บทที่ 3

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจและเครื่องมือในการประเมินวัฏจักรชีวิตมาใช้อย่างผสมผสานกัน เพื่อพัฒนาทางด้านสิ่งแวดล้อมของหอผึ่งเย็นในประเทศไทย

ผลิตภัณฑ์ที่ทำการวิจัย

หอผึ่งเย็น (Cooling tower) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากน้ำที่ผ่านการใช้งานที่คอนเดนเซอร์ (Condenser) ในระบบทำความเย็น โดยการจัดช่องทางให้อากาศเข้าทางด้านล่างและระบายออกทางด้านบนสวนทางกับน้ำอุณหภูมิสูงจากคอนเดนเซอร์ซึ่งถูกปั๊มขึ้นไปยังด้านบนของหอผึ่งเย็นและถูกฉีดผ่านหัวฉีดกระจายน้ำ (Sprinkler) ตกลงมาด้านล่างผ่านแผ่นรังผึ้ง (Filler) ซึ่งทำจาก PVC ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำและอากาศทำให้น้ำมีอุณหภูมิต่ำลงก่อนนำกลับมาหมุนเวียนใช้งานใหม่ และเนื่องจากอากาศเคลื่อนที่สวนทางกับน้ำจึงเกิดแรงต้านในการเคลื่อนที่มากจึงต้องใช้มอเตอร์และพัดลมในการดูดอากาศขึ้นไป โดยปกติหอผึ่งเย็นจะติดตั้งอยู่ในระดับสูงกว่าคอนเดนเซอร์ โดยเฉพาะที่ใช้กับอาคารสูงในเขตเมืองจะติดตั้งหอผึ่งเย็นไว้ที่ชั้นบนสุดของอาคาร เพื่อให้สามารถระบายความร้อนได้ดี ลดปัญหาเรื่องฝุ่นละอองในอากาศซึ่งจะทำให้น้ำสกปรก ปัญหาเรื่องเสียงและความชื้นที่เกิดขึ้นจากการทำงานของหอผึ่งเย็นกับบริเวณใกล้เคียง

1. ส่วนประกอบของหอผึ่งเย็น

1.1 **โครงสร้าง** (Structure) เป็นส่วนประกอบที่มีน้ำหนักมากที่สุดของหอผึ่งเย็น

1.2 **วัสดุหุ้ม** (Casing) เป็นส่วนกระกอบที่ปกป้องสิ่งแปลกปลอมเข้าไปปะปนในหอผึ่งเย็นและป้องกันการรั่วไหลของน้ำ

1.3 **หัวฉีดกระจายน้ำ** (Sprinkler) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ฉีดกระจายน้ำออกไปรอบด้านเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบการพาความร้อน ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{Q}_{Conv} = hA\left(T_s - T_\infty\right) \qquad (3.1)$$

โดยที่ $\dot{Q}_{Conv}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (W)

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($\frac{W}{m^2 \cdot °C}$)

A = พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (m^2)

T_s = อุณหภูมิที่ผิวสัมผัส (°C)

T_∞ = อุณหภูมิของของไหล (°C)

1.4 **มอเตอร์** (Motor) เนื่องจากในหอผึ่งเย็นที่ทำการวิจัยใช้แรงดูดกลจากมอเตอร์ที่ทำหน้าที่หมุนใบพัดเพื่อจะดูดอากาศให้ลอยขึ้นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่ตกลงมา

1.5 **ใบพัด** (Fan) ใบพัดทำหน้าที่ร่วมกับมอเตอร์ในการดูดอากาศให้ลอยตัวขึ้น

1.6 **แผ่นรังผึ้ง** (PVC Filler) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศและน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งควรจะมีคุณสมบัติที่แข็งแรง เบา และทนทาน

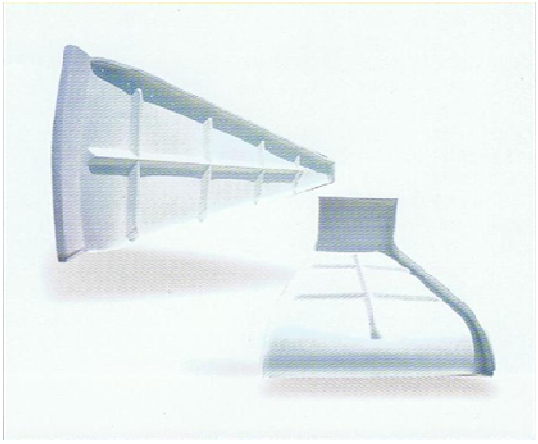
ซึ่งส่วนประกอบทั้ง 6 นี้ได้แสดงดังในภาพประกอบที่ 3.1 และ 3.2

ภาพประกอบที่ 3.1

ส่วนประกอบของหอผึ่งเย็น 1

โครงสร้าง

(Structure)



วัสดุหุ้ม

(Fiber reinforce plastic)

หัวฉีดกระจายน้ำ

(Sprinkler)

ภาพประกอบที่ 3.2

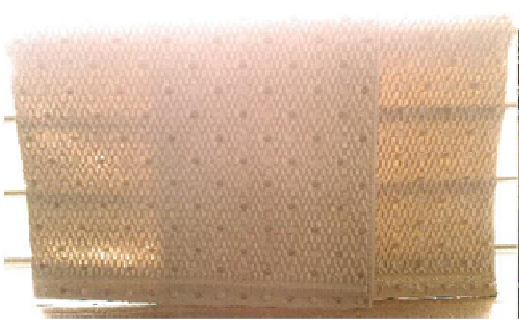
ส่วนประกอบของหอผึ่งเย็น 2

มอเตอร์

(Motor)

ใบพัด

(Fan)



แผ่นรังผึ้ง

(Filler)

2. ปริมาณน้ำที่สูญเสียในหอผึ่งเย็น

ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากการระเหย (Evaporating loss) คือการสูญเสียน้ำเนื่องจากการทำงาน ซึ่งน้ำส่วนหนึ่งจะกลายเป็นไอและถูกอากาศพาออกจากหอผึ่งเย็น โดยปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระเหยปกติจะมีค่าประมาณ 1% ของปริมาณน้ำที่หมุนเวียนในระบบซึ่งจะสามารถลดอุณหภูมิของน้ำในหอผึ่งเย็นได้ประมาณ 10°F การหาปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากการระเหยสามารถทำได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$GPM_e = \frac{TR \times h_{rf} \times 24}{h_{fg}} \qquad (3.2)$$

โดยที่ GPM_e (Evaporating loss) = ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (แกลลอน/นาที)

TR (ton of refrigeration) = ขนาดเครื่องทำความเย็น (ตันความเย็น)

h_{rf} (heat rejection factor) = แฟกเตอร์ของความร้อนที่ต้องระบายออก

h_{fg} (latent heat of vaporization) = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (Btu/pound)

24 = ค่าคงที่เพื่อใช้ในการแปลงหน่วย $= \frac{200}{3.7854 \times 2.205}$

โดยที่ การแปลงหน่วย 200 Btu/นาที = 1 ตันความเย็น

3.7854 ลิตร = 1 แกลลอน

2.205 ปอนด์ = 1 ลิตร

ซึ่งแฟกเตอร์ของความร้อนที่ต้องระบายออกสามารถหาได้จาก ตารางที่ 3.1 หรือ 3.2

ตารางที่ 3.1

แฟกเตอร์ของค่าความร้อนที่ต้องระบายออกที่คอนเดนเซอร์

สำหรับคอมเพรสเซอร์แบบเปิด

Evaporator Temp. (F°)	Condensing Temperature (F°)					
	90	100	110	120	130	140
-30	1.37	1.42	1.47	-	-	-
-20	1.33	1.37	1.42	1.47	-	-
-10	1.28	1.32	1.37	1.42	1.47	-
0	1.24	1.28	1.32	1.37	1.41	1.47
10	1.21	1.24	1.28	1.32	1.36	1.42
20	1.17	1.20	1.24	1.28	1.32	1.37
30	1.14	1.17	1.20	1.24	1.27	1.32
40	1.12	1.15	1.17	1.20	1.23	1.28
50	1.09	1.12	1.14	1.17	1.20	1.24

ที่มา: “การทำความเย็นและการปรับอากาศ”, โดย ชูชัย ต.ศิริวัฒนา, ตารางที่ 9.6, น. 195

ตารางที่ 3.2

แฟกเตอร์ของค่าความร้อนที่ต้องระบายออกที่คอนเดนเซอร์

สำหรับคอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด

Evaporator Temp. (F°)	Condensing Temperature (F°)					
	90	100	110	120	130	140
-40	1.66	1.73	1.80	2.00	-	-
-30	1.57	1.62	1.68	1.80	-	-
-20	1.49	1.53	1.58	1.65	-	-
-10	1.42	1.46	1.50	1.57	1.64	-
0	1.36	1.40	1.44	1.50	1.56	1.62
5	1.33	1.37	1.41	1.46	1.52	1.59
10	1.31	1.34	1.38	1.43	1.49	1.55

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

Evaporator Temp. (F°)	Condensing Temperature (F°)					
	90	100	110	120	130	140
15	1.28	1.32	1.35	1.40	1.46	1.52
20	1.26	1.29	1.33	1.37	1.43	1.49
25	1.24	1.27	1.31	1.35	1.40	1.45
30	1.22	1.25	1.28	1.32	1.37	1.42
40	1.18	1.21	1.24	1.27	1.31	1.35
50	1.14	1.47	1.20	1.23	1.26	1.29

ที่มา: “การทำความเย็นและการปรับอากาศ”, โดย ชูชัย ต.ศิริวัฒนา, ตารางที่ 9.7, น. 195

ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากถูกอากาศพัดพา (Windage loss) คือ การสูญเสียน้ำเนื่องจากน้ำถูกปั๊มขึ้นด้านบนของหอผึ่งเย็นและถูกฉีดให้เป็นหยดน้ำเล็กๆ เมื่ออากาศไหลผ่านจะพัดพาน้ำส่วนหนึ่งออกจากหอผึ่งเย็น ปริมาณน้ำสูญเสียจะขึ้นอยู่กับแบบของหอผึ่งเย็นและความเร็วของลมที่ผ่าน สำหรับหอผึ่งเย็นที่ใช้พัดลมช่วยระบายความร้อนซึ่งนิยมใช้ทั่วไปจะมีปริมาณน้ำสูญเสียไปกับอากาศที่ผ่านประมาณ 0.1-0.3% ของปริมาณน้ำที่หมุนเวียนในระบบ

ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากการระบายทิ้ง (Bleed off) คือ ปริมาณน้ำที่สูญเสียโดยความตั้งใจเนื่องจากน้ำที่หมุนเวียนใช้งานในหอผึ่งความเย็นส่วนหนึ่งระเหยไป ทำให้ปริมาณของสารละลายและแร่ธาตุต่างๆที่ปนอยู่ในน้ำมีความเข้มข้นขึ้น ทำให้เกิดตะกรันหรือเกิดการกัดกร่อนภายในระบบ จึงต้องมีการระบายน้ำทิ้งขึ้นอยู่กับอัตราการระเหยของน้ำในหอผึ่งเย็น ซึ่งพิจารณาได้จากค่าอุณหภูมิของน้ำที่ลดลง โดยทั่วไปใช้ค่าประมาณ 0.3% ของปริมาณน้ำที่หมุนเวียนในระบบ

วิธีการในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะเป็นการประยุกต์ใช้การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ โดยได้มีการประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตมาเป็นเครื่องมือในการหาปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนการวิจัย

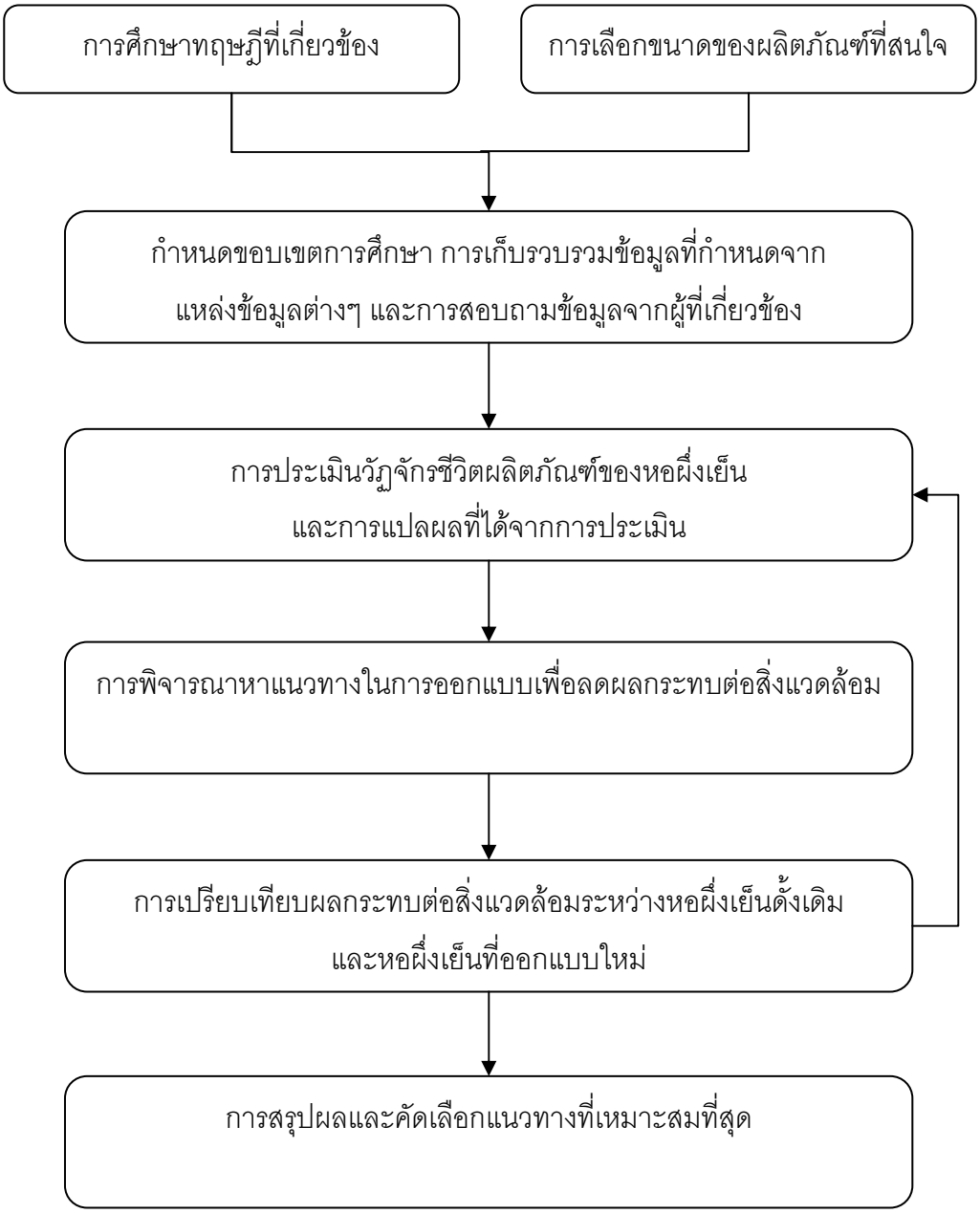
การประยุกต์ใช้หลักการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจและการประเมินวัฏจักรชีวิตมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีขั้นตอนระเบียบวิธีการศึกษาวิจัยในภาพรวมอันประกอบไปด้วย

1. การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. การเลือกขนาดของผลิตภัณฑ์ที่สนใจ
3. การกำหนดขอบเขตการศึกษา การเก็บรวบรวมข้อมูลที่กำหนดจากแหล่งข้อมูลต่างๆ และการสำรวจข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้อง
4. การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของหอผึ่งเย็นตัวอย่างและการแปลผลที่ได้จากการประเมิน
5. การพิจารณาหาแนวทางการออกแบบเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
6. การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างหอผึ่งเย็นดั้งเดิมและหอผึ่งเย็นที่ออกแบบใหม่
7. การสรุปผลและคัดเลือกแนวทางที่เหมาะสม

กรอบแนวทางวิธีการศึกษาวิจัยสามารถสรุปให้เห็นได้ดังภาพประกอบที่ 3.3

ภาพประกอบที่ 3.3

แนวทางวิธีการศึกษาวิจัย



1. **การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาทฤษฎีการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิต ทฤษฎีการทำงานและส่วนประกอบของหอผึ่งเย็น

2. **การเลือกขนาดของผลิตภัณฑ์ที่สนใจ**

ขั้นตอนการเลือกขนาดของผลิตภัณฑ์ที่สนใจในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเลือกหอผึ่งเย็นชนิด Counter flow ขนาด 400 ตันความเย็นที่มียอดขายสูงที่สุดของบริษัท ซึ่งเมื่อมียอดขายสูงที่สุดแล้วปริมาณการผลิตและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก็จะมีมากขึ้นตามไปด้วย

3. **การกำหนดขอบเขตการศึกษา การเก็บรวบรวมข้อมูลที่กำหนดจากแหล่งข้อมูลต่างๆ และการสำรวจข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้อง**

ขั้นตอนการกำหนดขอบเขตการศึกษาวิจัยในงานวิจัยนี้ เริ่มต้นจากการกำหนดกลุ่มเป้าหมายในการศึกษาวิจัย กำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย รวมถึงการกำหนดขอบเขตของข้อมูลที่ต้องการเก็บรวบรวมเพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งผลิตภัณฑ์เป้าหมายสำหรับงานวิจัยนี้คือ หอผึ่งเย็นชนิด counter flow ขนาด 400 ตันความเย็น ซึ่งโรงงานผลิตตั้งอยู่ในจังหวัดปทุมธานี โดยมีวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยเพื่อศึกษากระบวนการผลิตและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของหอผึ่งเย็น พร้อมทั้งหาแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้หลักการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจและเครื่องมือในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นเครื่องมือในการศึกษา ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มีการจำกัดขอบเขตข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการเก็บรวบรวมเพื่อนำมาทำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหอผึ่งเย็นจากโรงงานโดยตรง และเลือกพิจารณาเฉพาะผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global warming) เท่านั้น

ขั้นตอนถัดจากการกำหนดขอบเขตการศึกษา คือขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน การจัดการหลังหมดอายุการใช้งานของหอผึ่งเย็นตัวอย่างทั้งข้อมูลขาเข้าและขาออก รวมทั้งการสำรวจข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยข้อมูลการขนส่งครอบคลุมจากโรงงานผลิตไปยังสถานที่ติดตั้งเท่านั้น

4. **การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของหอผึ่งเย็นตัวอย่างและการแปลผลที่ได้จากการประเมิน**

ขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของหอผึ่งเย็นตัวอย่างและแปรผลที่ได้จากการประเมินในงานวิจัยนี้ ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1

วิธี CML 2000 v2.4 เข้ามาช่วยในการประเมิน ซึ่งจะจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกเป็นหลายๆด้านด้วยกันดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและหน่วยเทียบเท่า

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	หน่วยเทียบเท่า
Abiotic depletion	kg Sb_{eq}
Acidification	kg $SO_{2,eq}$
Eutrophication	kg $PO_{4,eq}$
Global warming	kg $CO_{2,eq}$
Ozone layer depletion	kg CFC-11_{eq}
Human toxicity	kg 1,4 DB_{eq}
Fresh water aquatic ecotoxicity	kg 1,4 DB_{eq}
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4 DB_{eq}
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4 DB_{eq}
Photochemical oxidation	kg $C_2H_{4,eq}$

ที่มา: CML 2000 manual

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรสำหรับงานวิจัยนี้จะครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการหลังหมดอายุการใช้งาน โดยพิจารณาการขนส่งครอบคลุมตั้งแต่ออกจากโรงงานผลิตจนถึงสถานที่ติดตั้ง และพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำครอบคุลมเฉพาะระหว่างการใช้งาน และสนใจเฉพาะผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน (Global warming) เท่านั้น

5. การพิจารณาหาแนวทางการออกแบบเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนการพิจารณาหาแนวทางการออกแบบเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้ โดยการประยุกต์ใช้กลยุทธ์ในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจกับผลการประเมินวัฏจักรชีวิต กฎระเบียบต่างๆ และความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาพิจารณาหาแนวทางในการออกแบบที่จะส่งผลให้วัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นมีผลกระทบลดลง กลยุทธ์ที่ประยุกต์ใช้มีดังนี้

3.1 **กลยุทธ์ที่เกี่ยวกับวัตถุดิบ** (Raw material)

1. การเลือกใช้วัตถุดิบให้เหมาะสมทั้งในด้านปริมาณและคุณสมบัติ
2. การเลือกใช้วัตถุดิบที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

3.2 **กลยุทธ์ที่เกี่ยวกับการผลิต** (Manufacture)

1. การลดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต
2. การใช้วัตถุดิบให้เกิดผลสูงสุด

3.3 **กลยุทธ์ที่เกี่ยวกับการขนส่ง** (Transportation)

1. การลดขนาดและน้ำหนักแพ็คเกจ
2. การขนส่งที่มีประสิทธิภาพ

3.4 **กลยุทธ์ที่เกี่ยวกับการใช้งาน** (Use)

1. การทำให้เกิดการใช้งานได้มีประสิทธิผลสูงขึ้น
2. การลดปริมาณพลังงานหรือวัสดุระหว่างการใช้งาน
3. การหลีกเลี่ยงการเกิดของเสีย
4. การออกแบบให้บำรุงรักษาได้สะดวกขึ้น
5. การออกแบบให้ซ่อมบำรุงได้สะดวกขึ้น
6. การเพิ่มความทนทาน
7. การเพิ่มฟังก์ชั่นการใช้งาน

3.5 **กลยุทธ์ที่เกี่ยวกับการจัดการหลังหมดอายุการใช้งาน** (End-of-life management)

1. การออกแบบให้แยกชิ้นส่วนได้สะดวกขึ้น
2. การใช้ซ้ำ
3. การนำกลับมาใช้ใหม่

6. การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างหอผึ่งเย็นดั้งเดิมและหอผึ่งเย็นที่ออกแบบใหม่

ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนระหว่างหอผึ่งเย็นดั้งเดิมและหอผึ่งเย็นที่ออกแบบใหม่ในงานวิจัยนี้โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เกี่ยวเนื่องกับส่วนที่ออกแบบใหม่และนำไปเปรียบเทียบกับผลการประเมินวัฏจักรชีวิตในส่วนเดียวกันของหอผึ่งเย็นดั้งเดิมรวมทั้งการพิจารณาผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนโดยรวมหลังจากการออกแบบใหม่

7. **การสรุปผลและคัดเลือกแนวทางที่เหมาะสม**

ขั้นตอนการสรุปผลและคัดเลือกแนวทางที่เหมาะสม คือการสรุปผลและนำไปเสนอแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อพิจารณาความเป็นไปได้และคัดเลือกแนวทางที่เหมาะสม ซึ่งจะต้องสามารถนำไปปฏิบัติได้