บทที่ 3
ระเบียบวิธีการศึกษา

3.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

กลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษาคัดเลือกจากฐานข้อมูลโรงงานที่ผ่านการอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบพลังงานอาวุโสด้านทฤษฎี(Senior PREs) ความร้อนและไฟฟ้า ประจำปี 2553 จำนวนโรงงานที่เข้าร่วมอบรมทั้งหมด 900 แห่ง โดยกำหนดคุณสมบัติการใช้พลังงานของโรงงานที่สามารถเข้าร่วมอบรมได้ดังนี้

1. เป็นโรงงานควบคุมขนาดใหญ่
2. เป็นโรงงานที่ใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 3,000 kW หรือ
3. เป็นโรงงานที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าจุดเดียวหรือหลายจุดรวมกันตั้งแต่ 3,530 kVA หรือ
4. เป็นโรงงานที่ใช้ไฟฟ้า และ/หรือพลังงานสิ้นเปลือง และ/หรือความร้อนในรอบหนึ่งปีรวมกับเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 60 ล้านเมกะจูล

ดังนั้น จากโรงงานควบคุมขนาดใหญ่ ที่ผ่านการอบรมทั้งหมด 900 แห่ง ได้คัดเลือกเฉพาะโรงงานที่ดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแล้วเสร็จจำนวน 174 แห่ง แบ่งตามมาตรฐานอุตสาหกรรม(ประเทศไทย) TSIC (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, บัญชีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม จำแนกตามกฎกระทรวง พ.ศ.2551) ดังนี้

ตาราง 3.1 จำนวนโรงงานที่ดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแล้วเสร็จ แบ่งตามประเภทของโรงงาน

หมวด	ประเภทอุตสาหกรรม	จำนวนโรงงาน(แห่ง)	จำนวนร้อยละ
3000	กลุ่มการผลิต	136	78
4000	กลุ่มการไฟฟ้า แก๊ส และการประปา	6	3
6000	กลุ่มการขนส่ง สถานที่เก็บสินค้าและคมนาคม	14	8
7000	กลุ่มตัวกลางทางการเงิน	2	1
8000	กลุ่มการศึกษา	8	5
9000	กลุ่มการใช้บริการชุมชน สังคมและบริการส่วนบุคคลอื่นๆ	8	5
	รวม	174	100

จากตาราง 3.1 พบว่า อุตสาหกรรมกลุ่มการผลิตมีจำนวนมากที่สุดถึง 136 แห่ง จากโรงงานที่ดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแล้วเสร็จทั้งหมด 174 แห่ง หรือคิดเป็นร้อยละ 78 ดังนั้น จึงคัดเลือกมาตรการอนุรักษ์พลังงานจากโรงงานควบคุมเฉพาะกลุ่มการผลิต 136 แห่งเท่านั้น

3.2 มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ใช้ในการศึกษา

มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ทำการศึกษานั้น คัดเลือกจากกลุ่มตัวอย่างในข้อ 3.1 เฉพาะกลุ่มการผลิต 136 แห่ง พบว่ามีมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานหลากหลาย จึงคัดเลือกเฉพาะมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพและมีข้อมูลเพียงพอต่อการคำนวณ แสดงดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 จำนวนประเภทมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพ

กลุ่มที่	ประเภทมาตรการอนุรักษ์พลังงาน	จำนวนโรงงาน(แห่ง)	จำนวนมาตรการที่มีประสิทธิภาพ
1	มาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ	26	6
2	มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	18	3
3	มาตรการการหุ้มฉนวนความร้อน	14	3
4	มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบ	11	3
5	มาตรการอื่นๆ ที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้	67	-
	รวม	136	15

จากตาราง 3.2 พบว่ามาตรการที่มีประสิทธิภาพและมีข้อมูลเพียงพอในการคำนวณ คัดเลือกได้ทั้งหมด 4 มาตรการ ดังนี้

มาตรการที่ 1 คือ มาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ

มาตรการที่ 2 คือ มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

มาตรการที่ 3 คือ มาตรการการหุ้มฉนวนความร้อน

มาตรการที่ 4 คือ มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบ

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษา ได้ทำการศึกษาต้นทุนและผลประหยัดพลังงานจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน โดยศึกษาข้อมูลปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ดังนี้

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) เก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลโดยตรง คือ เก็บข้อมูลจากโรงงานที่ผ่านการคัดเลือกเรียบร้อยแล้วในข้อ 3.1 และ 3.2
2. ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) ศึกษาข้อมูลจากเอกสาร ตำรา บทความทางวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ทำการศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลมาสนับสนุนการวิเคราะห์ รวมถึงต้นทุนและผลประหยัดพลังงานในการจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ศึกษาด้วย

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อศึกษาต้นทุนและผลประหยัดพลังงานในการจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่สนใจ ใช้เป็นแบบสอบถาม ซึ่งแบ่งแบบสอบถามเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 คำถามทั่วไปของผู้ตอบแบบสอนถาม

ส่วนที่ 2 คำถามรายละเอียดต้นทุนและผลประหยัดพลังงานของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน โดยแบ่งเป็น 4 ประเภท คือ มาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง มาตรการการหุ้มฉนวนความร้อน และมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบ ซึ่งเลือกกรอกแบบสอบถามเฉพาะในส่วนของมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ทางโรงงานนั้นๆ ดำเนินการจริงเท่านั้น

3.5 การประมาณค่าใช้จ่ายของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

การประมาณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนำมาจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากแบบสอบถามในข้อ 3.3 และ 3.4 ซึ่งนำข้อมูลดังกล่าวมาประมาณค่าใช้จ่ายแบ่งเป็น 2 ด้าน คือ ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานก่อนเริ่มทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ($LCC_{Base\ case}$) และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานหลังจากทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ($LCC_{มาตรการที่\ x}$) แล้วนำมาเปรียบเทียบเพื่อแสดงถึงผลประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งองค์ประกอบของต้นทุนในการจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน จะแบ่งตามสมการ LCC ดังนี้

$$LCC = I + Repl + E + OM\&R - Res$$

1. ค่า I (Initial Investment Cost) คือ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เป็นต้นทุนในการจัดหาหรือต้นทุนคงที่ ต้นทุนนี้เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นครั้งแรกของการลงทุน โดยจะไม่เกิดขึ้นอีกเมื่อเริ่มใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงาน และไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณการใช้พลังงาน ซึ่งประมาณใน 2 ด้าน คือ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งก่อนเริ่มทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ($I_{Base\ case}$) ถือว่าเป็นค่าพื้นฐานก่อน

เริ่มทำมาตรการ ดังนั้นมีค่าเท่ากับ 0 และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหลังจากทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ($I_{มาตรการที่\ x}$)สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$I = A1 + A2 + A3 + A4$$

โดยที่

1.1 ต้นทุนการพัฒนา (A1) รวบรวมจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง จากค่าใช้จ่ายในการพัฒนาโครงการ ค่าใช้จ่ายในการสำรวจตลาด ค่าใช้จ่ายในการทดลอง ค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องมือใช้ติดตั้ง ค่าวัสดุสิ้นเปลื้องในการทดลอง ค่าพลังงานในการทดลอง

1.2 ต้นทุนออกแบบ (A2) รวบรวมจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง จากค่าใช้จ่ายออกแบบ และค่าสิขสิทธิ์

1.3 ต้นทุนในการสร้างและติดตั้ง (A3) รวบรวมจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง จากค่าใช้จ่ายในการสร้าง ค่าหีบห่อบรรจุภัณฑ์ ค่าใช้จ่ายในการเก็บ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ค่าใช้จ่ายในการทำคู่มือความปลอดภัย ค่าอบรมผู้เดินเครื่อง ค่าใช้จ่ายในการจัดการอบรม ค่าวัสดุเตรียมการอบรม

1.4 ต้นทุนในการลองเดินเครื่อง (A4) รวบรวมจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง จากต้นทุนในการลองใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

2. ค่า Repl (Capital Replacement) คือ ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งประมาณใน 2 ด้าน คือ ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ก่อนเริ่มทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (**Repl** $_{Base\ \ case}$) และค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์หลังจากทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (**Repl** $_{มาตรการที่\ x}$) คำนวณจาก

Repl = [ราคาอุปกรณ์ต่อชุด(บาท) x จำนวนอุปกรณ์(ชุด)]+ค่าแรงในการติดตั้งมาตรการ(บาท)

3. ค่า OM&R (Operating, Maintenance and Repair) คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ, บำรุงรักษา, ซ่อมบำรุงระบบของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เป็นต้นทุนในการดูแลรักษาหรือต้นทุนในการดำเนินการ ต้นทุนนี้เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อเริ่มจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เกิดขึ้นเป็นค่าใช้จ่ายรายปี ซึ่งประมาณใน 2 ด้าน คือ ค่าใช้จ่ายก่อนเริ่มทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (**OM&R**$_{Base\ case}$) และค่าใช้จ่ายหลังจากทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (**OM&R**$_{มาตรการที่\ x}$) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$OM\&R = S1 + S2 + S3$$

โดยที่

3.1 ต้นทุนเดินเครื่อง (S1) รวบรวมจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง จากค่าแรงพนักงานเดินเครื่อง ค่าแรงพลังงานเกี่ยวข้อง ค่าเชื้อเพลิง ค่าวัสดุสิ้นเปลือง ค่าน้ำ ค่าอบรมพนักงงานเดินเครื่อง ค่าลิขสิทธิ์ และค่าใช้จ่ายอื่นๆ

3.2 ต้นทุนด้านความปลอดภัย (S2) รวบรวมจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง จากค่าบำรุงรักษาวัสดุและอะไหล่ ค่าพลังงานดูแลการบำรุงรักษา รายจ่ายด้านการบำรุงรักษา ค่าบำรุง และค่าอบรมพนักงานด้านความปลอดภัย

3.3 ต้นทุนสนับสนุน (S3) รวบรวมจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง จากค่าเก็บรักษาของในคลังสินค้า ค่าทำคู่มือมาตรฐานและแบบ ค่าสัญญาดูแลรักษา ค่าใช้จ่ายมาตรการป้องกันความปลอดภัย ค่าประกันความเสียหาย ภาษีสินทรัพย์ถาวร ภาษีรถยนต์ ค่าแรงพนังงานขาย ค่าใช้จ่ายการขาย ค่าใช้จ่ายในการบริการลูกค้า และต้นทุนด้านการประกันคุณภาพ

4. ค่า E (Energy Price) คือ ค่าไฟฟ้าหรือค่าใช้พลังงานทดแทนอื่นๆที่ใช้ในการเดินระบบของมาตราการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งประมาณใน 2 ด้าน คือ ค่าใช้จ่ายก่อนเริ่มทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ($E_{\text{Base case}}$) และค่าใช้จ่ายหลังจากทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ($E_{\text{มาตรการที่ x}}$) โดยแยกคำนวณตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานทั้ง 4 ประเภท ดังนี้

4.1 มาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ คำนวณจาก

พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการใช้หลอดไฟ (บาท/ปี)

= [(จำนวนหลอด x กำลังไฟฟ้า x เวลาการทำงาน)/1,000] x ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย(บาท/unit)

4.2 มาตรการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง คำนวณจาก

โหลดมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง(บาท/ปี)

= [ขนาดมอเตอร์(kW) / %ประสิทธิภาพมอเตอร์มาตรฐาน] x %การเปิดใช้งานชั่วโมงต่อวัน x จำนวนชั่วโมงต่อปี x ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย(บาท/kWh)

4.3 มาตรการหุ้มฉนวนความร้อน คำนวณจาก

ค่าความสูญเสียความร้อนตลอดปี (บาท/ปี)

= [ค่าความร้อนที่สูญเสีย(MJ/y) / ค่าความร้อนของน้ำมันเตาที่ประสิทธิภาพ 80%(MJ/y) / ประสิทธิภาพ 80%] x อัตราค่าน้ำมันเตา(บาท/ลิตร)

4.4 มาตรการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบ คำนวณจาก

พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ก่อน/หลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์ (บาท/ปี)

= กำลังไฟฟ้ามอเตอร์ (kWh/ปี) x ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)

5. ค่า Res (Residual Value) คือ มูลค่าซากของอุปกรณ์ที่นำมาติดตั้งในมาตราการอนุรักษ์พลังงานเมื่อสิ้นสุดอายุอุปกรณ์ รวบรวมจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง จากราคาขายทิ้ง และต้นทุนในการขจัดทิ้ง คำนวณจาก

Res = ราคาขายทิ้ง - ต้นทุนในการขจัดทิ้ง

3.6 การวิเคราะห์มูลค่าตลอดช่วงอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและผลประหยัดพลังงานหลังจากทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อวิเคราะห์ว่ามาตรการที่จัดทำขึ้นมีความคุ้มทุนหรือไม่ โดยคำนึงถึงค่าเสียโอกาสในรูปของอัตราส่วนลด (Discount rate) โดยมีการวิเคราะห์ด้านต่างๆ ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost: LCC)
2. การคำนวณผลประหยัดสุทธิ (Net Savings: NS)
3. อัตราส่วนผลประหยัดต่อการลงทุน (Savings to Investment Ratio: SIR)
4. อัตราการปรับตัวของผลตอบแทนภายใน (Adjusted Internal Rate Of Return: AIRR)
5. ระยะเวลาคืนทุนปกติ (Simple Payback Period: SPB) และระยะเวลาคืนทุนภายใต้อัตราคิดลด (Discounted Payback Period: DPB)

การวิเคราะห์ทั้ง 5 ด้านข้างต้น จะศึกษาทั้ง 4 มาตรการ คือ มาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ, มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง, มาตรการการหุ้มฉนวนความร้อน และ มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบ ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost: LCC)

เป็นการนำค่าใช้จ่ายที่ประมาณได้จากข้อ 3.5 ทั้ง 2 ด้าน คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงก่อนเริ่มทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นจริงหลังจากทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานแล้ว นำมาคำนวณตามวิธีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน ซึ่งคำนำนวณทั้ง 2 ด้าน คือ ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานก่อนเริ่มทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ($LCC_{Base\ \ case}$) และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานหลังจากทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานแล้ว ($LCC_{มาตรการที่\ x}$) ซึ่งสามารถแสดงสมการ LCC ของแต่ละมาตรการได้ดังนี้

มาตรการที่ 1: การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ

1.1 สมการพื้นฐานก่อนเริ่มมาตรการที่ 1

สมการต้นแบบ $LCC_{B1} = I_{B1} + Repl_{B1} + E_{B1} + OM\&R_{B1} - Res_{B1}$

สมการพื้นฐาน $(Base\ Case)_{B1}$: กรณีก่อนเริ่มมาตรการที่ 1 ซึ่งอยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$$LCC_{B1} = \sum_{t=0}^{n} \frac{[(A1 + A2 + A3 + A4) + [(P_E \times N_E) + W_E] + (Y_1 x Y_2) + (S1 + S2 + S3) + (Res_C - Res_R)]_{B1}}{(1+d)^t} \quad (23)$$

เมื่อ LCC_{B1} = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานก่อนใช้มาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ (บาท/ปี)

I_{B4} = ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมาตรการ ซึ่งสมการนี้เป็นสมการพื้นฐานก่อนเริ่มทำมาตรการ ดังนั้นถือว่าค่านี้มีค่าเท่ากับ 0 (บาท/ปี)

$Repl_{B1}$ = ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ในมาตรการที่ 1 (บาท/ปี) คำนวณจาก

P_E = ราคาหลอดไฟต่อชุด (บาท)

N_E = จำนวนหลอดไฟ (ชุด)

W_E = ค่าแรงในการติดตั้งหลอดไฟทั้งหมด (บาท)

$OM\&R_{B1}$ = ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ, บำรุงรักษา, ซ่อมบำรุงระบบของมาตรการที่ 1 (บาท/ปี) คำนวณจาก

S1 = ต้นทุนเดินเครื่องตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S2 = ต้นทุนด้านความปลอดภัยตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S3 = ต้นทุนสนับสนุนงานตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

E_{B1} = ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบ จากการใช้มาตราการที่ 1 ตลอดอายุของอุปกรณ์ (บาท/ปี) คำนวณจาก

Y1 = ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (Unit/ปี)

Y2 = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/Unit)

Res_{B1} = มูลค่าซากของมาตราการที่ 1 เมื่อสิ้นสุดอายุอุปกรณ์ (บาท/ปี) ได้จาก

ResR = ราคาขายทิ้ง (บาท)

ResC = ต้นทุนในการขจัดทิ้ง (บาท)

n = อายุการใช้งานทั้งระบบ (ปี)

1.2 สมการของมาตรการที่ 1: การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ

สมการต้นแบบ $LCC_1 = I_{o1} + Repl_1 + E_1 + OM\&R_1 - Res_1$

สมการมาตรการที่ 1 ซึ่งอยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$$LCC_1 = \sum_{t=0}^{n} \frac{[(A1 + A2 + A3 + A4) + [(P_E \times N_E) + W_E] + (Y_1 x Y_2) + (S1 + S2 + S3) + (Res_C - Res_R)]_1}{(1+d)^t} \quad (24)$$

เมื่อ LCC_1 = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของมาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ (บาท/ปี)

I_{o1} = ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมาตรการที่ 1 (บาท/ปี)

คำนวณจาก

A1 = ต้นทุนการพัฒนาตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

A2 = ต้นทุนออกแบบตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

A3 = ต้นทุนในการสร้างและติดตั้งตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

A4 = ต้นทุนในการลองเดินเครื่องตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

$Repl_1$ = ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ในมาตรการที่ 1 (บาท/ปี)

คำนวณจาก

P_E = ราคาหลอดไฟต่อชุด (บาท)

N_E = จำนวนหลอดไฟ (ชุด)

W_E = ค่าแรงในการติดตั้งหลอดไฟทั้งหมด (บาท)

$OM\&R_1$ = ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ, บำรุงรักษา, ซ่อมบำรุงระบบของมาตรการที่ 1 (บาท/ปี) คำนวณจาก

S1 = ต้นทุนเดินเครื่องตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S2 = ต้นทุนด้านความปลอดภัยตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S3 = ต้นทุนสนับสนุนงานตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

E_1 = ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบ จากการใช้มาตราการที่ 1 ตลอดอายุของอุปกรณ์ (บาท/ปี) คำนวณจาก

Y1 = ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (Unit/ปี)

Y2 = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/Unit)

Res_1 = มูลค่าซากของมาตราการที่ 1 เมื่อสิ้นสุดอายุอุปกรณ์ (บาท/ปี) ได้จาก

ResR = ราคาขายทิ้ง (บาท)

ResC = ต้นทุนในการขจัดทิ้ง (บาท)

n = อายุการใช้งานทั้งระบบ (ปี)

<u>มาตรการที่ 2: มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง</u>

2.1 สมการพื้นฐานก่อนเริ่มมาตรการที่ 2

สมการต้นแบบ $LCC_{B2} = I_{B2} + Repl_{B2} + E_{B2} + OM\&R_{B2} - Res_{B2}$

สมการพื้นฐาน $(Base\ Case)_{B2}$: กรณีก่อนเริ่มมาตรการที่ 2 ซึ่งอยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$$LCC_{B2} = \sum_{t=0}^{n} \frac{[(A1+A2+A3+A4)+[(P_M \times N_M)+W_M]+\left(\frac{Y_1}{Y_2} x Y_3 x Y_4 x Y_5\right)+(S1+S2+S3)+(Res_C - Res_R)]_{B2}}{(1+d)^t} \quad (25)$$

เมื่อ LCC_{B2} = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานก่อนใช้มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง(บาท/ปี)

I_{B2} = ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมาตรการ ซึ่งสมการนี้เป็นสมการพื้นฐานก่อนเริ่มทำมาตรการ ดังนั้นถือว่าค่านี้มีค่าเท่ากับ 0 (บาท/ปี)

$Repl_{B2}$ = ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ในมาตรการที่ 1 (บาท/ปี) คำนวณจาก

P_M = ราคามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงต่อชุด (บาท)

N_M = จำนวนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (ชุด)

W_M = ค่าแรงในการติดตั้งมอเตอร์ทั้งหมด (บาท)

$OM\&R_{B2}$= ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ, บำรุงรักษา, ซ่อมบำรุงระบบของมาตรการที่ 1 (บาท/ปี) คำนวณจาก

S1 = ต้นทุนเดินเครื่องตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S2 = ต้นทุนด้านความปลอดภัยตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S3 = ต้นทุนสนับสนุนงานตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

E_{B2} = ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบ จากการใช้มาตราการที่ 1 ตลอดอายุของอุปกรณ์ (บาท/ปี) คำนวณจาก

Y1 = ขนาดมอเตอร์ (kW)

Y2 = % ประสิทธิภาพมอเตอร์

Y3 = %โหลด หรือ % การเปิดใช้งานชั่วโมงต่อวัน

Y4 = จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี (ชม.ต่อปี)

Y5 = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/kWh)

Res_{B2} = มูลค่าซากของมาตราการที่ 1 เมื่อสิ้นสุดอายุอุปกรณ์ (บาท/ปี) ได้จาก

ResR = ราคาขายทิ้ง (บาท)

ResC = ต้นทุนในการขจัดทิ้ง (บาท)

n = อายุการใช้งานทั้งระบบ (ปี)

2.2 สมการของมาตรการที่ 2: สมการพื้นฐานก่อนเริ่มมาตรการที่ 2

สมการต้นแบบ $LCC_2 = I_{02} + Repl_2 + E_2 + OM\&R_2 - Res_2$

สมการมาตรการที่ 2 ซึ่งอยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$$LCC_2 = \sum_{t=0}^{n} \frac{[(A1+A2+A3+A4)+ [(P_M \times N_M)+ W_M]+\left(\frac{Y_1}{Y_2}xY_3xY_4xY_5\right)+ (S1+S2+S3)+ (Res_C - Res_R)]_2}{(1+d)^t} \quad (26)$$

เมื่อ LCC_2 = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของมาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (บาท/ปี)

I_{o2} = ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมาตรการที่ 2 (บาท/ปี)

คำนวณจาก

A1 = ต้นทุนการพัฒนาตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

A2 = ต้นทุนออกแบบตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

A3 = ต้นทุนในการสร้างและติดตั้งตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

A4 = ต้นทุนในการลองเดินเครื่องตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

$Repl_2$ = ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ในมาตรการที่ 2 (บาท/ปี)

คำนวณจาก

P_M = ราคามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงต่อชุด (บาท)

N_M = จำนวนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (ชุด)

W_M = ค่าแรงในการติดตั้งมอเตอร์ทั้งหมด (บาท)

$OM\&R_2$ = ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ, บำรุงรักษา, ซ่อมบำรุงระบบของมาตรการที่ 2 (บาท/ปี) คำนวณจาก

S1 = ต้นทุนเดินเครื่องตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S2 = ต้นทุนด้านความปลอดภัยตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S3 = ต้นทุนสนับสนุนงานตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

E_2 = ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบจากการใช้มาตราการที่ 2 ตลอดอายุของอุปกรณ์ (บาท/ปี)

คำนวณจาก

Y1 = ขนาดมอเตอร์ (kW)

Y2 = % ประสิทธิภาพมอเตอร์

Y3 = %โหลด หรือ % การเปิดใช้งานชั่วโมงต่อวัน

Y4 = จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี (ชม.ต่อปี)

Y5 = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/kWh)

Res_2 = มูลค่าซากของมาตราการที่ 2 เมื่อสิ้นสุดอายุอุปกรณ์(บาท/ปี) ได้จาก

ResR = ราคาขายทิ้ง (บาท)

ResC = ต้นทุนในการขจัดทิ้ง (บาท)

n = อายุการใช้งานทั้งระบบ (ปี)

<u>มาตรการที่ 3: มาตรการการหุ้นฉนวนความร้อน</u>

3.1 สมการพื้นฐานก่อนเริ่มมาตรการที่ 3

สมการต้นแบบ $LCC_{B3} = I_{B3} + Repl_{B3} + E_{B3} + OM\&R_{B3} - Res_{B3}$

สมการพื้นฐาน $(Base\ Case)_{B3}$: กรณีก่อนเริ่มมาตรการที่ 3 ซึ่งอยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$$LCC_{B3} = \sum_{t=0}^{n} \frac{[(A1+A2+A3+A4)+ [(P_H \times N_H)+ W_H]+[\left(\frac{Y1}{\frac{Y2}{Y3}}\right)xY4]+ (S1+S2+S3)+ (Res_C - Res_R)]_{B3}}{(1+d)^t} \quad (27)$$

เมื่อ LCC_{B3} = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานก่อนใช้มาตรการการหุ้มฉนวนความร้อน (บาท/ปี)

I_{B3} = ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมาตรการ ซึ่งสมการนี้เป็นสมการพื้นฐานก่อนเริ่มทำมาตรการ ดังนั้นถือว่าค่านี้มีค่าเท่ากับ 0 (บาท/ปี)

$Repl_{B3}$ = ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ในมาตรการที่ 3 (บาท/ปี)

คำนวณจาก

P_H = ราคาฉนวนกันความร้อนต่อเมตร (บาท)

N_H = ความยาวของฉนวนกันความร้อน (เมตร)

W_H = ค่าแรงในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนทั้งหมด (บาท)

$OM\&R_{B3}$= ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ, บำรุงรักษา, ซ่อมบำรุงระบบของมาตรการที่ 3 (บาท/ปี) คำนวณจาก

S1 = ต้นทุนเดินเครื่องตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S2 = ต้นทุนด้านความปลอดภัยตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S3 = ต้นทุนสนับสนุนงานตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

E_{B3} = ค่าการสูญเสียความร้อนที่ใช้ในการเดินระบบจากการใช้มาตราการที่ 3 ตลอดอายุของอุปกรณ์ (บาท/ปี) คำนวณจาก

Y1 = ค่าความร้อนที่สูญเสีย (MJ/ปี)

Y2 = ค่าความร้อนจากการเปรียบเทียบเป็นความร้อนของน้ำมันเตาที่ประสิทธิภาพ 80% เปิดตาราง (MJ/ลิตร)

Y3 = ค่าความร้อนของน้ำมันเตาที่ประสิทธิภาพ 80%

Y4 = อัตราค่าน้ำมันเตา (บาท/ลิตร)

Res_{B3} = มูลค่าซากของมาตราการที่ 2 เมื่อสิ้นสุดอายุอุปกรณ์(บาท/ปี) ได้จาก

ResR = ราคาขายทิ้ง (บาท)

ResC = ต้นทุนในการขจัดทิ้ง (บาท)

n = อายุการใช้งานทั้งระบบ (ปี)

3.2 สมการของมาตรการที่ 3: มาตรการการหุ้นฉนวนความร้อน

สมการต้นแบบ $LCC_3 = I_{o3} + Repl_3 + E_3 + OM\&R_3 - Res_3$

สมการมาตรการที่ 3 ซึ่งอยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$$LCC_3 = \sum_{t=0}^{n} \frac{[(A1+A2+A3+A4)+ [(P_H \times N_H)+ W_H]+[\left(\frac{\frac{Y1}{Y2}}{Y3}\right)xY4]+ (S1+S2+S3)+ (Res_C - Res_R)]_3}{(1+d)^t} \quad (28)$$

เมื่อ LCC_3 = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของมาตรการการหุ้มฉนวนความร้อน (บาท/ปี)

I_{o3} = ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมาตรการที่ 3 (บาท/ปี)

คำนวณจาก

A1 = ต้นทุนการพัฒนาตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

A2 = ต้นทุนออกแบบตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

A3 = ต้นทุนในการสร้างและติดตั้งตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

A4 = ต้นทุนในการลองเดินเครื่องตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

$Repl_3$ = ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ในมาตรการที่ 3 (บาท/ปี) คำนวณจาก

P_H = ราคาฉนวนกันความร้อนต่อเมตร (บาท)

N_H = ความยาวของฉนวนกันความร้อน (เมตร)

W_H = ค่าแรงในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนทั้งหมด (บาท)

$OM\&R_3$ = ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ, บำรุงรักษา, ซ่อมบำรุงระบบของมาตรการที่ 3 (บาท/ปี) คำนวณจาก

S1 = ต้นทุนเดินเครื่องตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S2 = ต้นทุนด้านความปลอดภัยตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S3 = ต้นทุนสนับสนุนงานตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

E_3 = ค่าการสูญเสียความร้อนที่ใช้ในการเดินระบบจากการใช้มาตราการที่ 3 ตลอดอายุของอุปกรณ์ (บาท/ปี) คำนวณจาก

Y1 = ค่าความร้อนที่สูญเสีย (MJ/ปี)

Y2 = ค่าความร้อนจากการเปรียบเทียบเป็นความร้อนของน้ำมันเตาที่ประสิทธิภาพ 80% เปิดตาราง (MJ/ลิตร)

Y3 = ค่าความร้อนของน้ำมันเตาที่ประสิทธิภาพ 80%

Y4 = อัตราค่าน้ำมันเตาเฉลี่ย (บาท/ลิตร)

Res_3 = มูลค่าซากของมาตราการที่ 2 เมื่อสิ้นสุดอายุอุปกรณ์(บาท/ปี) ได้จาก

ResR = ราคาขายทิ้ง (บาท)

ResC = ต้นทุนในการขจัดทิ้ง (บาท)

n = อายุการใช้งานทั้งระบบ (ปี)

<u>มาตรการที่ 4: มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์</u>

4.1 สมการพื้นฐานก่อนเริ่มมาตรการที่ 4

สมการต้นแบบ $LCC_{B4} = I_{B4} + Repl_{B4} + E_{B4} + OM\&R_{B4} - Res_{B4}$

สมการพื้นฐาน $(Base\ Case)_{B4}$: กรณีก่อนเริ่มมาตรการที่ 4 ซึ่งอยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$$LCC_{B4} = \sum_{t=0}^{n} \frac{[(A1 + A2 + A3 + A4) + [(P_I \times N_I) + W_I] + (Y1xY2x\,N_I) + (S1 + S2 + S3) + (Res_C - Res_R)]_{B4}}{(1+d)^t} \quad (29)$$

เมื่อ LCC_{B4} = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานก่อนใช้มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (บาท/ปี)

I_{B4} = ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมาตรการ ซึ่งสมการนี้เป็นสมการพื้นฐานก่อนเริ่มทำมาตรการ ดังนั้นถือว่าค่านี้มีค่าเท่ากับ 0 (บาท/ปี)

$Repl_{B4}$ = ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ในมาตรการที่ 4 (บาท/ปี)
คำนวณจาก

P_I = ราคาอินเวอร์เตอร์ต่อชุด (บาท)

N_i = จำนวนอินเวอร์เตอร์ (ชุด)

W_I = ค่าแรงในการติดตั้งอินเวอร์เตอร์รวมทุกชุด (บาท)

$OM\&R_{B4}$= ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ, บำรุงรักษา, ซ่อมบำรุงระบบของมาตรการที่ 4 (บาท/ปี) คำนวณจาก

S1 = ต้นทุนเดินเครื่องตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S2 = ต้นทุนด้านความปลอดภัยตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S3 = ต้นทุนสนับสนุนงานตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

E_{B4} = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบจากการใช้มาตราการที่ 4 ตลอดอายุของอุปกรณ์ (บาท/ปี) คำนวณจาก

Y1 = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ หลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์ (kWh/ปี)

Y2 = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)

Res_{B4} = มูลค่าซากของมาตราการที่ 4 เมื่อสิ้นสุดอายุอุปกรณ์ (บาท/ปี) คิดจาก

ResR = ราคาขายทิ้ง (บาท)

ResC = ต้นทุนในการขจัดทิ้ง (บาท)

n = อายุการใช้งานทั้งระบบ (ปี)

4.2 สมการของมาตรการที่ 4: มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

สมการต้นแบบ $LCC_4 = I_{o4} + Repl_4 + E_4 + OM\&R_4 - Res_4$

สมการมาตรการที่ 4 ซึ่งอยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$$LCC_4 = \sum_{t=0}^{n} \frac{[(A1 + A2 + A3 + A4) + [(P_I \times N_I) + W_I] + (Y1 x Y2 x N_I) + (S1 + S2 + S3) + (Res_C - Res_R)]_4}{(1+d)^t} \quad (30)$$

เมื่อ LCC_4 = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (บาท/ปี)

I_{o4} = ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมาตรการที่ 4 ตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท/ปี) คำนวณจาก

A1 = ต้นทุนการพัฒนาตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

A2 = ต้นทุนออกแบบตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

A3 = ต้นทุนในการสร้างและติดตั้งตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

A4 = ต้นทุนในการลองเดินเครื่องตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

$Repl_4$ = ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ในมาตรการที่ 4 (บาท/ปี) คำนวณจาก

P_I = ราคาอินเวอร์เตอร์ต่อชุด (บาท)

N_I = จำนวนอินเวอร์เตอร์ (ชุด)

W_I = ค่าแรงในการติดตั้งอินเวอร์เตอร์รวมทุกชุด (บาท)

$OM\&R_4$ = ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ, บำรุงรักษา, ซ่อมบำรุงระบบของมาตรการที่ 4 (บาท/ปี) คำนวณจาก

S1 = ต้นทุนเดินเครื่องตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S2 = ต้นทุนด้านความปลอดภัยตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

S3 = ต้นทุนสนับสนุนงานตลอดอายุอุปกรณ์ (บาท)

E_4 = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบจากการใช้มาตราการที่ 4 ตลอดอายุของอุปกรณ์ (บาท/ปี) คำนวณจาก

Y1 = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ หลังติดตั้งอินเวอร์เตอร์ (kWh/ปี)

Y2 = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)

Res_4 = มูลค่าซากของมาตราการที่ 4 เมื่อสิ้นสุดอายุอุปกรณ์ (บาท/ปี) คิดจาก

ResR = ราคาขายทิ้ง (บาท)

ResC = ต้นทุนในการขจัดทิ้ง (บาท)

n = อายุการใช้งานทั้งระบบ (ปี)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2. การคำนวณผลประหยัดสุทธิ (Net Savings: NS)

เป็นการคำนวณหาผลประหยัดสุทธิ ทำให้ทราบถึงผลประโยชน์ที่จะได้รับอย่างแท้จริงในอนาคตหลังจากที่ได้กำหนดมาตรการฯ โดยเทียบกับระบบฐานก่อนเริ่มมาตรการฯ ให้อยู่ในรูปของ

มูลค่าปัจจุบัน โดยแบ่งระบบที่ศึกษาออกเป็น 4 มาตรการ คือ มาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ, มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง, มาตรการการหุ้มฉนวนความร้อน และ มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบ ซึ่งสามารถแสดงสมการ NS ของแต่ละระบบได้ดังนี้

<u>มาตรการที่ 1: การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ</u>

สมการมาตรการที่ 1

$$NS_{1B} = LCC_{B1} - LCC_1 \quad (31)$$

เมื่อ

NS_{1B} = ผลประหยัดสุทธิของมาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ (1) เมื่อเทียบกับระบบฐาน(B) (บาท)

LCC_{B1} = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานก่อนใช้มาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ (บาท/ปี)

LCC_1 = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของมาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ (บาท/ปี)

<u>มาตรการที่ 2: มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง</u>

สมการมาตรการที่ 2

$$NS_{2B} = LCC_{B2} - LCC_2 \quad (32)$$

เมื่อ

NS_{2B} = ผลประหยัดสุทธิของมาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง(2) เมื่อเทียบกับระบบฐาน(B) (บาท)

LCC_{B2} = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานก่อนใช้มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (บาท/ปี)

LCC_2 = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของมาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (บาท/ปี)

<u>มาตรการที่ 3: มาตรการการหุ้นฉนวนความร้อน</u>

สมการมาตรการที่ 3

$$NS_{3B} = LCC_{B3} - LCC_3 \quad (33)$$

เมื่อ

NS_{3B} = ผลประหยัดสุทธิของมาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (3) เมื่อเทียบกับระบบฐาน(B) (บาท)

LCC_{B3} = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานก่อนใช้มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (บาท/ปี)

LCC_3 = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของมาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (บาท/ปี)

<u>มาตรการที่ 4: มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์</u>

สมการมาตรการที่ 4

$$NS_{4B} = LCC_{B4} - LCC_4 \qquad (34)$$

เมื่อ

NS_{4B} = ผลประหยัดสุทธิของมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (4) เมื่อเทียบกับระบบฐาน(B) (บาท)

LCC_{B4} = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานก่อนใช้มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (บาท/ปี)

LCC_4 = ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของมาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (บาท/ปี)

3. อัตราส่วนผลประหยัดต่อการลงทุน (Savings to Investment Ratio: SIR)

เป็นการหาอัตราส่วนผลประหยัดต่อการลงทุน เป็นการคำนวณประสิทธิภาพในการเดินระบบทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างผลประหยัดที่ได้กับต้นทุนที่ลงทุนเพิ่ม ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน โดยแบ่งระบบที่ศึกษาออกเป็น 4 มาตรการ คือ มาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ, มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง, มาตรการการหุ้มฉนวนความร้อน และ มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบ ซึ่งสามารถแสดงสมการ SIR ของแต่ละระบบได้ดังนี้

<u>มาตรการที่ 1: การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ</u>

สมการมาตรการที่ 1

$$SIR_{I:B} = \frac{\Delta E_1 + \Delta OM\&R_1}{\Delta I_1 + \Delta Repl_1 - \Delta Res_1} \qquad (35)$$

เมื่อ $SIR_{1:B}$ = อัตราผลประหยัดหลังจากใช้มาตราการที่ 1 เทียบกับค่าใช้ในการลงทุนของมาตรการระหว่างระบบฐาน กับระบบของมาตรการที่ 1 ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

ΔE_1 = $(E_{B1} - E_1)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานระหว่างมาตรการที่ 1(1) กับระบบฐาน(B1) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$\Delta OM\&R_1$ = $(OM\&R_{B1} - \Delta OM\&R_1)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานระหว่างมาตรการที่ 1 (1) กับระบบฐาน(B1) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

ΔI_1 = $(I_1 - I_{B1})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายติดตั้งมาตรการที่ 1(1)กับระบบฐาน (B1) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$\Delta Repl_1$ = $(Repl_1 - Rep_{B1})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ติดตั้งมาตรการที่ 1(1)กับระบบฐาน (B1) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

ΔRes_1 = $(Res_1 - Res_{B1})$ ผลต่างของมูลค่าซากที่ได้รับของมาตรการที่ 1(1)กับระบบฐาน (B1) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

<u>มาตรการที่ 2: มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง</u>

สมการมาตรการที่ 2

$$SIR_{2:B} = \frac{\Delta E_2 + \Delta OM\&R_2}{\Delta I_2 + \Delta Repl_2 - \Delta res_2} \qquad (36)$$

เมื่อ $SIR_{2:B}$ = อัตราผลประหยัดหลังจากใช้มาตราการที่ 2 เทียบกับค่าใช้ในการลงทุนของมาตรการ ระหว่างระบบฐาน กับระบบของมาตรการที่ 2 ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

ΔE_2 = $(E_{B2} - E_2)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานระหว่างมาตรการที่ 2(2) กับระบบฐาน(B2) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$\Delta OM\&R_2$ = $(OM\&R_{B2} - \Delta OM\&R_2)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานระหว่างมาตรการที่ 2 (2) กับระบบฐาน(B2) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

ΔI_2 = $(I_2 - I_{B2})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายติดตั้งมาตรการที่ 2(2)กับระบบฐาน (B2) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$\Delta Repl_2$ = $(Repl_2 - Rep_{B2})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ติดตั้งมาตรการที่ 2(2)กับระบบฐาน (B2) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

ΔRes_2 = $(Res_2 - Res_{B2})$ ผลต่างของมูลค่าซากที่ได้รับของมาตรการที่ 2(2) กับระบบฐาน (B2) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

มาตรการที่ 3: มาตรการการหุ้นฉนวนความร้อน

สมการมาตรการที่ 3

$$SIR_{3:B} = \frac{\Delta E_3 + \Delta OM\&R_3}{\Delta I_3 + \Delta Repl_3 - \Delta res_3} \quad (37)$$

เมื่อ $SIR_{3:B}$ = อัตราผลประหยัดหลังจากใช้มาตราการที่ 3 เทียบกับค่าใช้ในการลงทุนของมาตรการ ระหว่างระบบฐาน กับระบบของมาตรการที่ 3 ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

ΔE_3 = $(E_{B3} - E_3)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานระหว่างมาตรการที่ 3 (3) กับระบบฐาน (B3) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$\Delta OM\&R_3$ = $(OM\&R_{B3} - \Delta OM\&R_3)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานระหว่างมาตรการที่ 3 (3) กับระบบฐาน(B3) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

ΔI_3 = $(I_3 - I_{B3})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายติดตั้งมาตรการที่ 3 (3)กับระบบฐาน (B3)

$\Delta Repl_3$ = $(Repl_3 - Rep_{B3})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ติดตั้งมาตรการที่ 3 (3)กับระบบฐาน (B3) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

ΔRes_3 = $(Res_3 - Res_{B3})$ ผลต่างของมูลค่าซากที่ได้รับของมาตรการที่ 3 (3)กับระบบฐาน (B3) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

มาตรการที่ 4: มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

สมการมาตรการที่ 4

$$SIR_{4:B} = \frac{\Delta E_4 + \Delta OM\&R_4}{\Delta I_4 + \Delta Repl_4 - \Delta res_4} \quad (38)$$

เมื่อ $SIR_{4:B}$ = อัตราผลประหยัดหลังจากใช้มาตราการที่ 4 เทียบกับค่าใช้ในการลงทุนของมาตรการ ระหว่างระบบฐาน กับระบบของมาตรการที่ 4 ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

ΔE_4 = $(E_{B4} - E_4)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานระหว่างมาตรการที่ 4 (4) กับระบบฐาน (B4) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$\Delta OM\&R_4$ = $(OM\&R_{B4} - \Delta OM\&R_4)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานระหว่างมาตรการที่ 4 (4) กับระบบฐาน (B4) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

ΔI_4 = $(I_4 - I_{B4})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายติดตั้งมาตรการที่ 4 (4)กับระบบฐาน (B4) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

$\Delta Repl_4$ = ($Repl_4 - Rep_{B4}$) ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ติดตั้งมาตรการที่ 4 (4)กับระบบฐาน (B4) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

ΔRes_4 = ($Res_4 - Res_{B4}$) ผลต่างของมูลค่าซากที่ได้รับของมาตรการที่ 4 (4)กับระบบฐาน (B4) ในรูปของมูลค่าปัจจุบัน

4. อัตราการปรับตัวของผลตอบแทนภายใน (Adjusted Internal Rate Of Return: AIRR)

เป็นการหาอัตราการปรับตัวของผลตอบแทนภายในเพื่อวัดประสิทธิภาพของต้นทุนที่ลงทุนเพิ่ม เมื่อเทียบกับระบบฐานก่อนเริ่มเดิมระบบ ภายใต้อัตราคิดลดเดิมในรูปของมูลค่าปัจจุบัน โดยแบ่งระบบที่ศึกษาออกเป็น 4 มาตรการ คือ มาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ, มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง, มาตรการการหุ้มฉนวนความร้อน และ มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบ ซึ่งสามารถแสดงสมการ AIRR ของแต่ละระบบได้ดังนี้

<u>มาตรการที่ 1: การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ</u>

สมการมาตรการที่ 1

$$AIRR_1 = (1+r)(SIR_1)^{\frac{1}{N}} - 1 \qquad (39)$$

เมื่อ

$AIRR_1$ = อัตราการปรับตัวของผลตอบแทนภายในของมาตรการที่ 1

$SIR_{1:B}$ = อัตราผลประหยัดหลังจากใช้มาตราการที่ 1 เทียบกับค่าใช้ในการลงทุนของมาตรการ ระหว่างระบบฐาน กับระบบของมาตรการที่ 1

r = อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก โดยทั่วไปจะเท่ากับค่า (Minimum Acceptable Rate of Return: MARR)

n = จำนวนปีที่ศึกษา

<u>มาตรการที่ 2: มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง</u>

สมการมาตรการที่ 2

$$AIRR_2 = (1+r)(SIR_2)^{\frac{1}{N}} - 1 \qquad (40)$$

เมื่อ

$AIRR_2$ = อัตราการปรับตัวของผลตอบแทนภายในของมาตรการที่ 2

$SIR_{2:B}$ = อัตราผลประหยัดหลังจากใช้มาตราการที่ 2 เทียบกับค่าใช้ในการลงทุนของมาตรการ ระหว่างระบบฐาน กับระบบของมาตรการที่ 2

r = อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก โดยทั่วไปจะเท่ากับค่า
(Minimum Acceptable Rate of Return: MARR)

n = จำนวนปีที่ศึกษา

มาตรการที่ 3: มาตรการการหุ้นฉนวนความร้อน

สมการมาตรการที่ 3

$$AIRR_3 = (1+r)(SIR_3)^{\frac{1}{N}} - 1 \qquad (41)$$

เมื่อ

$AIRR_3$ = อัตราการปรับตัวของผลตอบแทนภายในของมาตรการที่ 3

$SIR_{3:B}$ = อัตราผลประหยัดหลังจากใช้มาตราการที่ 3 เทียบกับค่าใช้ในการลงทุนของมาตรการ ระหว่างระบบฐาน กับระบบของมาตรการที่ 3

r = อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก โดยทั่วไปจะเท่ากับค่า
(Minimum Acceptable Rate of Return: MARR)

n = จำนวนปีที่ศึกษา

มาตรการที่ 4: มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

สมการมาตรการที่ 4

$$AIRR_4 = (1+r)(SIR_4)^{\frac{1}{N}} - 1 \qquad (42)$$

เมื่อ

$AIRR_4$ = อัตราการปรับตัวของผลตอบแทนภายในของมาตรการที่ 4

$SIR_{4:B}$ = อัตราผลประหยัดหลังจากใช้มาตราการที่ 4 เทียบกับค่าใช้ในการลงทุนของมาตรการ ระหว่างระบบฐาน กับระบบของมาตรการที่ 4

r = อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก โดยทั่วไปจะเท่ากับค่า
(Minimum Acceptable Rate of Return: MARR)

n = จำนวนปีที่ศึกษา

5. ระยะเวลาคืนทุนปกติ (Simple Payback Period: SPB) และระยะเวลาคืนทุนภายใต้อัตราคิดลด (Discounted Payback Period: DPB)

เป็นการหาระยะเวลาคืนทุนทั้งแบบปกติและแบบภายใต้อัตราคิดลด โดยแบ่งระบบที่ศึกษาออกเป็น 4 มาตรการ คือ มาตรการการเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ, มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง, มาตรการการหุ้มฉนวนความร้อน และ มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบ ซึ่งสามารถแสดงสมการแต่ละระบบได้ดังนี้

สมการต้นแบบ

$$\sum_{t=1}^{y}\left(\frac{\Delta E_t + \Delta W_t + \Delta OM\&R_t - \Delta Repl_t + \Delta Res_t}{(1+d)^t}\right) \geq \Delta I_t$$

<u>มาตรการที่ 1: การเปลี่ยนชนิดหลอดไฟ</u>

สมการมาตรการที่ 1

$$\sum_{t=1}^{y}\left(\frac{\Delta E_{1t} + \Delta W_{1t} + \Delta OM\&R_{1t} - \Delta Repl_{1t} + \Delta Res_{1t}}{(1+d)^t_1}\right) \geq \Delta I_{1t} \qquad (43)$$

เมื่อ y = จำนวนปีที่น้อยที่สุดที่รวมผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับแต่ละปี ถึงปีที่ผลสะสมของผลตอบแทนสุทธิเท่ากับจำนวนเงินที่ลงทุน

t = ปีที่

ΔE_{1t} = $(E_{B1} - E_1)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานระหว่างมาตรการที่ 1(1) กับระบบฐาน(B1) ในปีที่ t

$\Delta OM\&R_{1t}$ = $(OM\&R_{B1} - \Delta OM\&R_1)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานระหว่างมาตรการที่ 1 (1) กับระบบฐาน(B1) ในปีที่ t

ΔI_{1t} = $(I_1 - I_{B1})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายติดตั้งมาตรการที่ 1(1)กับระบบฐาน (B1) ในปีที่ 0

$\Delta Repl_{1t}$ = $(Repl_1 - Rep_{B1})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ติดตั้งมาตรการที่ 1(1)กับระบบฐาน (B1) ในปีที่ t

ΔRes_{1t} = $(Res_1 - Res_{B1})$ ผลต่างของมูลค่าซากที่ได้รับของมาตรการที่ 1(1) กับระบบฐาน (B1) ในปีที่ t

d = อัตราส่วนลด (Discount Rate)

มาตรการที่ 2: มาตรการการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

สมการมาตรการที่ 2

$$\sum_{t=1}^{y}\left(\frac{\Delta E_{2t}+\Delta W_{2t}+\Delta OM\&R_{2t}-\Delta Repl_{2t}+\Delta Res_{2t}}{(1+d)^{t}{}_{2}}\right)\geq \Delta I_{2t} \qquad (44)$$

เมื่อ y = จำนวนปีที่น้อยที่สุดที่รวมผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับแต่ละปี ถึงปีที่ผลสะสมของผลตอบแทนสุทธิเท่ากับจำนวนเงินที่ลงทุน

t = ปีที่

ΔE_2 = $(E_{B2}-E_2)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานระหว่างมาตรการที่ 2(2) กับระบบฐาน(B2) ในปีที่ t

$\Delta OM\&R_2$ = $(OM\&R_{B2}-\Delta OM\&R_2)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานระหว่างมาตรการที่ 2 (2) กับระบบฐาน(B2) ในปีที่ t

ΔI_2 = (I_2-I_{B2}) ผลต่างของค่าใช้จ่ายติดตั้งมาตรการที่ 2(2)กับระบบฐาน (B2) ในปีที่ 0

$\Delta Repl_2$ = $(Repl_2-Rep_{B2})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ติดตั้งมาตรกาที่ 2(2)กับระบบฐาน (B2) ในปีที่ t

ΔRes_2 = (Res_2-Res_{B2}) ผลต่างของมูลค่าซากที่ได้รับของมาตรการที่ 2(2) กับระบบฐาน (B2)

d = อัตราส่วนลด (Discount Rate)

มาตรการที่ 3: มาตรการการหุ้นฉนวนความร้อน

สมการมาตรการที่ 3

$$\sum_{t=1}^{y}\left(\frac{\Delta E_{3t}+\Delta W_{3t}+\Delta OM\&R_{3t}-\Delta Repl_{3t}+\Delta Res_{3t}}{(1+d)^{t}{}_{3}}\right)\geq \Delta I_{3t} \qquad (45)$$

เมื่อ y = จำนวนปีที่น้อยที่สุดที่รวมผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับแต่ละปี ถึงปีที่ผลสะสมของผลตอบแทนสุทธิเท่ากับจำนวนเงินที่ลงทุน

t = ปีที่

ΔE_3 = $(E_{B3}-E_3)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานระหว่างมาตรการที่ 3 (3) กับระบบฐาน (B3) ในปีที่ t

$\Delta OM\&R_3$ = $(OM\&R_{B3} - \Delta OM\&R_3)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานระหว่างมาตรการที่ 3 (3) กับระบบฐาน(B3) ในปีที่ t

ΔI_3 = $(I_3 - I_{B3})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายติดตั้งมาตรการที่ 3 (3)กับระบบฐาน (B3)ในปีที่ 0

$\Delta Repl_3$ = $(Repl_3 - Rep_{B3})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ติดตั้งมาตรการที่ 3 (3)กับระบบฐาน (B3) ในปีที่ t

ΔRes_3 = $(Res_3 - Res_{B3})$ ผลต่างของมูลค่าซากที่ได้รับของมาตรการที่ 3 (3) กับระบบฐาน (B3)

d = อัตราส่วนลด (Discount Rate)

<u>มาตรการที่ 4: มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์</u>

สมการมาตรการที่ 4

$$\sum_{t=1}^{y} \left(\frac{\Delta E_{4t} + \Delta W_{4t} + \Delta OM\&R_{4t} - \Delta Repl_{4t} + \Delta Res_{4t}}{(1+d)^{t}_{4}} \right) \geq \Delta I_{4t} \qquad (46)$$

เมื่อ y = จำนวนปีที่น้อยที่สุดที่รวมผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับแต่ละปี ถึงปีที่ผลสะสมของผลตอบแทนสุทธิเท่ากับจำนวนเงินที่ลงทุน

t = ปีที่

ΔE_4 = $(E_{B4} - E_4)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานระหว่างมาตรการที่ 4 (4) กับระบบฐาน (B4) ในปีที่ t

$\Delta OM\&R_4$ = $(OM\&R_{B4} - \Delta OM\&R_4)$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานระหว่างมาตรการที่ 4 (4) กับระบบฐาน (B4) ในปีที่ t

ΔI_4 = $(I_4 - I_{B4})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายติดตั้งมาตรการที่ 4 (4)กับระบบฐาน (B4) ในปีที่ 0

$\Delta Repl_4$ = $(Repl_4 - Rep_{B4})$ ผลต่างของค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ติดตั้งมาตรการที่ 4 (4)กับระบบฐาน (B4) ในปีที่ t

ΔRes_4 = $(Res_4 - Res_{B4})$ ผลต่างของมูลค่าซากที่ได้รับของมาตรการที่ 4 (4) กับระบบฐาน (B4) ในปีที่ t

d = อัตราส่วนลด (Discount Rate)