การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจของหอผึ่งเย็น: กรณีศึกษาของ SMEs ในประเทศไทย

โดย

นายสมภพ ลิขิตวรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2552

การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจของหอผึ่งเย็น: กรณีศึกษาของ SMEs ในประเทศไทย

โดย

นายสมภพ ลิขิตวรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2552

Environmental product design of cooling tower: SMEs case study in Thailand

By

Mr. Sompob Likhitvorakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Thammasat University

2009

บทคัดย่อ

ภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่มีการพิจารณากันอย่างกว้างขวางในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาอันเป็นผลสืบเนื่องจากการเพิ่มขึ้นอย่างมากของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆซึ่งเปรียบเสมือนสัญญาขอความช่วยเหลือที่ธรรมชาติส่งออกมา ดังนั้นจึงควรมีการร่วมมือกันเพื่อลดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ เพื่อการดำรงคงอยู่ของมนุษยชนสืบไป ในภาคอุตสาหกรรมและอาคารขนาดใหญ่มีการใช้งานหอผึ่งเย็นเป็นส่วนประกอบหลักในระบบปรับความเย็น แต่อย่างไรก็ตามหอผึ่งเย็นไม่ได้มีการพัฒนาใดๆมากนักในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา แต่ส่วนประกอบและอัตราการใช้พลังงานก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการใช้วัตถุดิบที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมน้อยและการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพต่ำ การจะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้จึงนำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA) ได้มาใช้ในการระบุขั้นตอนและประเมินผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนของหอผึ่งเย็น และประยุกต์ใช้การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผนวกแนวคิดด้านสิ่งแวดล้อมเข้าไปในขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อปรับปรุงในด้านสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนต่างๆของวัฏจักรชีวิต ซึ่งจากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นขนาด 400 ตันความเย็นมีการปลดปล่อยเป็นปริมาณ 378,277.09 kg $CO_{2,eq}$ และจากการประยุกต์ใช้การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจการเปลี่ยนไปใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลงได้ถึง 18,979.65 kg $CO_{2,eq}$ เปรียบเทียบกับการใช้มอเตอร์มาตรฐาน, การเปลี่ยนวัตถุดิบของ filler ผสมผสานกับการใช้โอโซนกำจัดตระกรันจะสามารถลดผลกระทบลงได้สูงสุดถึง 9,885.61 kg $CO_{2,eq}$ เปรียบเทียบกับการใช้ PVC เป็นวัตถุดิบและการเปลี่ยนวัตถุดิบของใบพัดจะสามารถลดผลกระทบลงได้สูงสุดถึง 118,160.78 kg $CO_{2,eq}$ เปรียบเทียบกับการใช้ Aluminum alloy เป็นวัตถุดิบ

Abstract

Global warming issues has become critical topic throughout in the last decade due to the dramatically increasing of CO_2 and its equivalent caused many usually phenomenon as a S.O.S. signal from nature, it is not in the situation that "Take action, or just let it be?" but people from all around the world must be cooperate together to reduce the increasing of CO_2 and its equivalent for sustain their own life and their descendant. In almost industrial sector and large building sector they use cooling tower as a main component for refrigeration system. Even though it's had a few developments in the last decade but its components and energy used have a lot of impact on the environment due to non-environmental friendly materials and low power efficiency equipments. To achieve this, a Life Cycle Assessment (LCA) method was used to identify and quantify the Global warming impact of cooling tower. Eco-design or Design for Environment (DfE) is the systematic design method which incorporates environmental issue into the product design and development for improvement of product environmental characteristics at many stages of product life cycle. The result of cooling tower's life cycle assessment model HR-S-400RT cause 378,277.09 kg $CO_{2,eq}$, from the point of view of global warming the change standard motor to high efficiency motor could be reduced global warming impact 18,979.65 kg $CO_{2,eq}$ compared to prototype. The change filler's material together with ozone use to scale prevention could be reduced global warming impact up to 9,885.61 kg $CO_{2,eq}$ compared to prototype. And the change fan's material could be reduced up to 118,160.78 kg $CO_{2,eq}$ compared to prototype.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยความร่วมมือจากทุกๆฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร. หาญพล พึ่งรัศมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งคอยให้คำแนะนำดีๆและชี้แนะแนวทางและจุดประกายในการแก้ปัญหาต่างๆในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย วิจิตรเสถียร อาจารย์ ดร. วรรัตน์ ปัตรประกร และอาจารย์ ดร. วรณี แพ่งจันทึก ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ขอบคุณ คุณแสงชัย ธีรกุลวาณิชและผู้ร่วมงานที่เอื้อเฟื้อและให้ความช่วยเหลือต่างๆในการทำวิจัย สุดท้ายนี้ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโทสาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือเสมอมา

นายสมภพ ลิขิตวรกุล
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2552

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... (1)

Abstract ..... (2)

กิตติกรรมประกาศ ..... (3)

สารบัญตาราง ..... (7)

สารบัญภาพประกอบ ..... (8)

บทที่

1. บทนำ 1

    1.1 ความสำคัญของปัญหาและที่มาของปัญหา 1
    1.2 วัตถุประสงค์ 3
    1.3 สมมุติฐานการศึกษา 3
    1.4 ขอบเขตการศึกษา 3
    1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 4

2. ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆที่เกี่ยวข้อง 5

    2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต 5
    2.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 10
    2.3 วิธีการ CML 10
    2.4 ศักยภาพในการดูดกลืนความร้อน 11
    2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 12

สารบัญ (ต่อ)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหอผึ่งเย็น..... 19

3. วิธีการวิจัย..... 20

3.1 ผลิตภัณฑ์ที่ทำการวิจัย..... 20
3.1.1 ส่วนประกอบของหอผึ่งเย็น..... 20
3.1.2 ปริมาณน้ำที่สูญเสียในหอผึ่งเย็น..... 24
3.2 วิธีการในการวิจัย..... 27
3.2.1 ขั้นตอนการวิจัย..... 27
3.2.1.1 การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 29
3.2.1.2 การเลือกขนาดของผลิตภัณฑ์ที่สนใจ..... 29
3.2.1.3 การกำหนดขอบเขตการศึกษา, การเก็บรวบรวมข้อมูลที่กำหนดจากแหล่งข้อมูลต่างๆและการสำรวจข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้อง..... 29
3.2.1.4 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของหอผึ่งเย็นตัวอย่างและการแปลผลที่ได้จากการประเมิน..... 29
3.2.1.5 การพิจารณาหาแนวทางการออกแบบเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม..... 30
3.2.1.6 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างหอผึ่งเย็นดั้งเดิมและหอผึ่งเย็นที่ออกแบบใหม่..... 31
3.2.1.7 การสรุปผลและคัดเลือกแนวทางที่เหมาะสม..... 32

4. ผลของการวิจัย..... 33

4.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็น..... 33
4.2 ความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้อง..... 35
4.3 แนวทางการออกแบบเพื่อลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน..... 35

สารบัญ (ต่อ)

4.4 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนระหว่างหอผึ่งเย็นตัวอย่างและหอผึ่งเย็นที่ออกแบบใหม่ 35

4.4.1 การลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนในขั้นตอนการใช้พลังงานไฟฟ้า 36

4.4.2 การลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนจากการใช้ PVC filler..... 40

4.4.3 การลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนจากการใช้วัสดุหุ้มที่ผลิตจาก Fiber reinforce plastic 44

4.4.4 การลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนจากการใช้ใบพัด Aluminum alloy 45

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 49

5.1 สรุปผลการวิจัย..... 49

5.2 ข้อเสนอแนะ 50

บรรณานุกรม..... 51

ภาคผนวก

ก. ข้อมูลของหอผึ่งเย็น..... 54

ข. การคำนวณแนวทางการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 56

ผลงานทางวิชาการ..... 62

ประวัติการศึกษา..... 65

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	มลภาวะทางอากาศจากการผลิตไฟฟ้า	7
2.2	Direct GWP data from IPCC/TEAP (2005)	11
3.1	แฟกเตอร์ของค่าความร้อนที่ต้องการระบายออกที่คอนเดนเซอร์สำหรับคอมเพรสเซอร์แบบเปิด	25
3.2	แฟกเตอร์ของค่าความร้อนที่ต้องการระบายออกที่คอนเดนเซอร์สำหรับคอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด	25
3.3	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและหน่วยเทียบเท่า	30
4.1	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของหอผึ่งเย็นด้านภาวะโลกร้อน	33
4.2	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการใช้ไฟฟ้าระหว่างมอเตอร์มาตรฐานและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	38
4.3	คุณสมบัติของ PVC	40
4.4	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ผลิต filler	41
4.5	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการใช้โอโซนกำจัดตะกรัน	42
4.6	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างการไม่ใช้โอโซนและการใช้โอโซนกำจัดตะกรัน…….	43
4.7	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตวัสดุหุ้มหอผึ่งเย็น……	44
4.8	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตใบพัด	46
4.9	ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตจากการลดภาระงานของมอเตอร์	46
4.10	สรุปผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตใบพัด	47

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต	9
3.1	ส่วนประกอบของหอผึ่งเย็น 1	22
3.2	ส่วนประกอบของหอผึ่งเย็น 2	23
3.3	แนวทางวิธีการศึกษาวิจัย	28
4.1	กราฟผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของหอผึ่งเย็นด้านภาวะโลกร้อน	34
4.2	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างมอเตอร์มาตรฐานและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง.	37
4.3	กราฟเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนระหว่างมอเตอร์มาตรฐานและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	38
4.4	ความสัมพันธ์โดยทั่วไประหว่างประสิทธิภาพของมอเตอร์และภาระงานของมอเตอร์.	39
4.5	กราฟเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนระหว่างวัตถุดิบต่างๆที่ใช้ในการผลิต Filler	41
4.6	กราฟเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนระหว่างการใช้ PVC filler และการผสมผสานการเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ผลิต filler และการเติมโอโซนเพื่อกำจัดตะกรัน	43
4.7	กราฟเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนระหว่าง Fiber reinforce plastic และ Galvanized steel sheet	45
4.8	กราฟเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนระหว่าง Aluminum alloy และ Polypropylene (PP)	47

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ภาวะโลกร้อน กำลังเป็นเรื่องที่มีการพิจารณากันอย่างกว้างขวางในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาเป็นผลสืบเนื่องมาจากความเจริญทางเศรษฐกิจและการเติบโตของอุตสาหกรรม ทำให้มีการเพิ่มขึ้นอย่างมากของ CO_2 (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 5 ทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งก่อให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆอาทิ เช่น การที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศสูงขึ้น, ปรากฏการณ์เอลนินโญและลานีญา, การเกิดพายุบ่อยครั้ง, การที่น้ำแข็งขั้วโลกละลาย, การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล,การที่สภาพอากาศแปรปรวนไม่ตรงกับฤดูกาล, ฯลฯ ซึ่งเปรียบเสมือนสัญญาณเรียกร้องความช่วยเหลือที่ธรรมชาติส่งออกมา จึงควรมีการร่วมมือกันเพื่อลดอัตราการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ เพื่อการดำรงคงอยู่ของมนุษยชนสืบไป การตื่นตระหนักในภาวะโลกร้อนนี้ ทำให้เกิดความร่วมมือระหว่างนานาชาติก่อตั้งพิธีสารโตเกียวขึ้นเมื่อวันที่ 11 ธันวาคม 2540 เพื่อจะมีผลบังคับให้ประเทศที่พัฒนาแล้วลดการปลดปล่อย CO_2 และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ และมีผลบังคับใช้นับตั้งแต่วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2548 ที่ผ่านมา

ประเทศไทย เป็นประเทศหนึ่งที่ร่วมลงนามในพิธีสารโตเกียว เป็นประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ดังนั้นในภาคอุตสาหกรรมและภาคอาคารขนาดใหญ่ จึงมีการใช้ระบบปรับอากาศ (Air-conditioning system) กันอย่างแพร่หลาย และเพิ่มขึ้นตามความเจริญทางเศรษฐกิจและการเติบโตของอุตสาหกรรม ซึ่งในระบบปรับอากาศจะมีหอผึ่งเย็น (Cooling tower) เป็นองค์ประกอบหลัก แต่อย่างไรก็ตามหอผึ่งเย็นไม่ได้มีการพัฒนาใดๆมากนักในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตและอัตราการใช้พลังงานมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งภาวะโลกร้อนอันเป็นผลมาจากการใช้วัตถุดิบที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพต่ำ และมีแนวโน้มที่จะขยายตัวสูงขึ้นตามการเจริญเติบโตของภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้วัตถุดิบและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในหอผึ่งเย็นให้เหมาะสมเพื่อที่จะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุดเท่าที่เทคโนโลยีในปัจจุบันจะทำได้

หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) คือเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดทั้งวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (Raw material production) การผลิต (Manufacture) การขนส่ง (Transportation) การใช้งาน (Use) และการจัดการหรือการกำจัดเมื่อสิ้นอายุการใช้งาน (End-of-life management) โดยระบุทั้งปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ รวมทั้งของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตจึงจะช่วยให้ทราบถึงปริมาณของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและขั้นตอนที่เกิดผลกระทบ ทำให้ผู้ผลิตสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตให้ใช้ปริมาณหรือชนิดของวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) คือ กระบวนการที่ผนวกแนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมเข้าไปในขั้นตอนการออกแบบและกระบวนการผลิตสินค้าเพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง โดยมีข้อพิจารณาตลอดวงจรชีวิตของสินค้า ดังนี้

1. การได้มาซึ่งวัตถุดิบ คือ การหามาซึ่งวัตถุดิบตั้งแต่การขุดแร่จนแปรรูปเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย
2. กระบวนการผลิต คือ การเลือกใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่เหมาะสมและลดขั้นตอนกระบวนการผลิตให้น้อยลง รวมทั้งเทคโนโลยีการผลิตที่ใช้พลังงานต่ำและใช้วัตถุดิบเท่าที่จำเป็นหรือหลีกเลี่ยงวัตถุดิบที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก
3. การขนส่ง คือ การใช้วิธีการขนส่งที่มีประสิทธิภาพและสะอาด
4. การใช้งาน คือ การใช้วัสดุหรือพลังงานควรจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด หรือมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยต้องมีความทนทาน ซ่อมบำรุงได้ง่าย
5. การจัดการหรือการกำจัดเมื่อสิ้นอายุการใช้งาน คือ การที่สามารถนำวัสดุและส่วนประกอบกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือบริหารจัดการการกำจัดได้โดยก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจของหอผึ่งเย็นที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะยังถือเป็นทางเลือกหนึ่งในการประเมินผลกระทบ

ต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากความสะดวก รวดเร็ว แม่นยำ ประหยัดเวลา และความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยมือซึ่ง อาจเกิดความผิดพลาดขึ้น (Human error) และยังใช้เวลามากในการคำนวณอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของหอผึ่งเย็น
2. เพื่อหาแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของหอผึ่งเย็น

สมมติฐานการศึกษา

1. สามารถประยุกต์ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) มาใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็น
2. สามารถประยุกต์ใช้การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) มาปรับปรุงวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นให้มีความเหมาะสมทั้งในด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและด้านเศรษฐศาสตร์

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นขนาด 400 ตันความเย็น แบบ Counter flow ซึ่งเป็นรุ่นที่มียอดขายสูงสุด เนื่องจากเมื่อมีการผลิตเป็นจำนวนมากขึ้นตามจำนวนคำสั่งซื้อ ดังนั้นจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นตามปริมาณที่ผลิตด้วย
2. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สนใจในการศึกษานี้คือ ก๊าซเรือนกระจก
3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมประเมินวัฏจักรชีวิตสำเร็จรูป SimaPro 7.1
4. การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจของหอผึ่งเย็นจะต้องไม่ลดประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอผึ่งเย็นเกินกว่า 5 %

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของหอผึ่งเย็นโดยการประยุกต์ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA)
2. เป็นแนวทางประเภทกรณีศึกษาของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) ในประเทศไทยเกี่ยวกับหอผึ่งเย็น
3. เป็นแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอุปกรณ์ขนาดใหญ่อื่นๆ

บทที่ 2

ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจของหอผึ่งเย็น ได้ทำการศึกษาข้อมูลผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ประเภท ได้แก่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหอผึ่งเย็น (Cooling tower) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

Poritosh et al. (2008, pp. 1-10) ได้ศึกษาและประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตทั้งในเกษตรกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอาหาร ระบุว่าการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์และกระบวนการที่เกี่ยวเนื่องตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต โดยมีวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต 4 ขั้นตอนดังนี้

1. **การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต** (Goal definition and scoping)

ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต จะกำหนดเป้าหมายของการศึกษา, ขอบเขตการศึกษา, การกำหนดหน่วยอ้างอิงผลิตภัณฑ์ (Reference unit) และข้อสมมุติฐาน

2. **การวิเคราะห์บัญชีวัฏจักรชีวิต** (Life cycle inventory (LCI) analysis)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีวัฏจักรชีวิต จะใช้เวลามากที่สุดในการประเมินวัฏจักรชีวิต เนื่องจากต้องใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งสามารถลดเวลาได้ถ้าลูกค้าหรือผู้ผลิตวัตถุดิบช่วยในการให้ข้อมูลอย่างเต็มที่ หรือใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลต่างๆ โดยการใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง

3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Impact assessment)

ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มุ่งไปที่การเข้าใจและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการวิเคราะห์บัญชีวัฏจักรชีวิตภายในกรอบของเป้าหมายและขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ ในขั้นตอนนี้จะจำแนกผลกระทบออกเป็นประเภทต่างๆและจัดให้อยู่ในหน่วยมาตรฐานเดียวกัน เช่น Global warming มีหน่วยเป็นกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_{2,eq}$)

4. การแปรผล (Interpretation)

ในขั้นตอนการแปรผลนี้ คือการสรุปผลการประเมินวัฏจักรชีวิตให้เข้าใจได้ง่าย

ซึ่งจากผลการประเมินวัฏจักรชีวิตจะสรุปได้ว่าเกษตรกรรมอาหารเป็นสาเหตุหลักของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวัฏจักรชีวิตและการประเมินวัฏจักรชีวิตช่วยให้ทราบถึงขั้นตอนที่เป็นสาเหตุและนำไปใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่นๆเพื่อให้น่าเชื่อถือและให้ข้อมูลที่ครอบคลุมแก่ผู้กำหนดนโยบายและผู้บริโภคในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

Harnpon Phungrassami (2008, น. 62-65) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตตามมาตรฐานของ International Organization for Standardization (ISO) ซึ่งมี 4 ขั้นตอนได้แก่ Goal and scope definition, Inventory analysis, Impact assessment, Interpretation และพิจารณาว่าในการประเมินวัฏจักรชีวิตยังมีข้อจำกัดอันเนื่องมาจากการกำหนดขอบเขตที่ไม่ครอบคลุม แม้ฐานข้อมูลถูกพัฒนาโดยหลากหลายประเทศและมีรูปแบบที่เป็นมาตรฐานแต่มักจะเป็นข้อมูลที่ล้าสมัยแล้ว และการประเมินวัฏจักรชีวิตจะมองข้ามเรื่องของความเกี่ยวข้องกับเวลาในแต่ละขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการ Time load LCA ดังสมการต่อไปนี้

$$L^* = \frac{Load}{T} \qquad (2.1)$$

โดยที่ L^* = Time load ในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิต

Load = ภาระด้านสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิต

T = เวลาที่ใช้สำหรับผลผลิตหลักในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิต

จากสมการที่ 2.1แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่มีวัฏจักรชีวิตยาวจะมีการอัตราการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีวัฏจักรชีวิตสั้นกว่า ซึ่งอัตราการสร้างผลกระทบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเปรียบเทียบกับความจุและความไวต่อการตอบสนองของพื้นที่นั้นๆ

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2003, น. 15) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและผู้ผลิตอิสระ 3 แห่ง ซึ่งครอบคลุม 86% ของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยและตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซที่มีผลต่อภาวะโลกร้อนดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยใช้ฐานอ้างอิงในการคำนวณที่ 1 kWh

ตารางที่ 2.1

มลภาวะทางอากาศจากการผลิตไฟฟ้า

Item	Emission (tons)				Emission (kg/kWh)			
	1999	2000	2001	% Dif	1999	2000	2001	% Dif
CO_2	54,527,721	54,972,840	54,019,990	-1.7	7.15E-01	7.06E-01	7.15E-01	+1.3
SO_2	84,200	55,380	48,042	-13.3	1.16E-03	7.11E-04	6.36E-04	-10.5
NO_x	174,421	173,857	177,881	+2.3	2.40E-03	2.23E-03	2.35E-03	+5.4
CO	12,338	14,066	14,495	+3.0	1.70E-04	1.81E-04	1.92E-04	+6.1
N_2O	1,705	1,701	1,615	-5.1	2.35E-05	2.19E-05	2.14E-05	-2.3
NMVOC	2,601	2,665	2,592	-2.7	3.58E-05	3.42E-05	3.43E-05	+0.3
CH_4	1,140	1,491	1,615	+8.3	1.57E-05	1.92E-05	2.14E-05	+11.5
Dust	9,005	6,184	2,686	-56.6	1.24E-04	7.94E-05	3.56E-05	-55.2

ที่มา: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

วันดี ลือสายวงศ์ (2548, น. 1-4) ได้อธิบายความหมายและให้รายละเอียดของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) คือ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตในเชิงปริมาณ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (Raw material production) การผลิต (Manufacture) การขนส่ง (Transportation) การใช้งาน (Use) และการจัดการหรือการกำจัดทิ้งหลังหมดอายุการใช้งาน (End-of-life management) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) โดยระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้รวมทั้งของเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมทั้งทาง

อากาศ ดินและน้ำ เพื่อหากระบวนการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization, ISO) ได้นิยามความหมายของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า "เป็นการรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมทั้งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักร" การประเมินวัฏจักรชีวิตมี 4 ขั้นตอนดังนี้

1. **การกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย** (Goal and scope definition)

การกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย เป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมาย (Goal) และขอบเขตหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Product function) หน่วยการทำงาน (Functional unit) ขอบเขตของระบบ (System boundary) และระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) ขั้นตอนนี้มีอิทธิพลโดยตรงต่อทิศทางและความละเอียดในการศึกษา จึงนับว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เพราะถ้ากำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ครอบคลุมดีพอ จะทำให้การประเมินสารที่เข้าและสารที่ออกจากระบบ หรือประโยชน์ที่จะได้รับจากการปรับปรุงระบบนั้นทำได้ยากและไม่ตรงประเด็น

2. **การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม** (Inventory analysis)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม เป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ขั้นตอนนี้รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์ การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้หรือการปล่อยของเสียออกสู่อากาศ น้ำและดิน

3. **การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์** (Life cycle impact assessment)

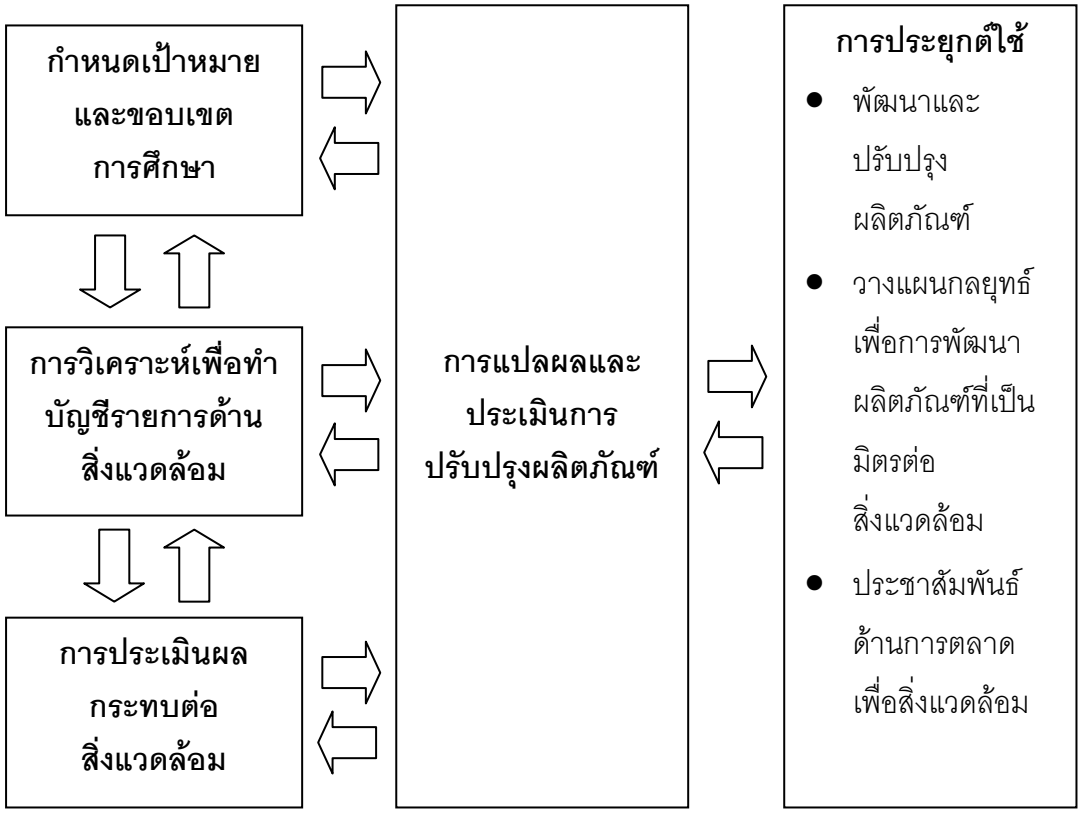
การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสีย หรือสาร

ขาเข้าและขาออกที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินผลกระทบเกี่ยวข้องกับประเด็นหลักๆ คือ การนิยามประเภท (Category definition) การจำแนกประเภท (Classification) การกำหนดบทบาท (Characterization) และการให้น้ำหนักแก่แต่ละประเภท (Weighting)

4. การแปลผล (Interpretaion)

การแปลผลเป็นการนำผลการศึกษามาวิเคราะห์เพื่อสรุปผล พิจารณาข้อจำกัด การให้ข้อเสนอแนะที่มาจากผลการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ในขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์ถึงแหล่งหรือสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

ภาพประกอบที่ 2.1
ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต



โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1

การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต เกี่ยวกับข้อมูลและตัวเลขจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเข้าช่วยในการทำงาน ซึ่งจะทำให้สามารถจัดการกับข้อมูลของกระบวนการผลิตที่มีจำนวนขั้นตอนมากๆได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และมีค่าใช้จ่ายน้อย ซึ่ง SimaPro 7.1 เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล, วิเคราะห์ และตรวจสอบประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือบริการ อีกทั้งยังช่วยในการจำลองแบบและวิเคราะห์วงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อนตามมาตรฐาน ISO อนุกรม 14040 ดังนั้น SimaPro จึงเป็นเครื่องมือที่มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมหลัก, ที่ปรึกษา และมหาวิทยาลัยต่างๆในนานาประเทศมากกว่า 60 ประเทศเนื่องจากความเชื่อถือได้และสามารถปรับการใช้งานกับข้อมูลใหม่ๆได้ นอกเหนือจากนั้นยังมีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ มีฐานข้อมูลและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่หลากหลาย มีการแสดงผลในรูปแบบของตารางหรือกราฟ

วิธีการ CML

วิธีการ CML เป็นวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตที่ระบุแหล่งที่มาของปัญหาได้ ซึ่งพัฒนาเรื่อยมาจาก Ecoinvent 2.0 โดย The Institute of Environmental Sciences of the University of Leiden (CML) โดยแบ่งประเภทของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็น 10 ประเภทดังนี้

1. Ozone layer depletion (ODP)
2. Human toxicity
3. Fresh water aquatic ecotoxicity
4. Marine aquatic ecotoxicity
5. Terrestrial ecotoxicity
6. Photochemical oxidation
7. Global warming (GWP100)
8. Acidification
9. Abiotic depletion
10. Eutrophication

การแบ่งประเภทของผลกระทบทั้ง 10 ประเภทนี้อยู่ในระดับที่บ่งบอกถึงประเภทของปัญหาเท่านั้น (Midpoint) และแบ่งเป็น 3 กลุ่มได้ดังนี้

1. Obligatory impact categories เป็นตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ ซึ่งมีหลายวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตอื่นที่เลือก Obligatory impact categories ไปใช้เป็นตัวชี้วัดขั้นพื้นฐาน โดยอยู่บนพื้นฐานของการนำไปปฏิบัติได้จริงที่ดีที่สุด
2. Additional impact categories เป็นตัวชี้วัดที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง แต่ไม่ค่อยมีการนำไปใช้ในการศึกษาวัฏจักรชีวิต
3. Other impact categories เป็นตัวชี้วัดที่มีอยู่แต่ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ดังนั้นจึงเป็นไปไม่ได้ที่จะประเมินเชิงปริมาณในการประเมินวัฏจักรชีวิต

ศักยภาพในการดูดกลืนความร้อน

Forster et al. (2007, น. 210-216) ได้อธิบายไว้ว่าก๊าซแต่ละชนิดมีศักยภาพในการดูดกลืนพลังงานความร้อน (Global warming potential, GWP) ไม่เท่ากัน โดยจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของโมเลกุลในสถานะเป็นก๊าซกับเวลาชั่วชีวิตในชั้นบรรยากาศของมัน โดยศักยภาพในการดูดกลืนความร้อนสามารถวัดได้โดยการเปรียบเทียบกับ CO_2 ในขนาดมวลที่เท่ากันแล้วจึงประเมินหาค่าเฉพาะของเวลา ดังนั้น ถ้าโมเลกุลของก๊าซมีค่าศักยภาพในการดูดกลืนความร้อนสูงในช่วงเวลาที่สั้น แต่กลับมีช่วงชีวิตที่สั้น ย่อมหมายความว่ามันมีศักยภาพในการดูดกลืนความร้อนมากในช่วงระยะเวลา 20ปี แต่จะมีศักยภาพในการดูดกลืนความร้อนน้อยในช่วงเวลา 100ปีและในทางกลับกันถ้าโมเลกุลของ CO_2 ที่มีเวลาช่วงชีวิตที่ยาวกว่าศักยภาพในการดูดกลืนความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

Direct GWP data from IPCC/TEAP (2005)

Common name	Chemical formula	GWP for given Time Horizon		
		20	100	500
Carbon dioxide	CO_2	1	1	1
Methane	CH_4	72	25	7.6
Nitrous oxide	N_2O	289	298	153
Hydro fluorocarbons	HFCs	12,000	14,800	12,200

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

Common name	Chemical formula	GWP for given Time Horizon		
		20	100	500
Perfluoro carbons	PFCs	6,310	8,830	12,500
Sulfur hexafluoride	SF_6	16,300	22,800	32,600

ที่มา : Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Forster et al., 2007, pp. 212-213

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design)

Duflou, Dewulf, and Sas (2003, pp. 29-32) พบว่าผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะไม่มีเวลามากนักในการรวบรวมและจัดการข้อมูลที่จำเป็นให้เพียงพอในการตัดสินใจที่มีหลายจุดประสงค์รวมทั้งจุดประสงค์ทางด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้โปรแกรมที่พัฒนาเพื่อช่วยในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์จึงจำเป็น

Talbot (2005, pp. 475-479) ได้ศึกษาถึงการนำการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) มาใช้ในเชิงอุตสาหกรรมกับผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs) โดยได้มีการจัดทำ Eco-design chain ไว้จำนวน 10 หัวข้อในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ซึ่งสามารถจะดำเนินการโดยบริษัทผู้ผลิตในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยสามารถแบ่งตามขั้นตอนได้ 4 กลุ่มดังนี้

1. การลดหรือเลือกวัตถุดิบ

1. การเลือกวัตถุดิบที่สามารถรีไซเคิลหรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย
2. การลดปริมาณวัตถุดิบที่ใช้

2. การผลิตผลิตภัณฑ์

1. การออกแบบให้ผลิตได้ง่าย
2. ลดพลังงานที่ต้องการในการผลิต

3. การใช้งานและบำรุงรักษาผลิตภัณฑ์

1. ลดพลังงานที่จำเป็นในการใช้งานผลิตภัณฑ์
2. การเพิ่มอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์
3. การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สามารถรองรับผู้ใช้งานได้หลายคน
4. การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สะดวกต่อการบำรุงรักษา

4. การจัดการเมื่อสิ้นอายุขัย

1. การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สะดวกต่อการแยกชิ้นส่วน
2. การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สะดวกต่อการรีไซเคิล

และจากผลการทดลอง Eco-design chain มีส่วนช่วยให้ผลกระทบโดยรวมลดลง สืบเนื่องจากการที่ Eco-design chain ช่วยระบุว่าขั้นตอนใดตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและเรียงลำดับศักยภาพที่จะสามารถลดได้

Ammenberg and Sundin (2005, pp. 405-415) ได้ศึกษาเกี่ยวกับระบบการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมและการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) พบว่าในระหว่างกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์มีโอกาสอย่างมากที่จะปรับปรุงรูปแบบเพื่อที่จะเพิ่มความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

Sutherland and Haapala (2007, pp. 5-8) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตเหล็กซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก เนื่องจากมีการใช้พลังงานและวัตถุดิบเป็นจำนวนมาก ขณะเดียวกันก็มีของเสียออกมามากเช่นกัน กระบวนการผลิตเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญมากในวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เพราะว่าสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มาก แต่มักจะถูกละเลย การปรับปรุงโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เข้ามาช่วยในการคำนวณ ทำให้สามารถคาดคะเนการใช้ทรัพยากรได้ และสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจะช่วยในการคาดคะเนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้แม่นยำ แม้จะมีความเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย
2. การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบเพียงเล็กน้อยสามารถสร้างความแตกต่างอย่างมากกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3. การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตอาจจะทำให้เกิดของเสียเพิ่มมากขึ้น และในทางกลับกันถ้าต้องการให้เกิดของเสียน้อยต้องเพิ่มพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

ธีรยุทธ์ เพ็งชัย (2551, น. 47-51) ได้ให้นิยามของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) และยกกรณีตัวอย่างของการทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ตามแนวคิด Eco-design ของนิติ นิมะลาซึ่งเริ่มจากการตั้งคำถามว่าจะใช้กระบวนการ 4R อันได้แก่ การลด (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) การซ่อมบำรุง (Repair) ได้อย่างไรจากนั้นจึงนำมาประยุกต์ใช้ผ่านกลไก (Eco-design strategy) ใน 7 ด้านหลักได้แก่

1. ลดการใช้วัสดุที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Reduction of Low-impact materials)
2. ลดปริมาณและชนิดของวัสดุที่ใช้ (Reduction of materials used)
3. ปรับปรุงกระบวนการผลิต (Optimization of production techniques)
4. ปรับปรุงกระบวนการขนส่งผลิตภัณฑ์ (Optimization of distribution system)
5. ปรับปรุงขั้นตอนการใช้ผลิตภัณฑ์ (Optimization of impact during use)
6. ปรับปรุงอายุผลิตภัณฑ์ (Optimization of initial lifetime)
7. ปรับปรุงขั้นตอนการทิ้งและทำลายผลิตภัณฑ์ (Optimization of End-of-life)

อีกทั้งยังได้ให้ความเห็นเกี่ยวกับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจว่าไม่ใช่เป็นเพียงแค่แนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังมีความสำคัญในแง่ของการค้าและการส่งออกอีกด้วย โดยเฉพาะประเทศที่พัฒนาแล้วได้มีการออกนโยบายที่ให้ความสนใจด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เช่น ระเบียบว่าด้วยการจัดการเศษเหลือทิ้งจากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE), ระเบียบว่าด้วยการห้ามใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (RoHS), ระเบียบเกี่ยวกับการใช้สารเคมีในผลิตภัณฑ์ต่างๆ (REACH), ระเบียบเกี่ยวกับการจัดการจัดการซากของยานยนต์ (ELV)

Gurauskiene and Varzinskas (2006, pp. 43-51) ได้ทำการศึกษาและประยุกต์ใช้การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ได้ข้อสรุปว่า การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นและยั่งยืนทำได้โดยการใช้ ระบบการผลิตแบบสะอาด และ การอนุรักษ์ทรัพยากร แต่แรงผลักดันหลักที่ทำให้บริษัทต่างๆหันมาออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) คือโอกาสทางธุรกิจมากกว่าที่จะเป็นความสนใจในสิ่งแวดล้อม แม้ว่ากฎหมายและแรงผลักดันจากตลาดจะเพิ่มแรงกดดันขึ้นเรื่อยๆโดยที่ผู้ผลิตยังไม่ได้มีความ

กระตือรือร้นเท่าที่ควร อย่างไรก็ตามกระบวนการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) ช่วยในการรวบรวมทุกส่วนของระบบการผลิตผ่านวัฏจักรชีวิต โดยที่วิธีการวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อมมีพื้นฐานอยู่บน Life cycle thinking ขณะที่วิธีการทางปริมาณจะใช้เมื่อต้องการประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจแล้วกับผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ และจากกรณีศึกษาการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจช่วยลดต้นทุนในการผลิต, เกิดการใช้วัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และทำให้พนักงานในองค์กรมีความตระหนักต่อการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่อทั้งตัวบริษัทและสิ่งแวดล้อม ในส่วนของผู้บริหารต้องมีความคุ้นเคยกับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจเพื่อที่จะได้สนับสนุนให้เป็นเครื่องมือสำหรับการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ สุดท้ายนี้นวัตกรรมทางด้านสิ่งแวดล้อมสามารถใช้อย่างเปิดเผยได้มากขึ้นเนื่องจากเป็นโอกาสในการสร้างความสามารถในการแข่งขันของสินค้า และการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และนวัตกรรม

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ได้ให้นิยามของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) เป็นกระบวนการที่ผนวกเอาแนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์และด้านสิ่งแวดล้อมเข้าไปในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Product life cycle) ตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผนผลิตผลิตภัณฑ์ ช่วงการออกแบบ ช่วงการผลิต ช่วงการนำไปใช้ และช่วงการทำลายหลังการใช้งาน ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังมีความหมายรวมถึงการวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ การจัดการซากที่หมดอายุ การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกช่วงของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ และหลักการพื้นฐานของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ คือ การประยุกต์หลักการของ 4R ในทุกช่วงของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ ช่วงวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ว่านี้ ได้แก่ ช่วงการวางแผนผลิตภัณฑ์ (Planning phase) ช่วงการออกแบบ (Design phase) ช่วงการผลิต (Manufacture phase) ช่วงการนำไปใช้ (Use phase) และช่วงการทำลายหลังการใช้เสร็จ (Disposal phase) สำหรับหลักการของ 4R ได้แก่ การลด (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการซ่อมบำรุง (Repair) ซึ่งทั้ง 4R จะมีความสัมพันธ์กับแต่ละช่วงของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์

1. การลด (Reduce) หมายถึงการลดการใช้ทรัพยากรในช่วงต่างๆของวงจรชีวิต ซึ่งสามารถเกิดได้ในทุกช่วงของวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยมากจะพบในช่วงการออกแบบ ช่วงการ

ผลิต และการนำไปใช้ อาทิ เช่น การลดการใช้ทรัพยากรในการออกแบบ การออกแบบเพื่อลดอัตราการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต การออกแบบเพื่อลดอัตราการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต และการออกแบบเพื่อลดอัตราการใช้พลังงานในระหว่างการใช้งาน

2. การใช้ซ้ำ (Reuse) หมายถึงการนำผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ซึ่งผ่านช่วงการนำไปใช้เรียบร้อยแล้ว และพร้อมที่จะเข้าสู่ช่วงของการทำลาย กลับมาใช้ใหม่ ทั้งที่เป็นการใช้ใหม่ในผลิตภัณฑ์เดิม หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ก็ตาม ได้แก่ การออกแบบเพื่อการนำกลับมาใช้ซ้ำ (Design for reuse) เช่น การออกแบบให้ผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่นมีชิ้นส่วนที่ใช้ร่วมกันได้ เมื่อรุ่นแรกหยุดการผลิตแล้วยังสามารถเก็บคืนและนำบางชิ้นส่วนมาใช้ในการผลิตรุ่นต่อไปได้

3. การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) หมายถึงการนำผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ ที่อยู่ในช่วงของการทำลายมาผ่านกระบวนการแล้ว นำกลับไปใช้ใหม่ตั้งแต่ช่วงของการวางแผน การออกแบบ หรือแม้แต่ช่วงของการผลิต ได้แก่ การออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่าย (Design for disassembly) การออกแบบเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ (Design for recycle) เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้วัตถุดิบพลาสติก หรือกระดาษที่ง่ายต่อการนำกลับมาใช้ใหม่

4. การซ่อมบำรุง (Repair) หมายถึงการออกแบบให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง ทั้งนี้มีแนวคิดที่ว่า หากผลิตภัณฑ์สามารถซ่อมบำรุงได้ง่ายจะเป็นการยืดอายุช่วงชีวิตของการใช้งาน (Extended usage life) ซึ่งท้ายที่สุดสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ การซ่อมบำรุงนี้เกิดภายในช่วงชีวิตของการใช้งานเท่านั้น แตกต่างจากการใช้ซ้ำ (Reuse) ซึ่งเป็นการนำชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่เสร็จจากช่วงการใช้งานแล้วมาใช้อีกครั้ง การซ่อมบำรุงนี้ได้แก่ การออกแบบให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง (Design for serviceability/Design for maintainability) เช่น การออกแบบให้เปลี่ยนอะไหล่ได้สะดวก

การนำการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจมาประยุกต์ใช้จะคำนึงถึงกลไก (Eco-design strategy) ใน 7 ด้านหลักได้แก่

1. ลดการใช้วัสดุที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Reduction of Low-impact materials)
2. ลดปริมาณและชนิดของวัสดุที่ใช้ (Reduction of material used)
3. ปรับปรุงกระบวนการผลิต (Optimization of production techniques)
4. ปรับปรุงระบบการขนส่งผลิตภัณฑ์ (Optimization of distribution system)
5. ปรับปรุงขั้นตอนการใช้ผลิตภัณฑ์ (Optimization of impact during use)
6. ปรับปรุงอายุผลิตภัณฑ์ (Optimization of initial lifetime)
7. ปรับปรุงขั้นตอนการทิ้งและทำลายผลิตภัณฑ์ (Optimization of End-of-life)

อย่างไรก็ตามการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจมีมุมมองทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์อยู่ 2 มุมมองที่ต้องนำมาใช้พิจารณาในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

1. มุมมองจากการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle perspective) ซึ่งจะดูจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

2. มุมมองจากผู้ที่เกี่ยวข้อง (Stakeholder perspective) ซึ่งจะเกี่ยวกับกฎหมายต่างๆ ความต้องการของตลาด และสินค้าของคู่แข่งขัน

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ได้ให้นิยามของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) เป็นกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Product Life Cycle, PLC) ครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการหรือการกำจัดหลังหมดอายุการใช้งาน ซึ่งจะเป็นการหาแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยมี 4 ขั้นตอนดังนี้

1. **การวางแผน** (Product planning)

การวางแผนในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ประกอบไปด้วยการวิจัยการตลาด การศึกษาความต้องการของผู้บริโภค การกำหนดนโยบายผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะกำหนดทิศทางการพัฒนาและฟังก์ชั่นของผลิตภัณฑ์

2. **กำหนดความต้องการของลูกค้า** (Voice of customer identification)

การกำหนดความต้องของลูกค้า เป็นการหาความต้องการของลูกค้าหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ไม่ว่าจะอยู่ในช่วงใดของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยผ่านการสัมภาษณ์หรือการสังเกตพฤติกรรม และนำมาตีความเพื่อระบุความต้องการของลูกค้าหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์

3. **การออกแบบในระดับแนวคิด** (Conceptual design)

การออกแบบในระดับแนวคิด เป็นการกำหนดแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งแนวทางนั้นเกิดจากการประยุกต์ใช้ กลยุทธ์ในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

(Eco-design strategies) กับผลการประเมินวัฏจักรชีวิต กฎระเบียบต่างๆ และความต้องการของลูกค้าหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยกลยุทธ์ในการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ สามารถแบ่งได้ 5 กลุ่มดังนี้

3.1 **แนวทางเกี่ยวกับวัตถุดิบ** (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

4. **การออกแบบรายละเอียด** (Detail design)

การออกแบบรายละเอียด เป็นการนำแนวทางที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่แล้วมากำหนดรายละเอียด เช่น ขนาด รูปร่าง วัสดุที่ใช้ กระบวนการผลิต โดยการร่วมมือกันระหว่างผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่เกี่ยวข้อง

5. **ทดสอบและทำให้ประณีต** (Testing and fine tune)

การทดสอบและการทำให้ประณีต เป็นการจัดทำต้นแบบตามแนวทางที่ได้ออกแบบไว้และทดสอบการใช้งานจริงเพื่อนำมาใช้ตัดสินความเป็นไปได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหอผึ่งเย็น (Cooling tower)

ธารายนต์ (2550, น. 41-42) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้โอโซนกำจัดตะกรันในระบบหอผึ่งเย็นที่ใช้น้ำเป็นตัวนำความร้อนไหลจากเครื่องควบแน่น (Condenser) กลับไปที่หอผึ่งเย็นเพื่อระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำให้เป็นฝอยตกลงมายังถาดรองรับน้ำด้านล่าง ในขณะที่พ่นน้ำลงมา พัดลมขนาดใหญ่ที่ถูกติดตั้งไว้ด้านบนจะดูดอากาศให้เคลื่อนที่สวนทางกับน้ำที่ตกลงมา ลมที่ผ่านน้ำนี้จะเป็นตัวพาความร้อนออกไปทำให้น้ำเย็นลงและน้ำเย็นก็จะถูกสูบไประบายความร้อนกับสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่น ซึ่งการที่พัดลมดูดน้ำออกและพ่นน้ำเป็นฝอยละอองจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในระบบเป็นผลให้เกิดหินปูนที่อยู่ในรูปของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตหรือตะกรันขึ้นที่พื้นผิวของเครื่องถ่ายเทความร้อนทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลงและสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น การแก้โดยการเติมโอโซนลงไปในน้ำซึ่งจะทำงานในลักษณะของแอ็กทีฟออกซิเจนที่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารอนินทรีย์ได้เกือบทุกชนิด โดยที่สภาวะที่น้ำมีค่า pH มากกว่า 8 โอโซนจะแตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Hydroxil free radical, OH) ที่มีปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าโอโซน ซึ่ง OH จะทำลายกลุ่มคาร์บอเนต และกระบวนการกำจัดตะกรันจะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณโอโซนในน้ำไม่ต่ำกว่า 0.1 ppm

Fulkerson (2008, pp. 72-73, p. 76, p.78) ศึกษาเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกระหว่างการซ่อมบำรุงหอผึ่งเย็นและการสั่งซื้อหอผึ่งเย็นเครื่องใหม่ ซึ่งมีการตรวจสอบสภาพของหอผึ่งเย็นในทุกรายละเอียดรวมทั้งโครงสร้างและแผ่นรังผึ้ง ซึ่งในการพิจารณาอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ นอกจากจะพิจารณาจากการทนความร้อนและสภาพการสึกกร่อนแล้วยังได้มีการทดสอบการทนแรงดันและพิจารณาตะกรันที่เกาะติดอยู่อีกด้วย

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

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

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

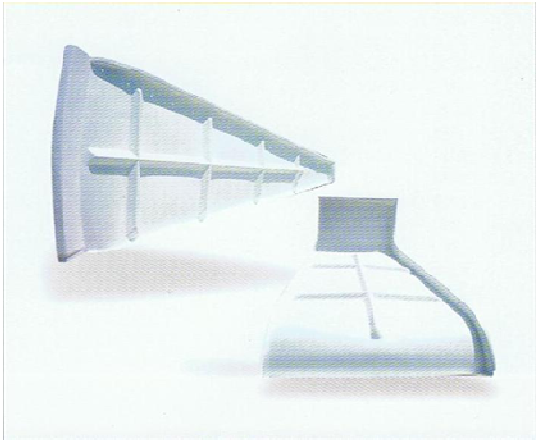
1.5 **ใบพัด** (Fan) ใบพัดทำหน้าที่ร่วมกับมอเตอร์ในการดูดอากาศให้ลอยตัวขึ้น

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

ซึ่งส่วนประกอบทั้ง 6 นี้ได้แสดงดังในภาพประกอบที่ 3.1 และ 3.2

ภาพประกอบที่ 3.1
ส่วนประกอบของหอผึ่งเย็น 1

โครงสร้าง
(Structure)



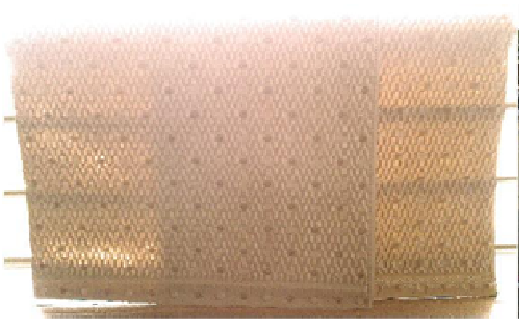
วัสดุหุ้ม
(Fiber reinforce plastic)

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

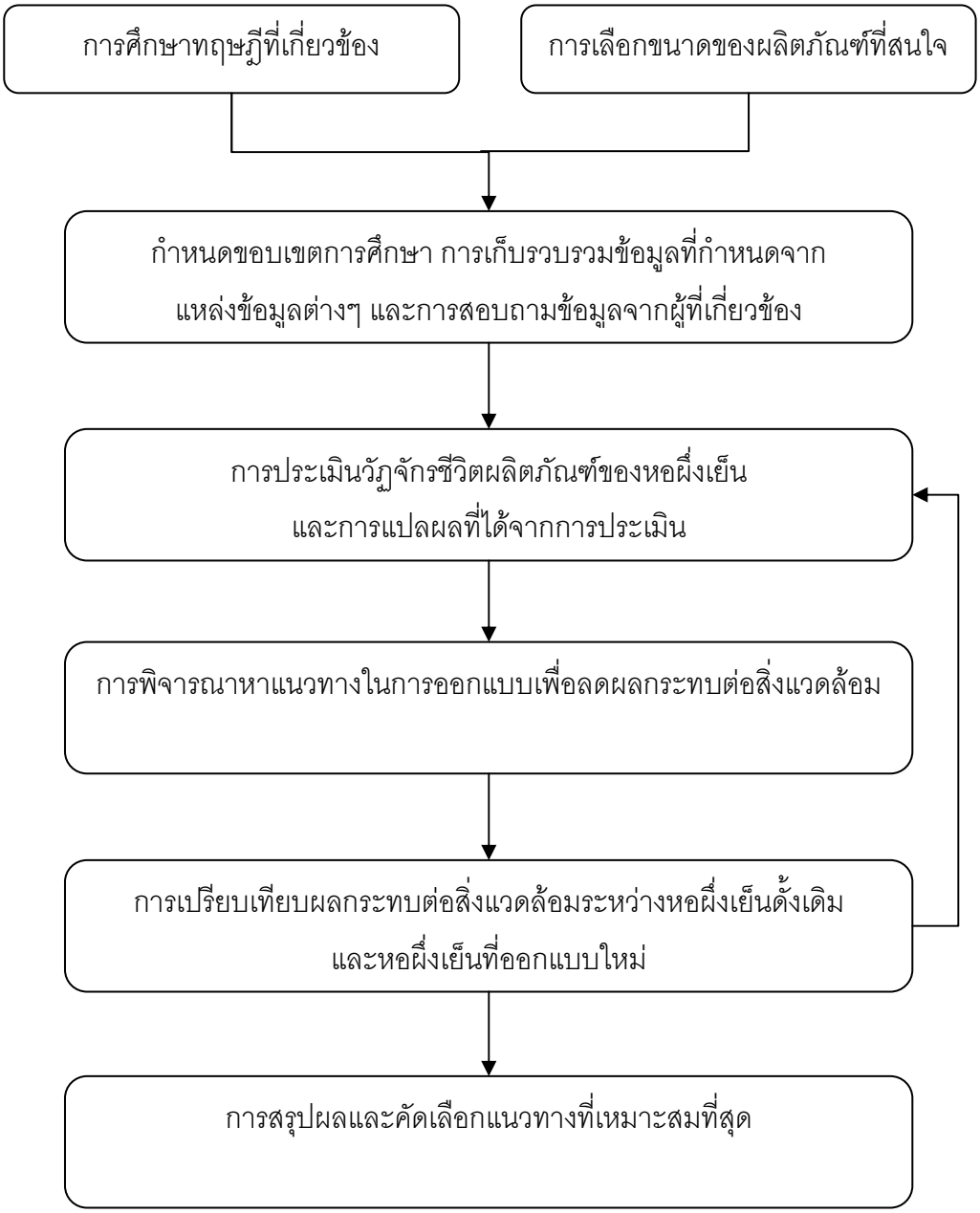
ขั้นตอนการวิจัย

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

บทที่ 4

ผลของการวิจัย

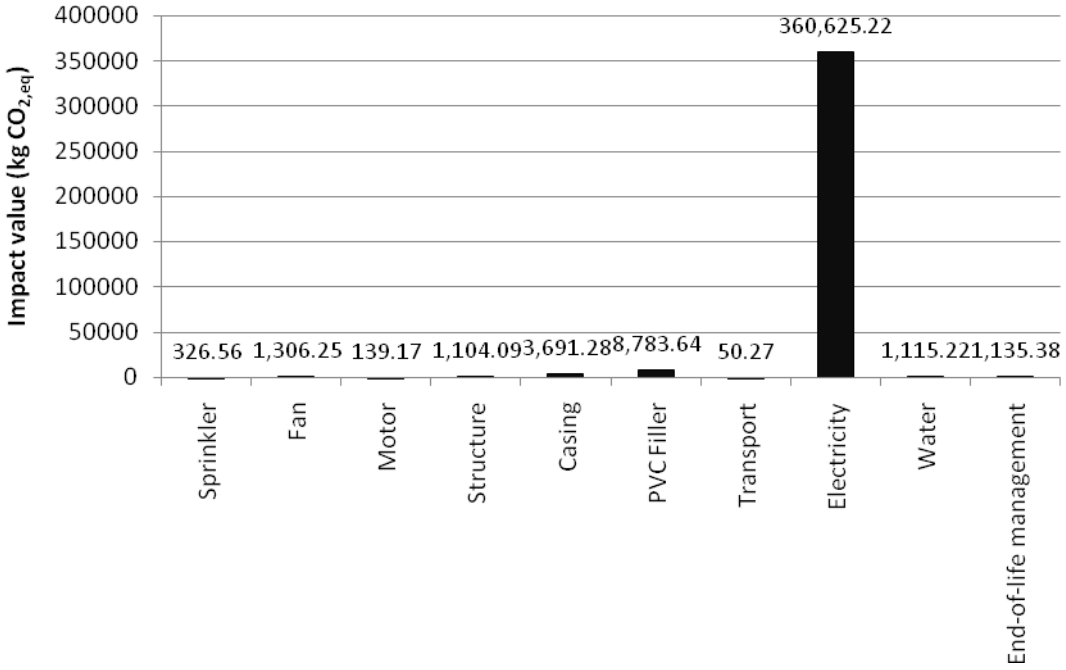
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็น

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นซึ่งมีวัฏจักรชีวิต 10 ปีโดยมีการใช้งานวันละ 24 ชั่วโมงและแต่ละปีมีการซ่อมบำรุงหรือหยุดเครื่องเนื่องจากอุบัติเหตุจากทางไฟฟ้าประมาณ 10 วันต่อปีและมีข้อมูลของหอผึ่งเย็นดังแสดงในภาคผนวก ก และใช้โปรแกรม SimaPro 7.1 วิธีการ CML 2000 ในการประเมินและพิจารณาเฉพาะผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global warming) ได้ผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของหอผึ่งเย็นดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาพประกอบที่ 4.1

ตารางที่ 4.1
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของหอผึ่งเย็นด้านภาวะโลกร้อน

ส่วนประกอบ, ทรัพยากรที่ใช้และการจัดการเมื่อสิ้นอายุการใช้งาน	**ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (kg $CO_{2,eq}$)**
หัวฉีดกระจายน้ำ (Sprinkler)	326.56
ใบพัด (Fan)	1,306.25
มอเตอร์ (Motor)	139.17
โครงสร้าง (Structure)	1,104.09
วัสดุหุ้ม (Fiber reinforce plastic casing)	3,691.28
แผ่นรังผึ้ง (PVC filler)	8,783.64
การขนส่ง (Transport)	50.27
ไฟฟ้า (Electricity)	360,625.22
น้ำ (Water)	1,115.22
การจัดการเมื่อสิ้นอายุการใช้งาน (End-of-life management)	1,135.38
ผลรวม	**378,277.09**

ภาพประกอบที่ 4.1
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนของหอผึ่งเย็น



เนื่องจากในงานวิจัยนี้ ผลกระทบของสิ่งแวดล้อมที่เลือกพิจารณาคือภาวะโลกร้อน (Global warming) ดังนั้นจากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นชนิด Counter flow ขนาด 400 ตันความเย็น จะก่อให้เกิดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนปริมาณ 378,277.09 kg $CO_{2,eq}$ และจากการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นโดยแยกแต่ละส่วนพบว่า ขั้นตอนการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างการใช้งานหอผึ่งเย็นมีผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดโดยครอบคลุมถึง 95.33% รองลงมาคือการใช้ PVC filler การใช้วัสดุหุ้มหอผึ่งเย็น (Fiber reinforce plastic casing) และการใช้ใบพัด (fan) โดยขั้นตอนการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนสูงกว่าช่วงการใช้ PVC filler ถึง 41.06 เท่าสูงกว่าการใช้วัสดุหุ้มถึง 97.7 เท่าและสูงกว่าการใช้ใบพัดถึง 276 เท่า

ความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้อง (Stakeholder's requirement)

จากการสอบถามความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้องพบว่ามีความต้องการในการลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนจาก PVC filler ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของหอผึ่งเย็น โดยการทดลองประยุกต์ใช้แผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad) ที่ผลิตจาก Kraft paper ซึ่งสามารถซับน้ำได้โดยไม่เปื่อยยุ่ยมาทดแทนการใช้ PVC filler

แนวทางการออกแบบเพื่อลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน

ผลการประเมินชี้ให้เห็นว่า แหล่งสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดเกิดจากขั้นตอนการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนใบพัดดูดอากาศ ดังนั้นแนวทางการออกแบบเพื่อลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนจึงมุ่งเน้นไปที่เรื่องของการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยอาจติดตั้งอุปกรณ์เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เช่น มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงหรือการลดน้ำหนักของใบพัดเพื่อลดภาระงานของมอเตอร์ และแหล่งสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากเป็นอันดับที่ 2 คือการใช้ PVC filler ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้องที่ต้องการลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนของ PVC filler โดยผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนเกิดจากการใช้วัตถุดิบที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมน้อยและผลจากการเกิดตะกรันดังนั้นแนวทางในการลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนจึงมุ่งเน้นไปที่การเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบและการกำจัดตะกรันที่เกิดขึ้น ส่วนแหล่งสำคัญลำดับที่สามและสี่ได้แก่การใช้วัสดุหุ้มที่ผลิตจาก Fiber reinforce plastic และการใช้ใบพัดที่ผลิตจาก Aluminum alloy ซึ่งผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนเกิดจากการใช้วัตถุดิบที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมน้อย จึงมุ่งเน้นไปที่เรื่องของการเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบ แนวทางในการลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนทั้ง 4 แนวทางนั้นครอบคุลมกว่า 98.98% ของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็น

การเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนระหว่าง หอผึ่งเย็นตัวอย่างและหอผึ่งเย็นที่ออกแบบใหม่

จากแนวทางในการออกแบบเพื่อลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ข และทำการประเมินผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนตามแนวทางที่ได้ออกแบบไว้และนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนหรือขั้นตอนของหอผึ่งเย็นดั้งเดิมดังต่อไปนี้

1. การลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนในขั้นตอนการใช้พลังงานไฟฟ้า

ในขั้นตอนการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็น ซึ่งเกิดจากอุปกรณ์หลักที่ใช้กระแสไฟฟ้าอันได้แก่มอเตอร์ซึ่งใช้ไฟฟ้าปริมาณ 104 MWh ต่อปีหรือ 1.04 GWh ตลอดวัฏจักรชีวิต

1.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้า (Motor) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยติดตั้งอยู่ที่ส่วนบนของหอผึ่งเย็นทำหน้าที่ขับเคลื่อนใบพัดเพื่อดูดอากาศให้ลอยขึ้นสวนทางกับละอองน้ำที่ตกลงมาทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากน้ำสู่อากาศ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนามอเตอร์ที่มีการสูญเสียในมอเตอร์ลดลงและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยเรียกว่า มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency motor) อย่างไรก็ตามการใช้งานมอเตอร์อย่างไม่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ตกต่ำลงกว่าค่าที่ควรจะเป็น ส่งผลให้มอเตอร์ใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าที่ควรจะเป็น

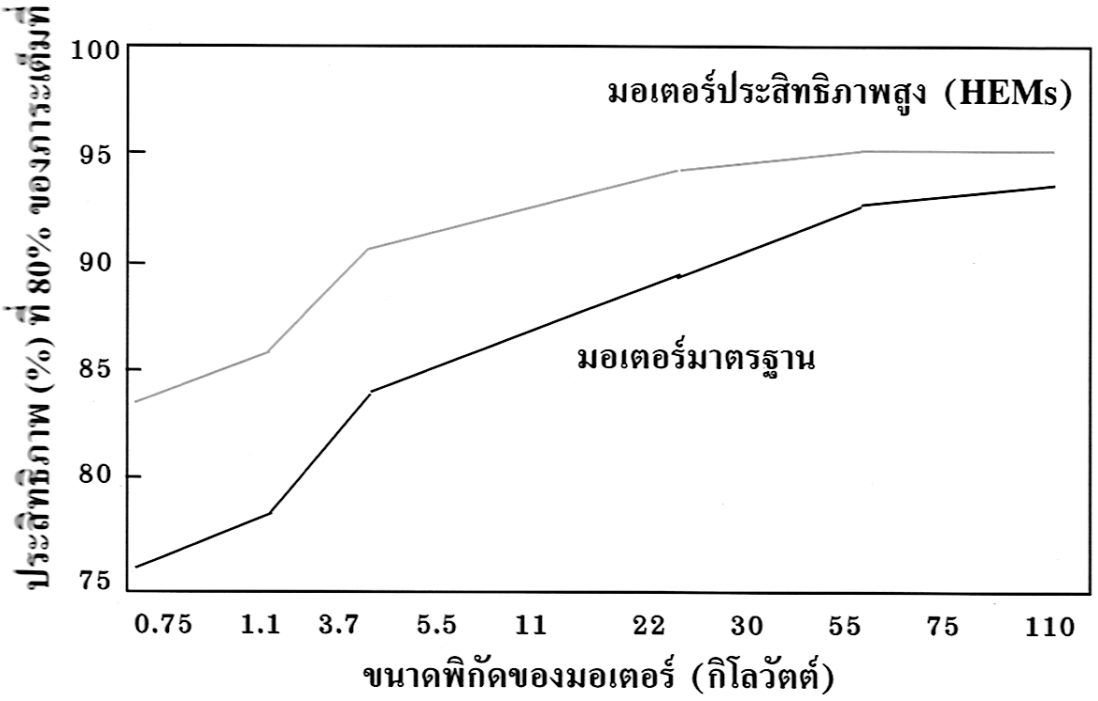
1.2 ประสิทธิภาพของมอเตอร์

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ คือ อัตราส่วนของกำลังกลที่ได้ออกมาต่อกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (ที่มีหน่วยเดียวกัน) ดังแสดงในสมการที่ 4.1 ต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังที่ส่งออก}}{\text{กำลังที่ป้อนเข้า}} \times 100\% = \frac{\left(\text{กำลังที่ป้อนเข้า} - \text{ความสูญเสีย}\right)}{\text{กำลังที่ป้อนเข้า}} \times 100\% \quad (4.1)$$

โดยประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐานและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงสามารถแสดงเปรียบเทียบได้ดังภาพประกอบที่ 4.2

ภาพประกอบที่ 4.2
กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างมอเตอร์มาตรฐาน
และมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง



ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม,
มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและตัวปรับความเร็วมอเตอร์ในโรงงาน, หน้า 17

การเปลี่ยนมอเตอร์ที่ใช้ในวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นจากมอเตอร์มาตรฐานเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง จึงส่งผลให้เกิดการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรือลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg $CO_{2,eq}$) จึงได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพประกอบที่ 4.3

ตารางที่ 4.2

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการใช้ไฟฟ้าระหว่าง

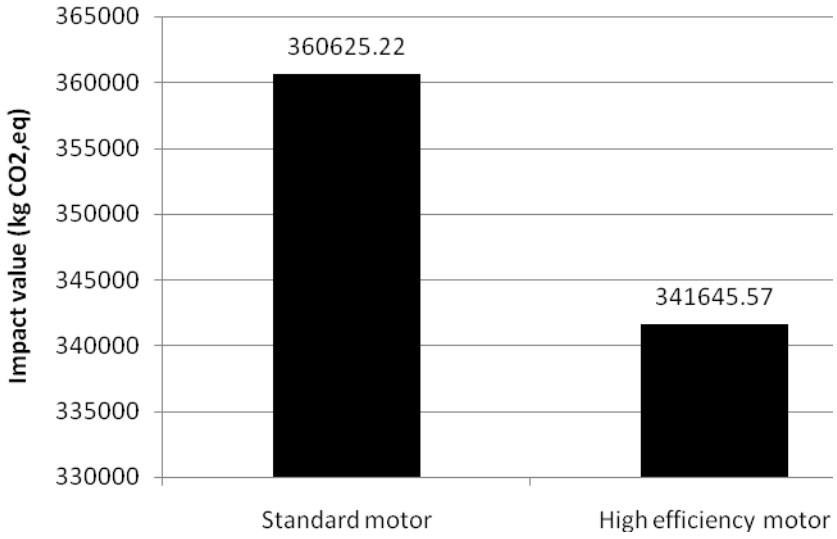
มอเตอร์มาตรฐานและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

	มอเตอร์มาตรฐาน	**มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง**
ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh)	1,041,331.44	986,526.31
ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (kg $CO_{2,eq}$)	360,625.22	341,645.57
ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง (kg $CO_{2,eq}$)	-	-18,979.65
เปอร์เซ็นต์ที่ลดได้	-	**-5.26%**

ภาพประกอบที่ 4.3

กราฟเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนระหว่าง

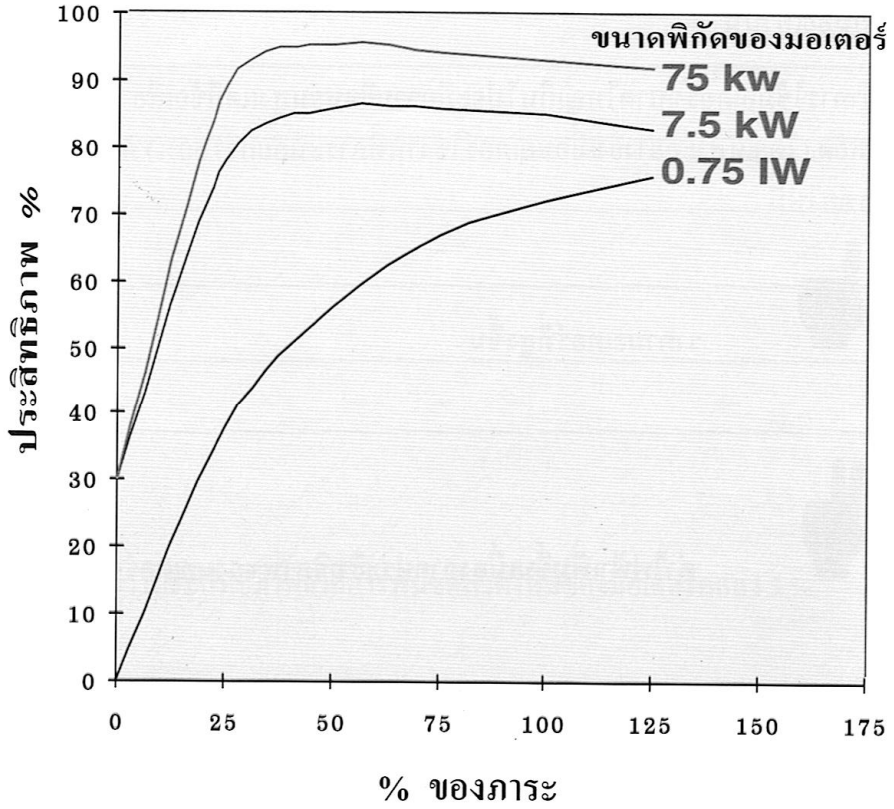
มอเตอร์มาตรฐานและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง



1.3 **ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของมอเตอร์กับภาระงานของมอเตอร์**

การใช้งานมอเตอร์จะต้องคำนึงถึงขนาดพิกัดของมอเตอร์และภาระงานเนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์ไม่ว่าจะเป็นแบบประสิทธิภาพสูงหรือแบบมาตรฐานก็ตามจะพบว่ามีค่าลดลงอย่างรวดเร็วหากมอเตอร์มีภาระงานน้อยกว่า 75% ของค่าพิกัดของมอเตอร์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.4

ภาพประกอบที่ 4.4
ความสัมพันธ์โดยทั่วไประหว่างประสิทธิภาพของมอเตอร์
กับภาระงานของมอเตอร์



ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม,
มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและตัวปรับความเร็วมอเตอร์ในโรงงาน, หน้า 34

ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของมอเตอร์กับภาระงานของมอเตอร์นั้นเกี่ยวเนื่องกับแนวทางการลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนโดยการเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบในการ

ผลิตใบพัด ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อการลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนจากการใช้ใบพัด Aluminum alloy

2. การลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนจากการใช้ PVC filler

การใช้ PVC filler เป็นสาเหตุรองของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็น ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้องที่ต้องการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจาก PVC filler โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเกิดจากการใช้วัตถุดิบที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมน้อยและปัญหาที่เกิดจากตะกรันที่เกาะแผ่น PVC filler จนนำไปสู่ปัญหาการอุดตัน จึงไม่สามารถนำกลับไปใช้ซ้ำ (Reuse) หรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle) ดังนั้นทางโรงงานจึงนำไปกำจัดโดยการฝังกลบ (Landfill) เท่านั้น

2.1 การเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต Filler

ในการใช้งาน Filler ที่ผลิตจาก PVC ก่อให้เกิดผลกระทบจากการที่วัตถุดิบมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมน้อย จึงได้หาวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติด้านต่างๆที่ใช้งานทดแทน PVC ในหอผึ่งเย็นได้โดยคุณสมบัติของ PVC ที่ใช้ในการพิจารณาแสดงดังในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

คุณสมบัติของ PVC

Density (kg/m^3)	Tensile strength, X 1000 psi	Max use temp.	
		°F	°C
1.49-1.58	7.5-9	230	110

ที่มา: Principles of materials science and engineering, McGraw-Hill international enterprises, 2006, Willliam F. Smith, p. 237

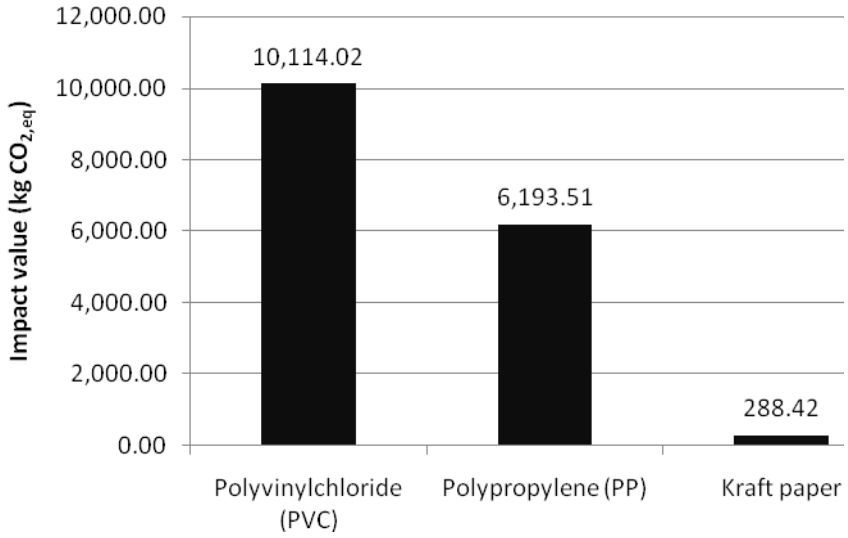
จากการสำรวจและศึกษาพบว่าวัตถุดิบ 2 ชนิดที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ทดแทน PVC ในการผลิต Filler ได้แก่ Polypropylene (PP) และ Kraft paper เนื่องจากพลาสติกชนิดอื่นๆมีอุณหภูมิการใช้งานสูงสุด (Max use temperature) ต่ำกว่าที่จะสามารถใช้งานได้หรือมี tensile strength ต่ำกว่า PVC มาก โดยที่ Polypropylene สามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง 120 °C ได้โดยไม่มีการเปลี่ยนรูปร่างและได้มีการนำ Polypropylene ไปผลิต filler ในเชิงพาณิชย์

แล้ว ในขณะที่ Kraft paper เป็นความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้องที่ทำการประเมินเพื่อจะได้ทราบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่จะเกิดขึ้น จึงได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิต เมื่อนำวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดนี้มาทดแทนในการผลิต Filler ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพประกอบที่ 4.5

ตารางที่ 4.4
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ผลิต Filler

ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (kg $CO_{2,eq}$)	Polyvinylchloride (PVC)	Polypropylene (PP)	Kraft paper
วัตถุดิบ	8,783.64	5,272.48	-560.97
การกำจัดด้วยการฝัง	1,330.38	921.03	849.39
การกำจัดด้วยการเผา	2,485.95	1,721.05	1,587.19
ผลรวม (กำจัดด้วยวิธีที่ดีที่สุด)	10,114.02	6,193.51	288.42
ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง (kg $CO_{2,eq}$)	-	-3,920.51	-9,825.6
เปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลง	-	-38.76%	-97.15%

ภาพประกอบที่ที่ 4.5
กราฟเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนระหว่างวัตถุดิบที่ใช้ผลิต Filler



2.2 การกำจัดตะกรัน

ตะกรันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ Filler สิ้นอายุการใช้งานเนื่องจากการที่ตะกรันเกาะแผ่น Filler ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนลดลงจนไปถึงเกิดการอุดตันเป็นผลให้ต้องทำการเปลี่ยน filler หรือการเพิ่มปริมาณวัตถุดิบนั้นเอง จึงได้ทำการค้นหาวิธีการในการป้องกันการเกิดตะกรันหรือการกำจัดตะกรันหลังจากการเปลี่ยนชิ้นส่วนได้ และพบว่าในงานวิจัยของธารายนต์ (ธารายนต์, 2007, Gear มี.ค., น.41-42) การกำจัดตะกรันจะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีปริมาณโอโซนละลายอยู่ในน้ำ โดยมีค่า pH ประมาณ 8.5 และควบคุมปริมาณโอโซนที่ละลายในน้ำให้มีค่าไม่ต่ำกว่า 0.1 ppm จึงได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตเมื่อมีการเติมโอโซนในน้ำ 0.1 ppm ตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการใช้โอโซนกำจัดตะกรัน

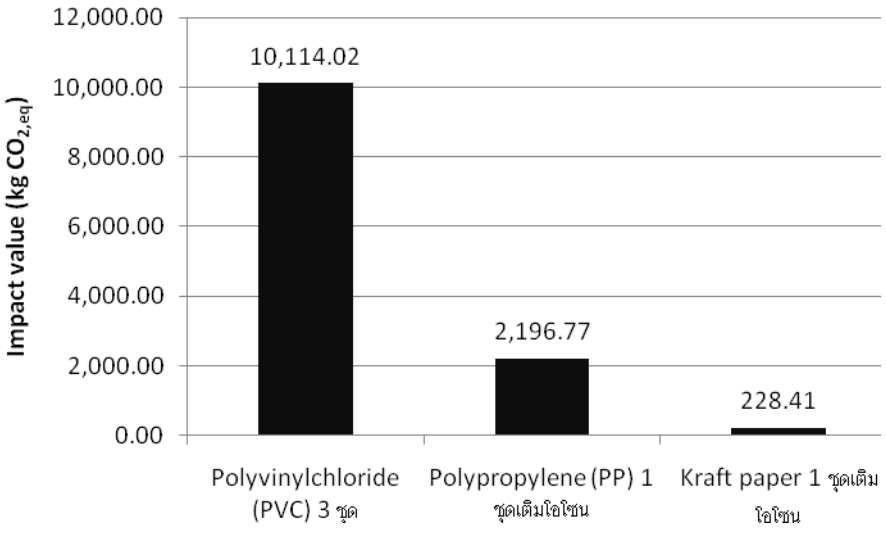
ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (kg $CO_{2,eq}$)	**โอโซน**
วัตถุดิบ	121.36
การกำจัดด้วยการฝัง	10.91
ผลรวม	**132.27**

ผลสืบเนื่องจากการที่สามารถละลายตะกรันได้ จึงสามารถลดปริมาณการใช้ Filler จากเดิมจำนวน 3 ชุดเหลือเพียง 1 ชุดตลอดวัฏจักรชีวิต จึงได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบระหว่างการใช้ PVC filler 3 ชุดและการใช้ filler 1 ชุดที่ผลิตจาก Polypropylene หรือ Kraft paper ผสมผสานกับการเติมโอโซน 0.1 ppm ในน้ำ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6 และภาพประกอบที่ 4.6

ตารางที่ 4.6
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างการไม่ใช้โอโซน
และใช้โอโซนกำจัดตะกรัน

ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (kg $CO_{2,eq}$)	Polyvinylchloride (PVC)	Polypropylene (PP) **เติมโอโซน**	Kraft paper **เติมโอโซน**
วัตถุดิบ	8,783.64	1,757.49	-186.99
การใช้โอโซน	-	132.27	132.27
การกำจัดด้วยการฝัง	1,330.38	307.01	283.13
ผลรวม	10,114.02	2,196.77	228.41
ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง (kg $CO_{2,eq}$)	-	-7,917.25	-9,885.61
เปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลง	-	**-78.27%**	**-97.74%**

ภาพประกอบที่ 4.6
กราฟเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนระหว่าง
การใช้ PVC filler และการผสมผสานการเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบ
ที่ใช้ผลิต fillerและการเติมโอโซนเพื่อกำจัดตะกรัน



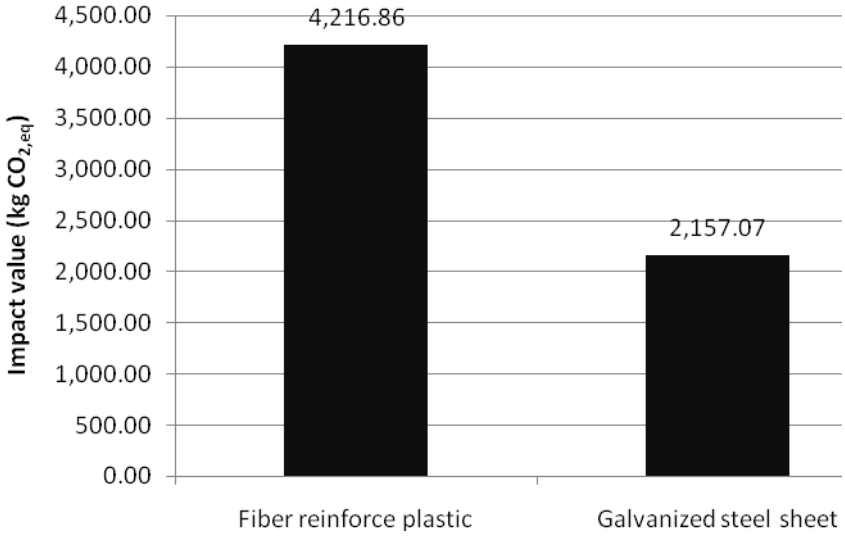
3. **การลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนจากการใช้วัสดุหุ้มที่ผลิตจาก** Fiber reinforce plastic

การใช้วัสดุหุ้มที่ผลิตจาก Fiber reinforce plastic เป็นสาเหตุลำดับที่สามของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็น โดยเกิดจากการใช้วัตถุดิบที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมน้อย จึงได้ทำการค้นหาวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นวัสดุหุ้มทดแทน Fiber reinforce plastic ได้ ซึ่งจากการสำรวจและศึกษาพบว่าวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ทดแทน Fiber reinforce plastic ในการผลิตวัสดุหุ้มได้แก่ Galvanized Steel sheet ซึ่งได้มีการนำไปใช้ในการผลิตวัสดุหุ้มหอผึ่งเย็นที่โรงงานแห่งอื่น จึงได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิต ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7 และภาพประกอบที่ 4.7

ตารางที่ 4.7
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ใน
การผลิตวัสดุหุ้มหอผึ่งเย็น

ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน ($kg\ CO_{2,eq}$)	Fiber reinforce plastic	Galvanized steel sheet
วัตถุดิบ	3,691.28	753.30
การกำจัดด้วยการฝัง	525.58	1,403.77
การกำจัดด้วยการเผา	982.10	-
ผลรวม (กำจัดด้วยวิธีที่ดีที่สุด)	4,216.86	2,157.07
ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง ($kg\ CO_{2,eq}$)	-	-2,059.79
เปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลง	-	**-48.85%**

ภาพประกอบที่ 4.7
กราฟเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อน
ระหว่าง Fiber reinforce plastic และ
Galvanized steel sheet



4. การลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนจากการใช้ใบพัด Aluminum alloy

การใช้ใบพัดที่ผลิตจาก Aluminum alloy เป็นสาเหตุลำดับที่สี่ของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็น โดยเกิดจากการใช้วัตถุดิบที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมน้อย จึงได้ทำการค้นหาวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมมาผลิตเป็นใบพัดทดแทน Aluminum alloy ซึ่งจากการสำรวจและศึกษา พบว่าวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ทดแทน Aluminum alloy ในการผลิตใบพัด ได้แก่ Polypropylene (PP) ซึ่งจากการที่ใบพัดมีน้ำหนักลดลงทำให้ขนาดภาระงานของมอเตอร์ลดลง จึงสามารถลดขนาดของมอเตอร์ลงเพื่อให้เหมาะสมกับขนาดภาระงาน เป็นผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงตามขนาดของกำลังมอเตอร์ที่ลดลงอย่างไรก็ตามจากการสำรวจมอเตอร์ที่ให้กำลังไฟฟ้าที่ส่งออกใกล้เคียง 7.425 kW นั้นมีเพียงมอเตอร์มาตรฐานเท่านั้น ซึ่งมีประสิทธิภาพประมาณ 90% และมีขนาดใกล้เคียงที่สุดที่ 9.2kW แต่ใช้กำลังป้อนเข้าที่ 8.25 kW จึงได้ทำการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.8, 4.9, 4.10 และภาพประกอบที่ 4.8

ตารางที่ 4.8

ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตใบพัด

ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน ($kg\ CO_{2,eq}$)	Aluminum alloy	Polypropylene (PP)
วัตถุดิบ	1,306.25	552.46
การกำจัดด้วยการฝัง	157.67	74.9
ผลรวม (กำจัดด้วยวิธีที่ดีที่สุด)	1,463.92	627.36
ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง ($kg\ CO_{2,eq}$)	-	-836.56

ตารางที่ 4.9

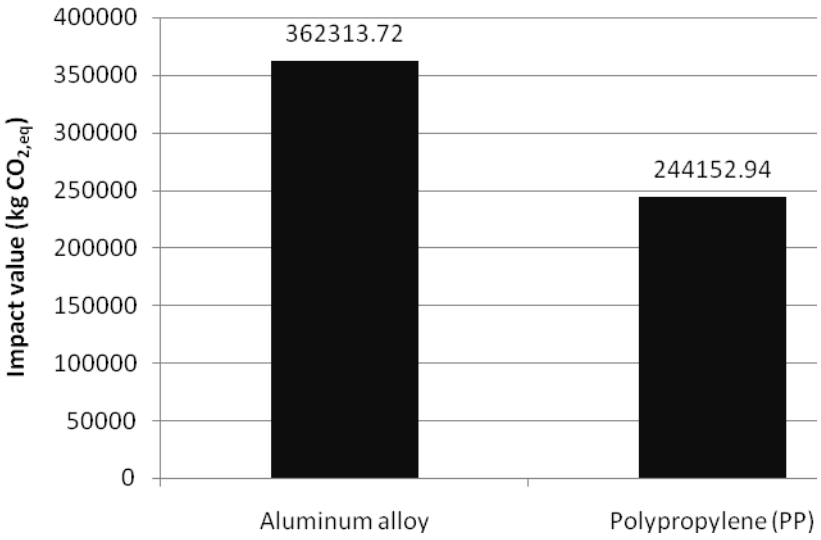
ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตจากการลดภาระงานของมอเตอร์

ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน ($kg\ CO_{2,eq}$)	**มอเตอร์**		**พลังงานไฟฟ้า**	
	11kW	**8.25 kW**	**11kW**	**8.25 kW**
วัตถุดิบ	139.17	62.09	360,625.22	243,422.7
การกำจัดด้วยการฝัง	85.41	40.79	-	-
ผลรวม	224.58	102.88	360,625.22	243,422.7
ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง ($kg\ CO_{2,eq}$)	-	-121.7	-	-117,202.52

ตารางที่ 4.10
สรุปผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการเปลี่ยนวัตถุดิบ
ที่ใช้ในการผลิตใบพัด

ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน ($kg\ CO_{2,eq}$)	Aluminum alloy	Polypropylene (PP)
ใบพัด	1,463.92	627.36
มอเตอร์	224.58	102.88
พลังงานไฟฟ้า	360,625.22	243,422.7
ผลรวม	362,313.72	244,152.94
ปริมาณที่เปลี่ยนแปลง ($kg\ CO_{2,eq}$)	-	-118,160.78
เปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลง	-	**-32.61%**

ภาพประกอบที่ 4.8
กราฟเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนระหว่าง
Aluminum alloy และ Polypropylene (PP)



จากผลของการประเมินวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นตามแนวทางในการออกแบบเพื่อลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 วิธีการ CML 2000 สามารถเรียงลำดับตามศักยภาพของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่สามารถลดได้ดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนวัตถุดิบของใบพัด สามารถลดได้ 118,160.78 kg $CO_{2,eq}$
2. การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง สามารถลดได้ 18,979.65 kg $CO_{2,eq}$
3. การประยุกต์ใช้ Kraft paper filler ผสมผสานกับการกำจัดตะกรันด้วยโอโซน สามารถลดได้ 9,885.61 kg $CO_{2,eq}$
4. การเปลี่ยนวัตถุดิบของวัสดุหุ้ม สามารถลดได้ 2,059.79 kg $CO_{2,eq}$

ดังนั้นแนวทางแรกที่ควรจะนำไปปรับปรุงได้แก่การเปลี่ยนวัตถุดิบของใบพัดซึ่งเกี่ยวเนื่องกับการลดขนาดมอเตอร์เนื่องจากขนาดของภาระงานที่ลดลง ในลำดับต่อมาจึงประยุกต์ใช้ Kraft paper filler ผสมผสานกับการกำจัดตะกรันด้วยโอโซน และทำการเปลี่ยนวัตถุดิบของวัสดุหุ้มเป็น Coated steel sheet ซึ่งทั้ง 3 แนวทางนี้สามารถลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนได้ 130,106.18 kg $CO_{2,eq}$

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นดั้งเดิม พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นขั้นตอนที่สร้างผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดถึง 95.33% ตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็น อีกทั้งมีความต้องการจากผู้ที่เกี่ยวข้องในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจาก PVC filler จึงพิจารณาหาแนวทางเพื่อลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนครอบคลุมตั้งแต่ส่วนที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนสูงสุดจนถึงขึ้นตอนการใช้ PVC filler ซึ่งครอบคลุมกว่า 98.98% ของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็น อันได้แก่ การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า, การเปลี่ยนวัตถุดิบของ Filler ผสมผสานกับการกำจัดตะกรันด้วยโอโซน, การเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตวัสดุหุ้มหอผึ่งเย็น และการเปลี่ยนวัตถุดิบในการผลิตใบพัด โดยส่วนที่มีศักยภาพในการลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนสูงสุด ได้แก่ การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและการเปลี่ยนวัตถุดิบในการผลิตใบพัด ซึ่งเกี่ยวเนื่องกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการลดภาระงานของมอเตอร์ และเมื่อทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นตามแนวทางในการออกแบบเพื่อลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro version 7.1 วิธีการ CML 2000 พบว่าการเปลี่ยนวัตถุดิบของใบพัดจาก Aluminum alloy เป็น Polypropylene (PP) สามารถลดผลกระทบได้มากที่สุดถึง 118,160.78 kg $CO_{2,eq}$ อันเป็นผลจากการที่ใช้วัตถุดิบในการผลิตใบพัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นและการลดภาระงานของมอเตอร์ในระดับที่สามารถส่งผลให้ลดขนาดของมอเตอร์ลงได้หรือเป็นการลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็น แม้ว่าจะไม่มีมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงในขนาดของภาระงานที่ต้องการ อย่างไรก็ตามจากการทดลองใช้งานเกิดการรั่วไหลของไอน้ำเข้าไปในใบพัดทำให้เกิดการชำรุดก่อนเวลาอันควรจึงยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้จริง และจากการสอบถามผู้จัดจำหน่ายแผ่นระเหยน้ำที่ผลิตจาก Kraft paper ระบุว่าต้องการการทิ้งไว้ให้แห้งทุกวันเป็นระยะเวลาหนึ่งจึงไม่สามารถนำไปใช้งานในสถานที่ที่มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมงดังสถานที่ติดตั้งในกรณีศึกษานี้ได้

ดังนั้น แนวทางที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสมในกรณีศึกษานี้จึงเหลือเพียง การใช้มอเตอร์ประวิทธิภาพสูงเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า, การเปลี่ยนวัตถุดิบ

ของ Filler เป็น Polypropylene (PP) ผสมผสานกับการกำจัดตะกรันด้วยโอโซน และการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตวัสดุหุ้มหอผึ่งเย็นเป็น Galvanized steel sheet ซึ่งลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนได้ 18,979 kg $CO_{2,eq}$ 7,917.25 kg $CO_{2,eq}$ และ 2,059.79 kg $CO_{2,eq}$ ตามลำดับหรือรวมแล้วสามารถลดได้ 28,956.69 kg $CO_{2,eq}$

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้พบว่าแนวทางที่มีศักยภาพในการลดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุดในวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นได้แก่การลดภาระงานของมอเตอร์ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องไปถึงการลดขนาดของมอเตอร์และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จำเป็นในการดำเนินงานของหอผึ่งเย็นซึ่งเป็นส่วนที่มีผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนสูงที่สุดในวัฏจักรชีวิต แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองใช้งานเกิดการรั่วไหลของไอน้ำเข้าไปในใบพัด Polypropylene (PP) ผ่านทางรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนทำให้ใบพัดเกิดการชำรุดก่อนเวลาอันควร ดังนั้นควรจะหาวิธีการปิดรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนใบพัดที่เหมาะสมเพื่อให้มีอายุการใช้งานตามที่สมควรและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ต่อไปในอนาคต

อีกประการหนึ่งคือการประยุกต์ใช้แผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad) ที่ผลิตจาก Kraft paper นั้นจำเป็นต้องทำให้แห้งเป็นระยะเวลาหนึ่งทุกๆ 24 ชั่วโมงจึงไม่สามารถนำมาใช้งานในสถานที่ติดตั้งหอผึ่งเย็นในกรณีศึกษานี้ได้เนื่องจากพฤติกรรมการใช้งานหอผึ่งเย็นที่ไม่เอื้ออำนวยในการใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามถ้าสถานที่ติดตั้งแห่งอื่นมีพฤติกรรมการใช้งานหอผึ่งเย็นที่เหมาะสมกับการใช้ Kraft paper filler ก็จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (ม.ป.ป.). *มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและตัวปรับความเร็วมอเตอร์ในโรงงาน*. (ม.ป.พ.)

ชูชัย ต.ศิริวัฒนา. (2546). *การทำความเย็นและระบบปรับอากาศ*. กรุงเทพ: ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ธารายนต์. (มี.ค. 2550). ใช้โอโซนกำจัดตะกรันในระบบหอผึ่งเย็น. *Gear*, 3(3), 41-42

ธีระยุทธ์ เพ็งชัย. (5 กรกฎาคม 2551). EcoSesign: การออกแบบเพื่อลดโลกร้อน. *I-tech วารสารเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, *3*, 47-51

วันดี ลือสายวงศ์.(ม.ป.ป.). *วิธีประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA)*. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 ธันวาคม 2551, จาก http://www.dss.go.th/dssweb/st-artcles/files/cp_7_2550_LCA.pdf

Ammenberg, J., & Sundin, E. (2005). Product in environmental management systems: Drivers, barriers and experiences. *Journal of cleaner production*, *13*, 405-415

Duflou, J., Dewulf, W., Sas, P., & Vanherck, P. (2003). Pro-active life cycle engineering support tools. *Annals of the CIRP*, *52*, 29-32

Foster, P. V., Ramaswamy, P. A., Bertsen, T.,Betts, R., Fahey, D. W., Haywood, J., et al. (2007). *Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing*. Cambridge University Press

Fulkerson, R. (2008). Etiwanda cooling towers, repair or replace?. *CTI journal*, *29*(1), 72-78

Gurauskiene, I., & Varzinskas, V. (2006). Eco-design methodology for electrical and electronic equipment industry. *Environmental research, engineering and management*. *37*(1), 43-51

Harnpon Phungrassami. (2008). A review of time consideration in life cycle assessment. *Global journal of environmental research*, *2*(2), 62-65

Poritosh, R., Nei, D., Orikasa, T., Qingyi, X., Okadome H., Nakamura, N., et al. (2008). A review of life cycle assessment (LCA) on some food product. *Journal of food engineering*, *90*, 1-10

PRé Consultants. (n.d.). SimaPro 7.1 [Computer software and manual]. Netherland

Smith, W. F. (2006). *Principles of materials science and engineering*. McGraw-Hill international enterprises

Sutherland, J. W., & Haapala, K. R. (2007). Optimization of steel production to improve lifecycle environmental performance. *CIRP annals-manufacturing technology*, *56*(1), 5-8

Talbot, S. (2005, September). *Ecodesign practices in industry: an appraisal of product life cycle design initiatives in SMEs*. Engineering management conference, St. John's , Newfoundland & Labrador. Canada.

Thailand environment institute. (February 2003). *Final report for the project on LCA for asian countries – phase III*. Unpublished manuscript.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลของหอผึ่งเย็นและสถานที่ติดตั้ง

1. หอผึ่งเย็น

หอผึ่งเย็นในงานวิจัยนี้เลือกจากรุ่นที่มียอดขายสูงสุดของโรงงานผลิตแห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี ซึ่งเป็นหอผึ่งเย็นแบบ Counter flow ขนาด 400 ตันความเย็นมีวัฏจักรชีวิตเป็นระยะเวลา 10 ปี โดยมีส่วนประกอบและวัสดุดังนี้

1.1 โครงสร้าง (Structure)

โครงสร้างเป็นส่วนประกอบที่ผลิตจาก Galvanized steel น้ำหนัก 1 ตันทำหน้าที่เป็นแกนกลางให้ส่วนประกอบอื่นๆติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมได้ โดยตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นใช้เพียง 1 ชุด

1.2 วัสดุหุ้ม (Casing)

วัสดุหุ้มเป็นส่วนประกอบที่ผลิตจาก Fiber reinforce plastic น้ำหนัก 800 กิโลกรัม ทำหน้าที่เสมือนเป็นกรอบไม่ให้น้ำและอากาศรั่วไหลออกหรือสิ่งต่างๆภายนอกเข้ามาเจือปนระหว่างการถ่ายเทความร้อน โดยตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นใช้เพียง 1 ชุด

1.3 หัวฉีดกระจายน้ำ (Sprinkler)

หัวฉีดกระจายน้ำเป็นส่วนประกอบที่ผลิตจาก Aluminum alloy น้ำหนัก 20 กิโลกรัม ทำหน้าที่ฉีดกระจายน้ำอุณหภูมิสูงที่รับมาจากคอนเดนเซอร์ให้เป็นฝอยก่อนเข้าสู่กระบวนการถ่ายเทความร้อน โดยตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นใช้เพียง 1 ชุด

1.4 มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์เป็นส่วนประกอบที่ผลิตจาก Steel น้ำหนัก 130 กิโลกรัมทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลเพื่อขับเคลื่อนใบพัด โดยตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นใช้เพียง 1 เครื่อง

1.5 ใบพัด (Fan)

ใบพัดเป็นส่วนประกอบที่ผลิตจาก Aluminum alloy น้ำหนัก 80 กิโลกรัมใช้งานร่วมกับมอเตอร์เพื่อดูดอากาศให้ลอยขึ้นและเกิดถ่ายเทความร้อนกับน้ำ โดยตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นใช้จำนวน 3 ชุด

1.6 **แผ่นรังผึ้ง** (Filler)

Filler เป็นส่วนประกอบที่ผลิตจาก Polyvinylchloride (PVC) น้ำหนัก 675 กิโลกรัม ทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนโดย filler จะเป็นช่องให้น้ำกระจายตัวเข้าไปในแต่ช่อง และจะมีพื้นที่สัมผัสกับอากาศเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น โดยตลอดวัฏจักรชีวิตของหอผึ่งเย็นใช้จำนวน 3 ชุด

2. สถานที่ติดตั้ง

สถานที่ติดตั้งหอผึ่งเย็นในงานวิจัยนี้เป็นสถานประกอบกิจการประเภทกิจการขนาดใหญ่ตั้งอยู่ในจังหวัดสระบุรี ซึ่งอยู่ห่างจากโรงงานผลิตหอผึ่งเย็นประมาณ 76 กิโลเมตร และมีการใช้งานหอผึ่งเย็นวันละ 24 ชั่วโมงและประมาณปีละ 355 วัน โดย 10 วันที่ไม่ได้ใช้งานเนื่องจากการซ่อมบำรุงหรือเกิดอุบัติเหตุทางไฟฟ้าขึ้น

ภาคผนวก ข.

การคำนวณแนวทางการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการใช้พลังงานไฟฟ้า

การเปลี่ยนมอเตอร์จากแบบมาตรฐาน (Standard motor) เป็นแบบประสิทธิภาพสูง เพื่อให้ทำงานเท่ากันได้โดยใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าเดิมนั้นจากตามปกติใช้มอเตอร์มาตรฐานมีกำลังที่ป้อนเข้า 12.22 kW และมีค่ากำลังที่ส่งออกออก 11 kW หรือประมาณมีประสิทธิภาพ 90% นั้นเมื่อเปลี่ยนเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High efficiency motor) จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็น 95% เมื่อกำหนดให้กำลังขาออกที่ 11 kW คงที่ทำให้จะสามารถคำนวณหาค่ากำลังขาเข้าได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังที่ส่งออก}}{\text{กำลังที่ป้อนเข้า}} \times 100\% = \frac{\left(\text{กำลังที่ป้อนเข้า} - \text{ความสูญเสีย}\right)}{\text{กำลังที่ป้อนเข้า}} \times 100\%$$

$$\text{มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง:} \qquad 95\% = \frac{11\text{kW}}{\text{กำลังที่ป้อนเข้า}} \times 100\%$$

$$\text{ดังนั้น} \qquad \text{กำลังที่ป้อนเข้าของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง} = \frac{11\text{kW}}{95\%} \times 100\% = 11.57894737 \text{ kW}$$

ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนจากมอเตอร์มาตรฐานเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและป้อนกำลังไฟฟ้าขนาด 11.5789 kW ตลอดวัฏจักรชีวิตจะใช้ปริมาณกำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น

$$11.5789 \text{ kW} \times 24 \text{ hr} \times 355 \text{ day} \times 10 \text{ year} = 986{,}526.31 \ \frac{\text{kWh}}{10 \text{ year}}$$

เมื่อนำไฟฟ้าปริมาณ 986,526 kWh มาประเมินวัฏจักรชีวิตด้วยโปรแกรม SimaPro 7.1 วิธีการ CML 2000 โดยใช้ฐานข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยจะได้ปริมาณผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน 341,645.57 kg $CO_{2,eq}$

การเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต Filler

การเปลี่ยนวัตถุดิบของ Filler จากเดิมใช้ Polyvinylchloride (PVC) เป็นวัตถุดิบได้ประเมินตามแนวทางการออกแบบที่ได้กำหนดไว้โดยเปลี่ยนเป็น Polypropylene (PP) หรือ Bleached kraft paper ซึ่งกำหนดให้ปริมาตรของวัตถุดิบที่ใช้นั้นเท่ากับการใช้วัตถุดิบ PVC โดยจากการชั่งน้ำหนักของ PVC filler ได้น้ำหนักรวมทั้งหมด 675 kg ต่อ Filler 1 ชุดและ PVC มีความหนาแน่น 1,300 $\frac{kg}{m^3}$ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาปริมาตรได้ดังนี้

Polyvinylchloride (PVC): $\frac{675kg}{1{,}300\frac{kg}{m^3}} = 0.5192307692\ m^3$

Polypropylene (PP) และ Kraft paper มีความหนาแน่น $900\frac{kg}{m^3}$ และ $830\frac{kg}{m^3}$ ตามลำดับจะสามารถคำนวณหาน้ำหนักของแต่ละวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ทดแทน PVC ได้ดังนี้

Polypropylene (PP): $0.5192307692\ m^3 \times 900\frac{kg}{m^3} = 467.30769$ kg ต่อ 1 ชุด

Kraft paper: $0.5192307692\ m^3 \times 830\frac{kg}{m^3} = 430.9615385$ kg ต่อ 1 ชุด

ซึ่งเมื่อนำไปใช้ตลอดวัฏจักรของหอผึ่งเย็นจำนวน 3 ชุดจะใช้วัตถุดิบทั้งสิ้น

Polyvinylchloride (PVC): 675 kg × 3 = 2,025 kg

Polypropylene (PP): 467.30769 kg × 3 = 1,401.923 kg

Kraft paper: 430.9615385 kg × 3 = 1,292.8846 kg

เมื่อนำ Filler ที่ผลิตจาก Polyvinylchloride (PVC), Polypropylene (PP) และ Kraft paper น้ำหนัก 2,025 kg, 1,401.923 kg และ1,292.8846 kg ตามลำดับมาประเมินวัฏจักรชีวิตด้วยโปรแกรม SimaPro 7.1 วิธีการ CML 2000 โดยได้ใส่ข้อมูลการผลิตด้วยวิธีการ Injection

moulding สำหรับ PVC และ PP จะได้ปริมาณผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน 10,114.02 kg $CO_{2,eq}$, 6,193.51 kg $CO_{2,eq}$ และ 288.42 kg $CO_{2,eq}$ ตามลำดับ

การกำจัดตะกรัน

ตะกรันเป็นสาเหตุหลักประการหนึ่งที่ทำให้ต้องทำการเปลี่ยน Filler เป็นชุดใหม่ เนื่องจากปัญหาการอุดตันจากตะกรันในขณะที่วัสดุของ filler ยังอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานต่อไปได้ ดังนั้นการกำจัดตะกรันระหว่างการใช้งานจึงเป็นวิธีการที่ยืดอายุการใช้งานของ Filler และเป็นผลให้สามารถลดจำนวนชุดของ filler ลงเหลือเพียง 1 ชุดตลอดวัฏจักรชีวิตโดยปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตมีดังนี้

ปริมาณน้ำที่หมุนเวียนในระบบ: $3{,}250\ \frac{\ell}{\text{min}} \times 60 = 195{,}000\ \frac{\ell}{\text{hr}}$

ในการใช้งานหอผึ่งเย็นจะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหย, การถูกอากาศพัดพา และการระบายทิ้งรวมกันประมาณ 1.5% ของปริมาณน้ำที่หมุนเวียนในระบบจึงต้องเติมเพื่อทดแทนน้ำส่วนที่สูญเสียไปมีปริมาณดังนี้

ปริมาณน้ำที่สูญเสียไป: $195{,}000\ \frac{\ell}{\text{hr}} \times 1.5\% = 2{,}925\ \frac{\ell}{\text{hr}}$

$$2{,}925\ \frac{\ell}{\text{hr}} \times 24\ \text{hr} \times 355\ \text{day} \times 10\ \text{year} = 249{,}210{,}000\ \frac{\ell}{10\ \text{year}}$$

ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิต: $195{,}000 + 249{,}210{,}000 = 249{,}405{,}000\ \ell$

การกำจัดตะกรัน โดยการเติมโอโซนในน้ำที่หมุนเวียนในระบบหอผึ่งเย็นความเข้มข้น 0.1 ppm ตลอดวัฏจักรชีวิตนั้นมีปริมาณดังนี้

$$0.1\ \text{ppm} = 0.0998859\ \frac{\text{mg}}{\ell}$$

ปริมาณโอโซนที่ใช้: $0.0998859 \frac{mg}{\ell} \times 249{,}405{,}000\ \ell = 24{,}912{,}042.89\ mg$

$$= 24.9120 \frac{kg}{10\ year}$$

เมื่อนำปริมาณโอโซนน้ำหนัก 24.9120 kg มาประเมินวัฏจักรชีวิตด้วยโปรแกรม SimaPro 7.1 วิธีการ CML 2000 โดยใช้การกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบจะได้ปริมาณผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน 132.27 kg $CO_{2,eq}$ และเมื่อนำ Filler ที่ผลิตจาก Polypropylene (PP) และ Kraft paper จำนวนอย่างละ 1 ชุดหรือน้ำหนัก 467.30769 kg และ 430.9615 kg ตามลำดับมาประเมินวัฏจักรชีวิตด้วยโปรแกรม SimaPro 7.1 วิธีการ CML 2000 โดยระบุข้อมูลการผลิตด้วยวิธีการ Injection moulding สำหรับ PP และการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบจะได้ปริมาณผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน 2,064.5 kg $CO_{2,eq}$ และ 96.14 kg $CO_{2,eq}$ ตามลำดับซึ่งเมื่อนำการเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต Filler มาใช้ร่วมกับการกำจัดตะกรันด้วยโอโซนจะมีปริมาณผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนดังนี้

Polypropylene (PP) และโอโซน:	2,064.5 + 132.27 = 2,196.77 kg $CO_{2,eq}$
Kraft paper และโอโซน:	96.14 + 132.27 = 228.41 kg $CO_{2,eq}$

การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัสดุหุ้มที่ผลิตจาก Fiber reinforce plastic

การเปลี่ยนวัตถุดิบของวัสดุหุ้ม (Casing) จากเดิมใช้ Fiber reinforce plastic เป็นวัตถุดิบเป็น Galvanized steel sheet โดยกำหนดให้พื้นที่ผิวภายนอกของวัสดุหุ้มมีพื้นที่เท่ากันคือ 68.3532 m^2 และมีความหนาของแผ่น steel sheet ตามที่มีการใช้งานกันจริงและความหนาแน่นของแผ่น steel sheet คือ 3.967 mm และ $7880 \frac{kg}{m^3}$ ตามลำดับซึ่งจะคำนวณหาน้ำหนักได้ดังนี้

$$68.3532\ m^2 \times 3.967\ mm = 0.2711571444\ m^3$$

$$0.2711571444\ m^3 \times 7880 \frac{kg}{m^3} = 2{,}136.718298\ kg$$

และมีพื้นที่ผิวที่ทำการ Coating เพื่อป้องกันการเกิดสนิมทั้งด้านในและด้านนอกของแผ่นเหล็กดังนี้

$$68.3532\ m^2 \times 2 = 136.7064\ m^2$$

เมื่อนำวัสดุหุ้มที่ผลิตจาก Galvanized steel sheet น้ำหนัก 2,136.7183 kg มาประเมินวัฏจักรชีวิตด้วยโปรแกรม SimaPro 7.1 วิธีการ CML 2000 โดยได้ใส่ข้อมูลกระบวนการ Coating พื้นที่ 136.7064 m^2 และการกำจัดด้วยวิธีการฝังจะได้ปริมาณผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน 667.9595 kg $CO_{2,eq}$, 85.34 kg $CO_{2,eq}$ และ 1,403.77 kg $CO_{2,eq}$ ตามลำดับ ดังนั้นการเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตวัสดุหุ้มจะมีปริมาณผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนดังนี้

$$667.9595 + 85.34 + 1,403.77 = 2,157.07\ kg\ CO_{2,eq}$$

การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ใบพัด Aluminum alloy

การเปลี่ยนวัตถุดิบของใบพัดจากเดิมใช้ Aluminum alloy เป็นวัตถุดิบเป็น Polypropylene (PP) โดยมีดุมและแกนกลางทำจาก Aluminum alloy หนัก 30 kg และใบพัด Polypropylene 4 ใบน้ำหนักรวม 16.65 kg ซึ่งเมื่อนำไปประเมินวัฏจักรชีวิตด้วยโปรแกรม SimaPro 7.1 วิธีการ CML 2000 โดยระบุข้อมูลการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบจะได้ปริมาณผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน 489.8455 kg $CO_{2,eq}$, 62.6188 kg $CO_{2,eq}$ และ 74.9 kg $CO_{2,eq}$ ตามลำดับหรือรวมผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนที่เกิดจากวัตถุดิบของใบพัด 627.36 kg $CO_{2,eq}$

ผลจากการเปลี่ยนวัตถุดิบของใบพัดส่งผลให้น้ำหนักโดยรวมลดลงหรือเป็นการลดภาระงานของมอเตอร์เหลือเพียง 7.425 kW หรือประมาณ 60% ของมอเตอร์เดิม ซึ่งเป็นการใช้งานมอเตอร์ที่ไม่เหมาะสมกับขนาดของมอเตอร์ซึ่งควรจะมีขนาดไม่น้อยกว่า 75% ของขนาดมอเตอร์ดังภาพประกอบที่ 4.4 และจากการสำรวจและค้นหาพบว่ามอเตอร์ในขนาดใกล้เคียงที่ให้กำลังขาออกมากกว่า 7.425 kW มีเพียงมอเตอร์แบบมาตรฐานขนาด 9.2 kW น้ำหนัก 57 kg เท่านั้นซึ่งเวลาใช้งานจริงจะใช้กำลังไฟฟ้าดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังที่ส่งออก}}{\text{กำลังที่ป้อนเข้า}} \times 100\% = \frac{\left(\text{กำลังที่ป้อนเข้า} - \text{ความสูญเสีย}\right)}{\text{กำลังที่ป้อนเข้า}} \times 100\%$$

$$90\% = \frac{7.425\,\text{kW}}{\text{กำลังที่ป้อนเข้า}} \times 100\%$$

$$\text{กำลังที่ป้อนเข้า} = 8.25\ \text{kW}$$

$$\text{กำลังที่ป้อนเข้าของมอเตอร์:} \qquad 8.25\ \text{kW} \times 24\ \text{hr} \times 355\ \text{day} \times 10\ \text{year} = 702{,}900\ \frac{\text{kWh}}{10\ \text{year}}$$

เมื่อนำมอเตอร์ขนาด 9.2 kW น้ำหนัก 57 kg และไฟฟ้าปริมาณ 702,900 kWh มาประเมินวัฏจักรชีวิตด้วยโปรแกรม SimaPro 7.1 วิธีการ CML 2000 โดยระบุการกำจัดมอเตอร์ด้วยวิธีการฝังกลบและใช้ฐานข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยจะได้ปริมาณผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน 102.88 kg $CO_{2,eq}$ และ 243,422.7048 kg $CO_{2,eq}$ ตามลำดับ ดังนั้นการเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตใบพัดจะมีปริมาณผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนดังนี้

ปริมาณผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน = ผลกระทบจากวัตถุดิบของใบพัด + ผลกระทบจากวัตถุดิบของมอเตอร์ + ผลกระทบจากการใช้ไฟฟ้า

= 627.36 + 102.88 + 243,422.7048

= 244,152.94 kg $CO_{2,eq}$

ผลงานทางวิชาการ

ENVIRONMENTAL PRODUCT DESIGN OF COOLING TOWER: SMES CASE STUDY IN THAILAND

S. Likhitvorakul[1] and H. Phungrassami[2]

[1] *Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Pathumthani 12120 Thailand*

[2] *National Center of Excellence for Environmental and Hazardous Waste Management, Faculty of Engineering, Thammasat University, Pathumthani 12120 Thailand*

1. Introduction

1.1 Thailand's weather and counter flow cooling tower

Since Thailand's weather is hot and humid cause almost industrial sector and large building sector need cooling tower as a main component for air-conditioning system while it's had a few development in the last decade but its component and energy used have a lot of impact on environment due to non-environmental friendly materials and low power efficiency equipments. Principle of cooling tower is the process consists of an air flowing upwards, a water thin film flowing downwards, and a large interface between these two phases then the heat transfer occurs at the interface[1)].

1.2 Life cycle thinking and Eco-design

1.2.1 Life cycle thinking (LCT) – the concept of Life Cycle Thinking integrates existing consumption and production strategies towards a more coherent policy making and in industry, employing a bundle of life cycle based approaches and tools. By considering the whole life cycle (Material acquisition, Manufacturing, transport, Use, End of life management), the shifting of problem from one life cycle stage to another, from one geographic area to another and from one environmental medium or protection target to another is avoided[2)]. Life cycle thinking addresses these life cycle generated impacts through the use of different approaches aiming at minimizing them such as: Life Cycle Assessment (LCA) [3)], Life Cycle Management (LCM), Life Cycle Costing (LCC), and Design for the Environment (DfE) [2)].

1.2.2 Eco-design or Design for Environment (DfE) - is the systematic design method which incorporates environmental issue into the product design and development for improvement of product environmental characteristics[4)]. The Design for Environment offers the possibility to lower the effort for decision support to product developers by a factor between 10 and 100, while being able to provide a similar reliability of the decision support as LCA studies can. DfE is hence the key to bring LCA to SMEs[2)].

2. Methodology

Small and Medium Sized Enterprises (SMEs) in Thailand are meeting increasingly strict legal and customer requirement on environmental issues. But the lack of knowledge, budget and resources is the problems. Life cycle thinking and Design for Environment concepts are applied to this case study to help SMEs whom confront those problems. The briefly procedure is as follow[5)]:

2.1 The first step of the case study is literature review for induce a firm to improve the environmental performance of its products.

2.2 Next, Select the 400 refrigerant ton cooling tower as a research model due to it is a top sell model. And also, the stakeholder's requirement was gathering too.

2.3 Build their environmental profile to identify the significant environmental impact and set up the priority that should be considered to reduce the impact serially. In this step LCT and computer aided design was use for analysis and evaluate.

2.4 Green idea creation was build upon the environmental impact priority from the above step. The idea creation was considered along with stakeholder's requirement.

2.5 Analysis and evaluate environmental impact for the new model after applied green idea.

3. Results and discussion

From the Environment impact assessment the highest impact is in the use phase due to extremely electric power consumption. The sample of the data collection is a factory which runs 24 hours a day, occasionally shut down for maintenance and has a power outage less than 10 days per year. Then it show that this factory consumes energy all over the year. The high efficiency motor is the best option for this problem. After comparison between the present motor which has 90% efficiency and the high efficiency motor which has 95% efficiency, the result shown that it can save more than 54,807kwh throughout its lifetime or equal to 18,980.31 $kgCO_2$ eq.

From stakeholder requirement the environment impact from filler is to be considered. Hence the next issue to improve is the reduction of environmental impact from filler.

4. References

1. Nenad Milosavljevic, Pertti Heikkilä, A comprehensive approach to cooling tower design, Appl. Therm. Engng. 21 (2001) 899-915
2. European commission ec.europa.eu
3. ISO 14040 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework
4. ECOLIFE network, Eco-design guide: Environmentally improved product design case studies of the European electrical and electronics industry, July 2002.
5. Phungrassami, H., Life Cycle Assessment and Ecodesign, Lecture note, Faculty of Engineering, Thammasat university, 2008

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	นายสมภพ ลิขิตวรกุล
วันเดือนปีเกิด	16 พ.ย. 2524
วุฒิการศึกษา	วท.บ. เทคโนโลยีพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
ผลงานทางวิชาการ	สมภพ ลิขิตวรกล, หาญพล พึ่งรัศมี. (2008). Environmental product design of cooling tower SMEs case study in Thailand. International Symposium on Environmental Management (iSEM 2008) Nakorn nayok, Thailand, pp. 102-103