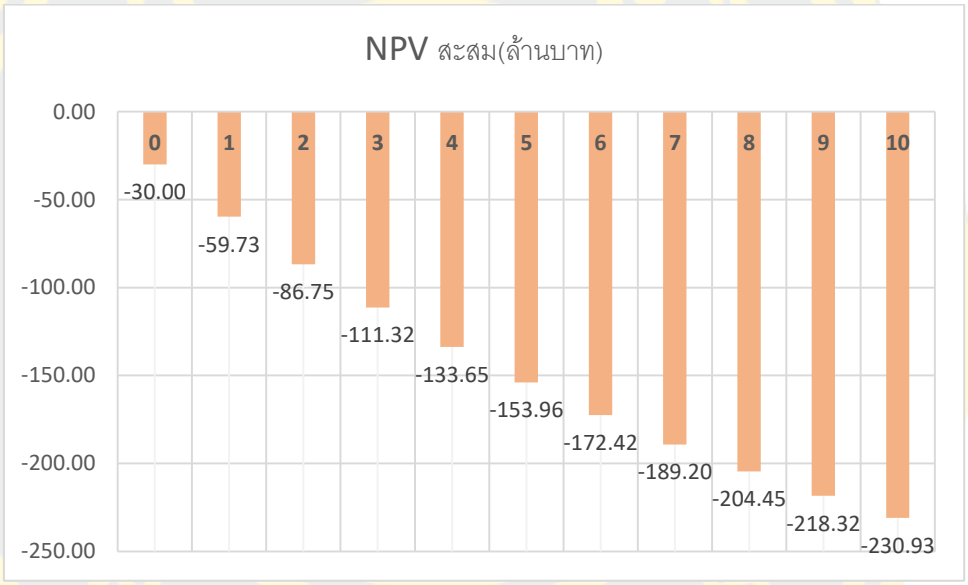
ดังนั้น NPV = -200,927,344.36– 30,000,000 = -230,927,344.36 บาท

ตารางที่ 6 การคำนวณ NPV แบบรายปี (Detailed cash flow table)

ปีที่	กระแสเงินสดสุทธิ (บาท)	คิดลด 10%	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)
0	-30,000,000	/1.10^0	-30,000,000
1	–32,700,000	/1.10^1	-29,727,272.73
2	–32,700,000	/1.10^2	-27,024,793.39
3	–32,700,000	/1.10^3	-24,567,993.99
4	–32,700,000	/1.10^4	-22,334,539.99
5	–32,700,000	/1.10^5	-20,304,127.26
6	–32,700,000	/1.10^6	-18,458,297.51
7	–32,700,000	/1.10^7	-16,780,270.47
8	–32,700,000	/1.10^8	-15,254,791.33

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ปีที่	กระแสเงินสดสุทธิ (บาท)	คิดลด 10%	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)
9	–32,700,000	/1.10^9	-13,867,992.12
10	–32,700,000	/1.10^10	-12,607,265.56
รวม			-230,927,344.36



ภาพที่ 6 กราฟแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสม (NPV) ของโครงการตลอดระยะเวลา 10 ปี

หมายเหตุ: ตัวเลขเป็นการคำนวณจากกระแสเงินสดสุทธิปีละ –32.7 ล้านบาท เป็นเวลา 10 ปี โดยใช้อัตราคิดลด 10% และรวมกับเงินลงทุนปีที่ 0 จำนวน –30 ล้านบาท

จากกราฟจะเห็นว่า แม้โครงการดำเนินการครบ 10 ปี NPV ยังคงติดลบอย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีจุดคุ้มทุนเกิดขึ้นเลยตลอดอายุโครงการ สะท้อนว่าโครงการนี้ไม่มีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ภายใต้เงื่อนไขปัจจุบัน

การตีความผลการวิเคราะห์ทางการเงิน

จากผลการคำนวณทั้ง NPV และ IRR สามารถสรุปได้ว่าโครงการมีความไม่คุ้มค่าทางการเงินภายใต้สมมุติฐานปัจจุบัน หากไม่มีการปรับลดต้นทุน หรือได้รับการสนับสนุนเพิ่มเติมจากภาครัฐหรือภาคนโยบาย โครงการจะไม่สามารถสร้างผลตอบแทนที่เหมาะสมได้ โดยมีรายละเอียดการตีความดังนี้:

ค่า NPV ติดลบ (-230,927,344.36 บาท) แสดงว่า การลงทุนในโครงการนี้จะไม่ก่อให้เกิดผลตอบแทนเพิ่มขึ้นจากมูลค่าที่ลงทุนไป กล่าวคือ มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับที่ได้จากโครงการมีค่าน้อยกว่ามูลค่าที่ลงทุน ทำให้โครงการขาดทุนในแง่มูลค่าปัจจุบัน

ค่า IRR 1.60% หมายถึง อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการต่ำกว่าค่าอ้างอิง ซึ่งสิ่งนี้แสดงว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราคิดลด (Discount rate) หรือ “ต้นทุนเงินทุน (Cost of capital)” ที่ตั้งไว้ที่ 10% แล้ว โครงการนี้ไม่สามารถสร้างผลตอบแทนได้เพียงพอในระดับที่นักลงทุนทั่วไปยอมรับ

โดยสรุป ค่า IRR และ NPV ที่ได้จากการคำนวณชี้ว่า โครงการนี้ไม่มีความเหมาะสมในการลงทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์ ภายใต้เงื่อนไขและข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental impact)

แม้ว่าผลการวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการจะแสดงให้เห็นว่าไม่มีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ภายใต้เงื่อนไขปัจจุบัน แต่การจัดการแผงโซล่าเซลล์แบบครบวงจรในลักษณะของ โลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse logistics) ยังคงก่อให้เกิดผลกระทบเชิงบวกต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้:

1.1 ลดปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ (E-waste)

แผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุการใช้งานจัดเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งหากไม่มีระบบการจัดการที่เหมาะสม จะถูกนำไปฝังกลบหรือทิ้งในพื้นที่เปิด ส่งผลกระทบต่อดิน น้ำ และอากาศ การรวบรวมและรีไซเคิลแผงเหล่านี้จะช่วยลดปริมาณ E-waste ที่เข้าสู่ระบบฝังกลบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ประโยชน์ที่เกิดขึ้น ได้แก่

ต่อสิ่งแวดล้อม: ลดการปนเปื้อนดิน น้ำ และอากาศจากการสลายตัวของแผงโซล่าที่มีโลหะหนักและสารเคมีตกค้าง

ต่อสังคม: ลดภาระของชุมชนท้องถิ่นที่ต้องเผชิญกับมลพิษจากพื้นที่ฝังกลบ

ระยะเวลา: คุณค่าดังกล่าวเกิดขึ้นระยะยาวต่อเนื่อง (10-25 ปี) ตามวงจรอายุของแผงที่ทยอยหมดอายุ

1.2 ลดความเสี่ยงจากสารอันตราย

แผงโซล่าเซลล์บางรุ่นประกอบด้วยสารที่เป็นอันตราย เช่น ตะกั่ว (Pb), แคดเมียม (Cd), สารหน่วงไฟ (Flame Retardants) และสารอื่น ๆ ที่อาจรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อแผงแตกหรือชำรุด การแยกชิ้นส่วนอย่างปลอดภัยและจัดการตามหลักสิ่งแวดล้อมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ประโยชน์ที่เกิดขึ้น ได้แก่

ต่อภาครัฐและหน่วยงานควบคุมสิ่งแวดล้อม: ลดค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมหากเกิดการรั่วไหล

ต่อสุขภาพประชาชน: ลดความเสี่ยงการสะสมของสารพิษในห่วงโซ่อาหาร

ระยะเวลา: เป็นคุณค่าที่เห็นผลทันทีในพื้นที่จัดเก็บ/ กำจัด และต่อเนื่องในระยะยาว

1.3 ลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตวัสดุใหม่

กระบวนการผลิตแผงโซล่าเซลล์ใหม่จำเป็นต้องใช้พลังงานสูง โดยเฉพาะในการผลิตอะลูมิเนียมและซิลิคอน การนำวัสดุเดิมกลับมาใช้ใหม่จะช่วยลดการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Emissions) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประโยชน์ที่เกิดขึ้น ได้แก่

ต่ออุตสาหกรรมพลังงานและวัสดุ: ลดการพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบใหม่

ต่อสิ่งแวดล้อมโลก: ลดการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติในการทำเหมืองวัตถุดิบใหม่

ระยะเวลา: คุณค่าในแง่ทรัพยากรอาจสะสมต่อเนื่องและชัดเจนขึ้นเมื่อปริมาณแผงหมดอายุมีมากขึ้น (หลังปี 2035 เป็นต้นไป)

2. สนับสนุนแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)

การจัดการแผงโซล่าเซลล์ผ่านกระบวนการรีไซเคิลและนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ เป็นส่วนหนึ่งของการสร้างระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ที่ลดการพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติ และยืดอายุการใช้

ประโยชน์ของวัสดุในระบบ

ประโยชน์ที่เกิดขึ้น ได้แก่

ต่อองค์กร: ช่วยสร้างภาพลักษณ์ด้าน ESG (Environmental, Social, Governance) เพิ่มโอกาสการเข้าถึงแหล่งเงินทุนและการสนับสนุนจากภาครัฐ

ต่อสังคมและนักลงทุน: สร้างความเชื่อมั่นต่อแนวทางการดำเนินธุรกิจที่สอดคล้องกับเป้าหมาย SDGs และ Circular economy

ระยะเวลา: คุณค่าเกิดขึ้นทันทีในแง่ภาพลักษณ์ และต่อเนื่องในแง่ความสามารถในการแข่งขันระยะยาว

แม้ว่าผลกระทบเชิงบวกทางสิ่งแวดล้อมเหล่านี้จะ ไม่สามารถแปลงเป็นตัวเลขทางการเงินโดยตรงได้ในระยะสั้น แต่ถือว่ามี “คุณค่าทางนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-value)” ที่ช่วยส่งเสริมความยั่งยืนในระยะยาว ทั้งในมิติของสุขภาพมนุษย์ ทรัพยากรธรรมชาติ และความรับผิดชอบต่อสังคมโดยรวม

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์ในประเทศไทย โดยวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณใน 4 มิติหลัก ได้แก่ ด้านการเงิน เทคนิค กฎหมาย และสิ่งแวดล้อม สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. มิติด้านการเงิน: โครงการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของแผงโซล่าเซลล์ในประเทศไทย ยังไม่สามารถคุ้มทุนในเชิงการเงิน หากดำเนินการโดยไม่มีการสนับสนุนจากภาครัฐหรือระบบความรับผิดชอบของผู้ผลิต (EPR) เนื่องจากต้นทุนด้านการขนส่งและกระบวนการรีไซเคิลสูงกว่ารายได้ที่ได้จากวัสดุที่รีไซเคิลกลับมา เช่น กระจก อะลูมิเนียม และซิลิคอน แม้กระทั่งในโครงการขนาดกลางถึงใหญ่ NPV และ IRR ยังคงติดลบอย่างมีนัยสำคัญ

2. มิติด้านเทคนิค: ประเทศไทยยังขาดแคลนโครงสร้างพื้นฐานด้านการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์อย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะโรงงานที่สามารถแยกวัสดุภายในแผงออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การแยกเซลล์ซิลิคอนหรือโลหะหนัก เทคโนโลยีที่มีอยู่ในประเทศยังจำกัดอยู่เพียงระดับเบื้องต้น เช่น การถอดเฟรมโลหะหรือการนำไปเผาทำลาย เทียบกับประเทศจีนซึ่งมีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลแบบครบวงจรที่สามารถรีไซเคิลได้มากกว่า 90% โดยน้ำหนัก

3. มิติด้านกฎหมาย: กรอบกฎหมายของประเทศไทยเกี่ยวกับการจัดการแผงโซล่าเซลล์หมดอายุยังอยู่ในระยะเริ่มต้น แม้จะมีความพยายามจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (DEDE) ในการยกร่างกฎหมายเฉพาะ แต่ยังไม่มีข้อบังคับที่มีผลทางกฎหมายชัดเจน ส่งผลให้ภาคเอกชนขาดแนวทางปฏิบัติที่เป็นมาตรฐาน รวมถึงยังไม่มีระบบบังคับให้ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าแผงโซล่าเซลล์รับผิดชอบต้นทุนในช่วงสิ้นสุดอายุการใช้งาน

4. มิติด้านสิ่งแวดล้อม: การรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์สามารถช่วยลดความเสี่ยงด้านมลพิษจากโลหะหนัก เช่น ตะกั่วและแคดเมียม อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้พื้นที่ฝังกลบและลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตวัสดุใหม่ อย่างไรก็ตาม หากไม่มีระบบจัดการอย่างเหมาะสม แผงที่หมดอายุจำนวนมากอาจถูกทิ้งอย่างไม่ถูกต้อง และก่อให้เกิดผลกระทบต่อชุมชนในระยะยาว

อภิปรายผล

การเปรียบเทียบผลการวิจัยกับวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ในบทที่ 4 ผู้วิจัยได้นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2 เพื่อตรวจสอบความสอดคล้อง ความแตกต่าง และบทเรียนที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในบริบทของบริษัทผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย

การเปรียบเทียบด้านกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับ

จากการศึกษาพบว่า บริษัทกรณีศึกษายังอยู่ในขั้นตอนเบื้องต้นของการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ โดยมีการเก็บรวบรวมและจัดเก็บแผงโซล่าเซลล์ที่หมดอายุไว้ในคลังสินค้าเท่านั้น โดยยังไม่มีการคัดแยก ซ่อมแซม หรือนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานของ Rogers and Tibben-Lembke (1999) ที่ชี้ว่า องค์กรส่วนใหญ่ในภาคอุตสาหกรรมพลังงานยังไม่สามารถบูรณาการระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับอย่างครบวงจรได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านต้นทุนและโครงสร้างพื้นฐาน

ขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณางานของ Lu et al. (2019) ในประเทศจีน ซึ่งได้ศึกษาแนวทางการจัดการของเสียจากแผงโซล่าเซลล์ พบว่า รัฐบาลมีบทบาทสำคัญในการผลักดันระบบ Extended Producer Responsibility (EPR) ทำให้ภาคเอกชนสามารถดำเนินการรีไซเคิลได้อย่างคุ้มค่า แตกต่างจากประเทศไทยที่ยังขาดกรอบกฎหมายและแรงจูงใจด้านเศรษฐศาสตร์ที่ชัดเจน

การเปรียบเทียบด้านความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์โครงการของบริษัทกรณีศึกษาในครั้งนี้พบว่า มีค่า NPV เป็นลบและ IRR ต่ำกว่าศูนย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Villalba et al. (2010) ที่ศึกษาเศรษฐศาสตร์ของการรีไซเคิลเซลล์แสงอาทิตย์ในสหภาพยุโรป โดยระบุว่า ต้นทุนในการดำเนินการมีแนวโน้มสูงกว่ารายได้จากการรีไซเคิลหากปราศจากการสนับสนุนจากภาครัฐหรือการจัดการในระดับระบบ

นอกจากนี้ยังมีความสอดคล้องกับงานของ Fthenakis (2000) ซึ่งเน้นย้ำว่า การจัดการแผงโซล่าเซลล์หมดอายุมีต้นทุนแฝงจำนวนมาก ทั้งในด้านการขนส่ง การจัดเก็บ และการกำจัดที่ปลอดภัย โดยเฉพาะกรณีของแผงที่มีส่วนประกอบเป็นโลหะหนักหรือสารพิษ

การเปรียบเทียบด้านข้อจำกัดและข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

จากการศึกษาภาคสนามและการเปรียบเทียบกับงานวิจัยต่างประเทศ พบว่า ประเทศที่มีการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับได้อย่างมีประสิทธิภาพมักมีองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการ ได้แก่:

1. นโยบายและกฎหมายที่ชัดเจน (Regulatory clarity): เช่น กฎหมาย WEEE ของสหภาพยุโรป

2. กลไกจูงใจทางการเงิน (Financial incentive): เช่น เงินอุดหนุนการกู้คืนวัสดุจากภาครัฐ

3. ความร่วมมือภาคี (Stakeholder collaboration): เช่น ความร่วมมือระหว่างผู้ผลิต รัฐ และโรงงานรีไซเคิล

ซึ่งทั้ง 3 ประเด็นนี้ยังไม่เกิดขึ้นในประเทศไทยอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในกลุ่มพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งยังไม่มีมาตรการ EPR สำหรับผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าแผงโซล่าเซลล์

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งถัดไป

แม้งานวิจัยนี้จะสามารถนำเสนอแนวทางการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของ แผงโซล่าเซลล์ได้อย่างครอบคลุม ทั้งในมิติด้านการเงิน เทคนิค กฎหมาย และสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การพัฒนาระบบการจัดการดังกล่าวมีความสมบูรณ์และสอดคล้องกับบริบทที่เปลี่ยนแปลงในอนาคต ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป ดังนี้

1. การศึกษารูปแบบธุรกิจที่เหมาะสมกับบริบทไทย

ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างโมเดลการจัดการที่หลากหลาย เช่น การจัดตั้งศูนย์รีไซเคิลภายในประเทศ การจ้างเหมาบริการจากภายนอก หรือความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน เพื่อหารูปแบบที่มีความเป็นไปได้สูงสุดในบริบทของประเทศไทย

2. การวิเคราะห์ผลกระทบเชิงระบบต่อห่วงโซ่อุปทาน

งานวิจัยครั้งถัดไปอาจขยายขอบเขตเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานโดยรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงต้นทุนโลจิสติกส์ในระยะยาว หรือความพร้อมของซัพพลายเออร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรีไซเคิล

3. การสำรวจทัศนคติของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพิ่มเติม

ควรมีการรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอื่น ๆ เช่น หน่วยงานรัฐ ท้องถิ่น เจ้าของแผงระดับครัวเรือน หรือประชาชนในพื้นที่รอบโรงงาน เพื่อให้การออกแบบนโยบายหรือแผนงานในอนาคตมีฐานข้อมูลที่หลากหลายยิ่งขึ้น

4. การติดตามแนวโน้มเทคโนโลยีรีไซเคิลระดับสากล

เพื่อให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาเทคโนโลยีที่เทียบเท่าระดับสากล ควรมีการศึกษาความก้าวหน้าในการรีไซเคิลแผงโซล่าเซลล์ ทั้งด้านเทคนิคและต้นทุน เช่น การใช้เครื่องจักรแยกวัสดุแบบอัตโนมัติ การรีไซเคิลซิลิคอน และการควบคุมสารอันตราย

5. การประเมินผลในระยะยาว

ควรมีการศึกษาติดตามผลกระทบในระยะยาว เช่น การลดปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ หรือผลกระทบต่อการลงทุนในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะในกรณีที่มีการนำแนวทางจากงานวิจัยนี้ไปใช้อย่างเป็นรูปธรรม

มหาวิทยาลัยบูรพา BURAPHA UNIVERSITY

บรรณานุกรม

Amin, N. (2020). An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. *Energy Strategy Reviews, 27*, 100431. doi:10.1016/j.esr.2019.100431

Choi, J. K. V. F. (2010). Crystalline silicon photovoltaic recycling planning: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14*(11), 2743-2749. doi:10.1016/j.rser.2010.06.012

Ilaria D'Adamo, M. M. (2020). Can we improve sustainability through a circular economy approach? A review of the management of end-of-life photovoltaic panels. *Environmental Science & Policy, 107*, 56-57. doi:10.1016/j.envsci.2020.02.005

Johnson, J. T. A., Lee, M. (2017). *Engineering feasibility studies for sustainable energy projects*. New York, USA: Wiley & Sons.

Krawczyk, F. I. Z., & Lewandowska, A. (2019). Reverse logistics of waste electrical and electronic equipment in the European Union. In *Paper presented at the 10th International Conference on Sustainable Energy*, Berlin, Germany.

Olivieri, G. I. D. A., Morone, P. (2016). Reverse logistics in the photovoltaic sector: A strategic proposal for a sustainable perspective. *Sustainability, 8*(9), 828. doi:10.3390/su8090828

Smith, J. A. B. (2018). *Financial feasibility assessment in renewable energy projects*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

บรรณานุกรม

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายฉัตตริน เปี่ยมรอด	
วัน เดือน ปี เกิด	5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2538	
สถานที่เกิด	จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	68/ 34 หมู่บ้านเดอะวอเตอร์ฟรอนท์หนองค้อ หมู่ 11 ซอย 9 ตำบลหนองขาม อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110	
ตำแหน่งและประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2565-ปัจจุบัน	Procurement Manager Constant Energy Services Thailand
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2559	ศึกษาศาสตรบัณฑิต (ภาษาจีน) มหาวิทยาลัยยูนนาน
	พ.ศ. 2560	ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต (การสอนภาษาจีนในฐานะภาษาต่างประเทศ) มหาวิทยาลัยศิลปากร
	พ.ศ. 2569	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน) มหาวิทยาลัยบูรพา

มหาวิทยาลัยบูรพา
BURAPHA UNIVERSITY