คู่มือวิทยากร

การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมที่ประสบความสำเร็จ
กรณีตัวอย่าง อุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

คำนำ

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยจากรายงานการใช้พลังงานประจำเดือนธันวาคม 2554 พบว่าปริมาณการใช้พลังงานของประเทศในส่วนของภาคอุตสาหกรรม มีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงถึงกว่า 36% ของการใช้พลังงานทั้งประเทศ ถ้าหากปล่อยให้การใช้พลังงานเป็นไปตามสภาพปัจจุบันก็จะเกิดผลกระทบต่อการใช้พลังงานของประเทศ และจากที่ผ่านมา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ดำเนินโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมให้กับภาคอุตสาหกรรมทั้งโรงงานควบคุมและ SME ไม่น้อยกว่า 3,000 แห่ง และได้ผลสำเร็จเป็นที่น่าพอใจเป็นอย่างมาก แต่เนื่องจากโรงงานต่างๆ ยังมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งการดำเนินโครงการอนุรักษ์พลังงานดังกล่าวให้ครอบคลุมทั้งหมด จะต้องใช้งบประมาณเป็นจำนวนมหาศาลและอาจจะต้องใช้ระยะเวลานานมาก ดังนั้น สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน จึงมีแนวคิดที่จะนำผลสำเร็จจากโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม มาจัดทำเป็นกรณีศึกษาแยกตามประเภทอุตสาหกรรม และจัดทำเป็นหลักสูตรฝึกอบรมให้แก่โรงงาน แยกตามประเภทอุตสาหกรรมเพื่อเป็นการขยายผลการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

คู่มือฉบับนี้พัฒนาและจัดทำโดยทีมงานพัฒนาหลักสูตรซึ่งประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาชีพที่มีความรู้และประสบการณ์โดยตรงในโครงการด้านการอนุรักษ์พลังงาน ในสาขาต่าง ๆ ซึ่งได้รวบรวมความรู้ทั้งด้านทฤษฎีและด้านการปฏิบัติ รวมถึงข้อมูลการศึกษา วิเคราะห์ ทบทวนเอกสารต่างๆ และค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติมในเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจากโครงการด้านการอนุรักษ์พลังงานที่ประสบความสำเร็จ เช่น โครงการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีส่วนร่วม โครงการ Standard Measure โครงการลดภาษีอุปกรณ์และวัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โครงการเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และสถานประกอบการที่ได้รับรางวัล Thailand Energy Awards โดยได้พัฒนาหลักสูตรให้มีความเหมาะสมกับสภาพปัจจุบันและมีความเป็นไปได้จริงที่จะนำมาใช้อุตสาหกรรมของประเทศไทย ซึ่งคณะทำงานได้พิจารณาคัดเลือกกรณีตัวอย่างในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป เพื่อจัดทำเป็นหลักสูตรและคู่มือประกอบการฝึกอบรมในครั้งนี้

รายละเอียดของเนื้อหาของคู่มือได้เน้นการให้ความรู้ในด้านกระบวนการผลิตและรูปแบบการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง อุตสาหกรรมห้องเย็น และผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูป รวมถึงแนวทางในการตรวจประเมินด้านประสิทธิภาพพลังงาน การประเมินศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน และได้แสดงกรณีศึกษาที่ประสบความสำเร็จด้านการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิต และอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อเป็นตัวอย่างในการดำเนินการของสถานประกอบการ

สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน หวังว่าคู่มือฉบับนี้จะช่วยพัฒนาบุคลากรของสถานประกอบการในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป ให้เกิดความรู้ความสามารถในการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืนต่อไป

สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

คณะทำงานพัฒนาหลักสูตร

คณะกรรมการตรวจการจ้าง

1.	นายมนัสวี ฮะกีมี	ประธานกรรมการตรวจการจ้าง ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน
2.	นายนายเฉลิมชัย ผดุงหัส	กรรมการตรวจการจ้าง
3.	นายบรรพต ดิสกุล	กรรมการตรวจการจ้าง
4.	นางสาวพรพิมล สุวรรณนิมิตร	กรรมการตรวจการจ้าง
5.	นายวรชัย วรชัยธรรม	กรรมการตรวจการจ้าง

คณะกรรมการพัฒนาหลักสูตร

1.	นายวิชาญ นาคทอง	ผู้จัดการโครงการ
2.	ผศ.ดร.กูสกานา กูบาฮา	เจ้าหน้าที่ด้านพัฒนาหลักสูตร
3.	นายสมเจตน์ ทองคำวงศ์	เจ้าหน้าที่เฉพาะสาขาวิชา
4.	นางสาวเฉลิมพร อยู่ประเทศ	เจ้าหน้าที่ด้านสื่อการสอน
5.	นางสาวอังสุมณ ฝักเจริญผล	เจ้าหน้าที่ด้านสื่อการสอน
6.	นายภิญโญ ตัณฑุมาศ	ผู้เชี่ยวชาญด้านอนุรักษ์พลังงาน
7.	นายชัยศักดิ์ ชาตรีจันทร์สกุล	บริษัท เจริญโภคภัณฑ์ กรุ๊ป จำกัด

9 มิถุนายน 2556

สารบัญ

บทที่ 1 อุตสาหกรรมอาหารแปรรูป **หน้า**

1.1 บทนำ **1-1**
1.2 โครงสร้างอุตสาหกรรมอาหารของไทย **1-2**
1.2.1 ภาพรวมการส่งออกอุตสาหกรรมอาหาร 1-3
1.2.2 ภาพรวมการนำเข้าอุตสาหกรรมอาหาร 1-3
1.3 แนวโน้มความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารในอนาคต **1-3**
1.4 การจำแนกผลิตภัณฑ์อาหารตามเทคโนโลยี **1-5**
1.5 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอาหาร **1-6**
1.6 ศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร **1-9**

บทที่ 2 การจัดการพลังงานอย่างยั่งยืนตามมาตรฐาน ISO 50001 Carbon Footprint และ Water footprint **หน้า**

2.1 ความสำคัญของระบบการจัดการพลังงาน **2-1**
2.2 ความเข้าใจเบื้องต้นระบบมาตรฐานการจัดการพลังงาน ISO 50001 **2-2**
2.2.1 ISO คืออะไร 2-2
2.2.2 การนำมาตรฐาน ISO 50001 ไปใช้ 2-3
2.2.3 การขอการรับรองมาตรฐาน ISO 50001 2-3
2.2.4 ข้อกำหนดมาตรฐานการจัดการพลังงาน ISO 50001 2-5
2.2.5 กลยุทธ์ในการพัฒนามาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 2-9
2.3 Carbon Footprint คืออะไร? สำคัญอย่างไร? **2-10**
2.3.1 วิธีการและขอบเขตการประเมิน Carbon Footprint (CF) ของผลิตภัณฑ์ 2-11
2.3.2 รูปแบบการประเมิน Carbon footprint (CF) ของผลิตภัณฑ์ 2-11
2.3.3 ข้อมูลที่ใช้ประเมิน Carbon footprint (CF) ของผลิตภัณฑ์ 2-12
2.3.4 การคำนวณ Carbon footprint (CF) ของผลิตภัณฑ์ 2-12
2.3.5 การแสดงผล Carbon footprint (CF) ของผลิตภัณฑ์ 2-13
2.4 Water footprint คืออะไร? สำคัญอย่างไร? **2-14**
2.4.1 แหล่งน้ำในการคำนวณ Water footprint มี 3 ประเภท 2-15
2.4.2 ประโยชน์ของ Water footprint 2-15
2.4.3 การวางแผนจัดการเรื่องน้ำ 2-16
2.4.4 แนวทางการดำเนินการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในอนาคต 2-16

บทที่ 3 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป **หน้า**

3.1 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป **3-1**
3.2 กระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง **3-4**
3.3 กระบวนการผลิตปลากระป๋อง **3-6**
3.4 กระบวนการผลิตอาหารทะเล (กุ้ง, ปู, หอย) บรรจุกระป๋อง **3-8**
3.5 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมห้องเย็น **3-9**
3.6 กรรมวิธีการผลิตแกงกะทิสำเร็จรูป **3-12**
3.7 กรรมวิธีการผลิตอาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง (อาหารว่างประเภทนึ่งหรือทอด) **3-14**
3.8 รายการอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต **3-15**
3.8.1 หม้อไอน้ำ 3-16
3.8.2 ถังต้ม 3-16
3.8.3 ตู้ไล่อากาศ 3-17
3.8.4 หม้อฆ่าเชื้อ 3-18
3.8.5 อุปกรณ์อื่น ๆ ในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง 3-19
3.8.6 เครื่องแช่แข็ง (Freezer) 3-19
3.8.7 ห้องเย็น 3-21

บทที่ 4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน **หน้า**

4.1 บทนำ **4-1**
4.2 พื้นฐานของการตรวจวัดการใช้พลังงาน **4-1**
4.3 การศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้น **4-3**
4.4 การจำแนกเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ **4-4**
4.5 การศึกษาการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต **4-6**
4.6 การตรวจวัดระบบที่ใช้พลังงาน **4-8**
4.6.1 ระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้า 4-10
4.6.2 ระบบที่ใช้พลังงานความร้อน 4-19
4.7 การวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงาน **4-23**
4.7.1 การทำความเข้าใจในภาพรวมการใช้พลังงานและกระบวนการผลิตของทั้งโรงงาน 4-23
4.7.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 4-31
4.7.3 การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน 4-34
4.8 การประเมินการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากผลการอนุรักษ์พลังงาน **4-36**
4.9 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ **4-40**
4.9.1 การคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period) 4-40
4.9.2 การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value) 4-40
4.9.3 การหาอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return) 4-41

บทที่ 5 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป **หน้า**

5.1 การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต (Benchmarking energy use in processing) **5-1**
5.1.1 การวัดค่าตัวชี้วัดต่างๆ ที่สามารถทำได้โดยโรงงานเอง 5-3
5.1.2 ค่า Energy benchmarking ของอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป 5-3
5.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง **5-5**
5.2.1 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง 5-5
5.2.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง 5-10
5.3 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมห้องเย็น **5-18**
5.3.1 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมห้องเย็น 5-18
5.3.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมห้องเย็น 5-23
5.4 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารพร้อมปรุงสำเร็จรูป **5-26**
5.4.1 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุงสำเร็จรูป 5-26
5.4.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารพร้อมปรุงสำเร็จรูป 5-29
5.5 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบสนับสนุน **5-33**
5.6 การจัดทำรายงานและวิธีการคำนวณการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิต **5-38**

บทที่ 6 มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ประสบความสำเร็จในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป **หน้า**

6.1 มาตรการที่เกี่ยวข้องกับระบบในกระบวนการผลิต **6-1**
กรณีศึกษาที่ 6.1
การนำน้ำหล่อเย็นของเครื่องจักรมาใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำในกระบวนการผลิต 6-2
กรณีศึกษาที่ 6.2
การปรับปรุงสายพานลำเลียงเครื่อง Cooker 6-6
กรณีศึกษาที่ 6.3
การปรับปรุงคอยล์ร้อนเตาอบผลไม้ 6-9
กรณีศึกษาที่ 6.4
การปรับปรุงกระบวนการอุ่นน้ำมันพืชเพื่อรอการจำหน่าย 6-12
กรณีศึกษาที่ 6.5
การลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการละลายน้ำแข็งที่มากเกินความจำเป็น 6-15

กรณีศึกษาที่ 6.6
การปรับปรุงแผนกะเทาะทิวเพื่อเพิ่มผลผลิต (ยกเลิกขั้นตอนกะเทาะก้นกะลา) 6-18
กรณีศึกษาที่ 6.7
การติดตั้งเครื่องอัดน้ำยาแอมโมเนียและ Evaporative condenser 6-23
กรณีศึกษาที่ 6.8
การติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง 6-28
กรณีศึกษาที่ 6.9
การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุภัณฑ์ไส้กรอก 6-31
กรณีศึกษาที่ 6.10
การเปลี่ยนเครื่องผลิตน้ำเย็นจาก Compressor มาเป็น Absorption chiller (เชื้อเพลิงไม้ฟืน) 6-34
กรณีศึกษาที่ 6.11
การลดขนาดของเครื่อง Streaming ที่ใช้ในกระบวนการผลิต 6-37
กรณีศึกษาที่ 6.12
การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไอน้ำของเครื่อง Cooker โดยใช้ Auto Temperature 6-39
กรณีศึกษาที่ 6.13
การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเสียกับน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำเย็นโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน 6-42
กรณีศึกษาที่ 6.14
การลดปริมาณการใช้น้ำด้วยเครื่องฉีดน้ำความดันสูง 6-47
กรณีศึกษาที่ 6.15
การเปลี่ยนระบบทำความเย็นสำหรับห้องเย็นเก็บสินค้าจากระบบ Booster hi-stage เป็นคอมเพรสเซอร์แบบ Two-stage 6-51
6.2 มาตรการที่ในระบบสนับสนุน 6-55
กรณีศึกษาที่ 6.16
การลดการระบายน้ำทิ้งก้นหม้อไอน้ำให้เหมาะสม 6-55
กรณีศึกษาที่ 6.17
การปรับลดแรงดันไอน้ำ 6-61
กรณีศึกษาที่ 6.18
การเปลี่ยนไปใช้หม้อไอน้ำประสิทธิภาพสูง 6-65
กรณีศึกษาที่ 6.19
การเปลี่ยนใบพัดประสิทธิภาพสูงที่ Cooling Tower 6-70
กรณีศึกษาที่ 6.20
การใช้น้ำควบแน่นจากคอยล์เย็นช่วยระบายความร้อน 6-74
กรณีศึกษาที่ 6.21
การเลือกเดินเครื่องทำน้ำเย็นชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก 6-77

กรณีศึกษาที่ 6.22
การติดตั้ง VSD เพื่อควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำหล่อเย็น 6-81
กรณีศึกษาที่ 6.23
การปรับปรุงระบบท่อเครื่องสูบน้ำเพื่อแก้ไขการลัดวงจรของน้ำ 6-84
กรณีศึกษาที่ 6.24
การปรับความดันอากาศอัด จาก 8 บาร์ เหลือ 4 บาร์ 6-87
กรณีศึกษาที่ 6.25
การลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศ 6-90
กรณีศึกษาที่ 6.26
การลดการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณ Store area และ Loading area 6-93
กรณีศึกษาที่ 6.27
การติดตั้งอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า 6-98
กรณีศึกษาที่ 6.28
การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเป็นแบบไร้ออกซิเจน 6-102
กรณีศึกษาที่ 6.29
การเปลี่ยนหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวลและหม้อน้ำมันร้อนเชื้อเพลิงชีวมวล 6-106
กรณีศึกษาที่ 6.30
การติดตั้ง Chiller plant management 6-110

ภาคผนวก
ตารางแปลงหน่วย ข-1

เอกสารอ้างอิง **ค-1**

บทที่ 1
อุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

1.1 บทนำ

อุตสาหกรรมอาหาร เป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจของประเทศ สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตร และมีการเชื่อมโยงกับภาคเกษตรซึ่งเป็นกลุ่มประชากรหลักของประเทศ ก่อให้เกิดการจ้างงาน สร้างรายได้ และการลงทุนเป็นจำนวนมากสอดคล้องกับรายงานการใช้พลังงานในสาขาอุตสาหกรรมการผลิตที่จำแนกตามสาขาย่อยตั้งแต่ปี 2550 - 2554 พบว่าอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มใช้พลังงานมากเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศ และมีแนวโน้มจะใช้พลังงานมากที่สุดในอนาคต

ภายหลังจากประเทศไทยได้ประกาศนโยบายด้านอาหารและอุตสาหกรรมเกษตรในการเป็น **"ครัวของโลก"** เมื่อปี พ.ศ. 2546 หน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้องจึงพร้อมสนับสนุนนโยบายครัวไทยสู่ครัวโลกของรัฐบาลพร้อมทั้งผลักดันภาคอุตสาหกรรมอาหารของไทยสู่เวทีการค้าโลกอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมส่วนหนึ่งได้ยกระดับคุณภาพด้านความปลอดภัย (Food Safety) การลดต้นทุนด้วยการเพิ่มผลิตภาพและการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ตามแนวคิดการเพิ่มผลิตภาพสีเขียว (Green Productivity) เพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันให้ทัดเทียมนานาประเทศในเวทีการค้าโลก

ปัจจุบันการค้าระหว่างประเทศนอกเหนือจากกลยุทธ์การแข่งขันทางด้านราคาแล้ว ผู้ประกอบการบางรายที่ไม่สามารถแข่งขันได้ต้องหันมาค้นหามาตรการเพื่อจำกัดการแข่งขัน ในรูปของการกำหนดมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการใช้ฉลากร่องรอยคาร์บอน Carbon Label ที่ต้องแสดงบนฉลากของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างของมาตรการนี้คือ ประเทศอังกฤษได้ประกาศใช้มาตรฐานและวิธีปฏิบัติที่ดีเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดการปล่อยก๊าซ (BSI British Standard PAS 2050 :2008 Specification for the Assessment of the Life cycle greenhouse gas emissions of goods and services) และกรรมาธิการสหภาพยุโรปได้ประกาศใช้กฎหมายเกี่ยวกับมาตรการตรวจสอบย้อนกลับอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารที่เน้นการตรวจสอบย้อนกลับไปถึงการปล่อยก๊าซโลกร้อนในการผลิตทุกขั้นตอน ทำให้ประเทศต่างๆ ที่จะส่งสินค้าไปจำหน่ายในสหภาพยุโรปและอังกฤษต้องปฏิบัติตามซึ่งจะมีผลกระทบต่อเนื่องกับผู้ประกอบการในประเทศต่างๆรวมถึงประเทศไทยด้วย นอกจากนี้นอกจากนี้ยังมีการตื่นตัวในเรื่องการกำหนดมาตรฐานร่องรอยการใช้น้ำ Water Footprint ซึ่งเป็นแนวคิดเกี่ยวกับการวัดปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นค่าชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม เพื่อใช้ปรับลดการใช้น้ำในบางกระบวนการ สำหรับความคืบหน้าของการประกาศใช้กฎหมายของประเทศต่าง ๆ เช่น สหรัฐอเมริกา และฝรั่งเศส อยู่ระหว่างการนำเสนอกฎหมายดังกล่าวรัฐสภา ซึ่งในอนาคตจะมีการประกาศใช้ และในที่สุดจะส่งกระทบกับผู้ประกอบการของไทยที่อาจไม่สามารถส่งสินค้าไปยังสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรปได้ในอนาคตถ้าไม่มีการปรับตัว

ทิศทางในอนาคตของอุตสาหกรรมอาหารจะมุ่งเน้นภารกิจหลัก 3 เรื่องใหญ่ คือ Food Safety, Value Creation และ Environment ซึ่งเป็นการสนับสนุนให้ผู้ประกอบการเห็นถึงความสำคัญของ

สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นประเด็นที่ทั่วโลกให้ความสำคัญ ไม่ว่าจะเป็นเรื่อง Carbon Footprint, Water Footprint รวมถึงการลดพลังงานการใช้พลังงานให้คุ้มค่าหรือ Green Productivity เพื่อการผลิตอาหารอย่างยั่งยืน

1.2 โครงสร้างอุตสาหกรรมอาหารของไทย

อุตสาหกรรมอาหารของไทย ประกอบด้วย กลุ่มผู้ผลิตสินค้าการเกษตร อุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร และอุตสาหกรรมการผลิตอาหารและสินค้าสำเร็จรูป การผลิตในอุตสาหกรรมอาหารมีทั้งการผลิตเพื่อการบริโภคภายในประเทศและเพื่อการส่งออก โดยอุตสาหกรรมการผลิตมุ่งเน้นการตลาดในประเทศ จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีฐานการบริโภคขนาดใหญ่ และเป็นการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้า เช่น เครื่องดื่ม เครื่องเทศ ชา กาแฟ นมและผลิตภัณฑ์นม ในส่วนผลผลิตส่วนเกินจากความต้องการในประเทศจะถูกระบายออกไปยังต่างประเทศ

สำหรับการผลิตเพื่อส่งออก ส่วนมากจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการในประเทศน้อย หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการลงทุนของผู้ผลิตขนาดใหญ่และมีกำลังการผลิตส่วนเกิน โดยกลุ่มผู้ประกอบการที่ส่งออกจะมีสัดส่วนการส่งออกมากกว่าร้อยละ 70 ของผลผลิตทั้งหมด ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่

1) ผลิตภัณฑ์จากประมง ได้แก่ อาหารทะเลแช่เย็นแช่แข็ง อาหารทะเลกระป๋องและแปรรูป
2) ผลิตภัณฑ์จากปศุสัตว์ ได้แก่ ไก่สดแช่เย็นแช่แข็ง ผลิตภัณฑ์จากไก่ และสินค้าแปรรูปจากเนื้อไก่
3) ผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้ ได้แก่ ผักผลไม้สดและกระป๋อง น้ำผลไม้ และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากผักและผลไม้
4) ผลิตภัณฑ์ข้าวและสินค้าแปรรูปจากข้าว ได้แก่ แป้งแผ่น เส้นหมี่ และขนมอบกรอบ

ในส่วนของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารของไทย ส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานแปรรูปอาหารชั้นกลาง (Intermediate Products) และสินค้าสำเร็จรูป (Final Products) กระจายอยู่ตามแหล่ง การผลิตสินค้าเกษตรทั่วประเทศ โดยเทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจะเน้นการถนอมอาหารเป็นหลัก เช่น การถนอมอาหารโดยการใช้ความร้อนด้วยระบบ Sterilization Pasteurization การแช่แข็งเยือกแข็งอาหารโดยการใช้ความเย็นต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส และการให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟและการฉายรังสีอาหาร ซึ่งการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวจะแตกต่างและเปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการของตลาดและระบบรักษาความปลอดภัยอาหารที่เข้มงวดของตลาดในปัจจุบัน สำหรับการควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยอาหารจะมีระบบที่สำคัญ 2 ระบบคือ

1) HACCP : Hazard Analysis Critical Control Point เป็นระบบควบคุมคุณภาพมาตรฐานสากลและได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งจะยึดลักเกณฑ์ตามโครงการมาตรฐานระหว่างประเทศ FAO/WHO เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้อาหารที่ปราศจากอันตรายจากเชื้อจุลินทรีย์ สารเคมี และสิ่งแปลกปลอมต่างๆ
2) GMP : Good Manufacturing Practice เป็นระบบบริหารคุณภาพพื้นฐานในการผลิตอาหารโดยแนวทางปฏิบัติด้านสุขลักษณะทั่วไป

1.2.1 ภาพรวมการส่งออกอุตสาหกรรมอาหาร

ในการจัดทำดัชนีอุตสาหกรรมของศูนย์สารสนเทศ เศรษฐกิจอุตสาหกรรม ของสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม พบว่าการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมอาหารของไทยในช่วง 4 ปีที่ผ่านมา (2551 - 2554) มีอัตราการขยายตัวโดยเฉลี่ยร้อยละ 10.6 ต่อปี คิดเป็นปริมาณการส่งออกเฉลี่ย 30.4 ล้านตันต่อปีและมูลค่าการส่งออกเฉลี่ยปีละ 27,069.1 ล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งปัจจัยสนับสนุนที่ทำให้การส่งออกขยายตัว คือ ภาวะเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศคู่ค้าหลัก คือ สหรัฐฯ ญี่ปุ่น สหภาพยุโรป และจีน ยังขยายตัวดี นอกจากนี้สินค้าอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท เช่น ทูน่ากระป๋อง สับปะรดกระป๋อง กุ้งสดแช่เย็นแช่แข็ง และเนื้อไก่แปรรูป ยังได้รับการยอมรับจากต่างประเทศในเรื่องของการพัฒนาคุณภาพสินค้าและรักษามาตรฐานผลิตภัณฑ์ ทำให้การส่งออกขยายตัวต่อเนื่องทุกปี อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการส่งออกสินค้าที่สำคัญคือ ความผันผวนของเศรษฐกิจสืบเนื่องมาจากวิกฤติการเงินของอเมริกาปี 2551-2552 และราคาน้ำมันในตลาดโลกที่ปรับตัวสูงกว่าร้อยละ 40 จากฐานปี 2547 รวมถึงมาตรการกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษี นอกจากนี้มาตรการด้านสุขอนามัยและความปลอดภัยของอาหารจากประเทศคู่ค้า ทำให้สินค้าอาหารของไทยถูกกักกันและเกิดการชะลอการนำเข้าหลายรายการ

1.2.2 ภาพรวมการนำเข้าอุตสาหกรรมอาหาร

สินค้าวัตถุดิบและอาหารของไทยในช่วงปี 2551 - 2554 มีปริมาณการนำเข้าเฉลี่ย 10.0 ล้านตัน มูลค่า 8,085.0 ล้านเหรียญสหรัฐ ขยายตัวในเชิงมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.6 ต่อปีโดยสามารถแบ่งกลุ่มสินค้านำเข้าได้ 2 ประเภทคือ

สินค้าวัตถุดิบและกึ่งสำเร็จรูป มีสัดส่วนการนำเข้าประมาณร้อยละ 64.4 สินค้าสำคัญ ได้แก่ สัตว์น้ำแช่เย็นแช่แข็ง โดยเฉพาะการนำเข้าปลาแช่แข็งสายพันธุ์ที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตทูน่ากระป๋องและแปรรูป มีอัตราการขยายตัวที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสอดคล้องกับทิศทางการส่งออก

สินค้าอุปโภคบริโภค มีการนำเข้าเฉลี่ยประมาณ 1.8 ล้านตันต่อปี มูลค่า 2,877.7 ล้านเหรียญสหรัฐ โดยการขยายตัวจะปรับตามความต้องการบริโภคของประชาชน เช่น ผักและผลไม้เมืองหนาว ขยายตัวอย่างต่อเนื่องภายหลังเปิดเสรีทางการค้า

1.3 แนวโน้มความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารในอนาคต

โครงสร้างทางเศรษฐกิจ สังคม และตลาดของสินค้าและบริการต่างๆ ในตลาดโลกได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยฐานการผลิตและการบริโภคสินค้ารายใหญ่ในขณะนี้ที่กำลังพัฒนาความสำคัญมาเป็นลำดับ ได้แก่ ตลาดจีน อินเดีย และตลาดใหม่อย่างกลุ่มประเทศตะวันออกกลาง และกลุ่มประเทศแอฟริกา เป็นต้น ซึ่งภาพรวมมูลค่าตลาดอาหารและเครื่องดื่มโลกในปี 2549 ขยายตัว ร้อยละ 4 ในทุกภูมิภาค โดยกลุ่มตลาดใหม่ (ตะวันออกกลางและยุโรปตะวันออก) มีอัตราการเติบโตสูงสุดถึงร้อยละ 13 นอกจากนี้ พฤติกรรมการบริโภคในแต่ละภูมิภาคได้เปลี่ยนไป โดยผู้บริโภคเริ่มสนใจและใส่ใจกับสุขภาพและอาหารที่ให้ประโยชน์ต่อร่างกายมากขึ้น รวมถึงอาหารแช่เย็นแช่แข็งและอาหารสำเร็จรูปที่ง่ายต่อการบริโภค

อาหารที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันและมีศักยภาพในการขยายตัวในอนาคต เช่น เครื่องเทศและเครื่องปรุงรส (Sauces, Dressings and Condiments) อาหารพร้อมปรุง/พร้อมรับประทาน (Ready Meals) อาหารแช่แข็ง (Frozen Food) และอาหารแช่เย็น (Chilled Food) โดยแนวโน้มในแต่ละผลิตภัณฑ์สรุปได้ดังนี้

1) อุตสาหกรรมเครื่องเทศและเครื่องปรุงรส คาดว่าจะขยายตัว ร้อยละ 3 - 13 ต่อปี ซึ่งเป็นผลมาจากความนิยม โดยมีปัจจัยสนับสนุนการขยายตัวของอุตสาหกรรม คือ กระแสการบริโภคที่เน้นประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น อาหารที่เพิ่มคุณค่าเฉพาะ Function food และผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันต่ำ (Low-fat products) การยกระดับสินค้าเครื่องเทศและเครื่องปรุงรสให้อยู่ในกลุ่มสินค้า Premium การขยายตัวของการท่องเที่ยวและการเปิดรับกับอาหารท้องถิ่นต่างๆ จะทำให้ผู้บริโภคได้ทดลองรสชาติและเมนูอาหารใหม่ๆ มากขึ้น
2) แนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุง/พร้อมรับประทาน คาดว่าจะขยายตัวต่อเนื่องประมาณ ร้อยละ 3-18 โดยตลาดที่สำคัญคือ ตลาดเอเชียแปซิฟิกและยุโรป สำหรับปัจจัยที่จะส่งผลต่อการขยายตัวของอุตสาหกรรมดังกล่าว คือ การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ในด้านคุณภาพ รสชาติ ความสะดวกและง่ายต่อการรับประทาน และประโยชน์ต่อสุขภาพ
3) แนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งจะขยายตัวต่อเนื่องไม่น้อยกว่า ร้อยละ3 โดยตลาดทั่วไปที่สำคัญ ได้แก่ ตลาดยุโรปตะวันตกและอเมริกาเหนือ สำหรับตลาดเอเชียแปซิฟิก ยุโรปตะวันตกและลาตินอเมริกายังอยู่ในช่วงขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยมีปัจจัยสนับสนุนคือ การเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของผู้หญิงทำงานและกลุ่มคนโสด ความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ
4) แนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารแช่เย็น คาดว่าตลาดจะขยายตัวต่อเนื่องไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 โดยตลาดที่สำคัญ ได้แก่ ตลาดยุโรปตะวันตก อเมริกาเหนือและเอเชีย สำหรับปัจจัยสนับสนุนคือ กระแสความนิยมเนื้อสัตว์ที่ผ่านขั้นตอนการปรุงเบื้องต้น (pre-cooked) และผ่านการชำแหละหรือหั่นมาก่อนแล้ว (pre-sliced) ตลอดจนกระแสความต้องการบริโภคอาหารที่มีความหลากหลายมากขึ้น นอกจากนี้ความหลากหลายของสินค้าที่วางจำหน่ายยังเป็นปัจจัยที่กระตุ้นยอดขายได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มผู้บริโภคที่นิยมอาหารต่างถิ่น

จากแผนแม่บทอุตสาหกรรมอาหาร พ.ศ. 2553-2557 จะมุ่งเน้นการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด ภายใต้กรอบแนวคิดของการเร่งเครื่องประเทศไทยด้วยอุตสาหกรรมอาหาร (Thailand Food Forward) ซึ่งควรจะมีการกำหนดตำแหน่งทางการตลาดสำหรับสินค้าอาหารของไทยใหม่ โดยมุ่งสู่การเป็นผู้ผลิตและผู้ส่งออกสินค้าอาหารที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัย มีประโยชน์ต่อสุขภาพและมีความแตกต่างและหลากหลายของตัวผลิตภัณฑ์ ด้วยการเร่งพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมในการแปรรูปสินค้าอาหารเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและคุณค่าเพิ่ม รวมถึงการเป็นแหล่งผลิตที่มีความน่าเชื่อถือ และมีศักยภาพในการผลิตเป็นที่พึ่งหลักสำหรับประเทศผู้นำเข้าได้อย่างแท้จริง

แผนแม่บทฯ ดังกล่าวประกอบด้วย ยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารในระดับภาพรวมและยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารในระดับกลุ่มสินค้าคือ

1. สินค้าอาหารแปรรูปขั้นต้น คือ อาหารที่ถนอมไว้โดยผ่านกรรมวิธีการแปรรูปที่ไม่ซับซ้อน ได้แก่ แช่เย็นหรือแช่แข็ง หมัก ดอง ตัดแต่ง ปอกเปลือก ตากแห้ง เป็นต้น หรือเป็นอาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพเล็กน้อย และสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าแปรรูปได้

2. สินค้าอาหารแปรรูป คือ อาหารที่ผ่านกรรมวิธีปรุงแต่งผ่านกระบวนการทำให้สุก หรือผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีขั้นสูง หรือลักษณะของอาหารมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม หรือมีคุณลักษณะของอาหารที่ดีขึ้น หรือผลิตภัณฑ์ที่สามารถรับประทานได้ทันที หรือใช้วิธีการเตรียมก่อนการบริโภคได้ด้วยวิธีง่ายๆ และรวดเร็ว เช่น การทำให้ละลายและการให้ความร้อนรวมถึงอาหารสำเร็จรูป อาหารกึ่งสำเร็จรูป และอาหารพร้อมรับประทาน

1.4 การจำแนกผลิตภัณฑ์อาหารตามเทคโนโลยี

เมื่อพิจารณาระดับเทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูปอาหารจะพบว่าโรงงานขนาดเล็กและขนาดกลางจะใช้เทคโนโลยีพื้นฐานในการแปรรูป เช่น การทำแห้ง การหมัก ส่วนเทคโนโลยีที่ทันสมัยส่วนใหญ่จะนำเข้าและนำมาผลิตสินค้าทั่วไป เช่น การแช่เย็น การแช่แข็ง พาสเจอร์ไรส์และใช้เทคโนโลยีเฉพาะสำหรับผลิตสินค้าที่เฉพาะเจาะจง ตัวอย่างดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์อาหารจำแนกตามเทคโนโลยีการแปรรูป

Technology	Food Products
การทำแห้งแบบดั้งเดิม	หมูแห้ง (roasted, shredded or sliced) สัตว์น้ำแห้ง (shrimp, squid, anchovy, fish, mussel) ผักและผลไม้แห้ง (หน่อไม้ พริก พริกไทย สมุนไพร ใบหอม หัวหอม กระเทียม เห็ด สับปะรด ลำไย ลิ้นจี่ กล้วย)
การหมัก	กะปิ น้ำปลา ปลาเค็ม ปลาร้า ปลาส้ม ปลาเจ่า แหนมหมู หมูหมัก
เอ็กทรูชั่น (Extrusion)	เส้นก๋วยเตี๋ยว วุ้นเส้น ขนมขบเคี้ยว ฯลฯ
การแช่เย็นและแช่แข็ง	สัตว์น้ำแช่เย็น แช่แข็ง ไก่แช่เย็น แช่แข็ง อาหารพร้อมรับประทานแช่แข็ง ผักและผลไม้แช่แข็ง
พาสเจอร์ไรส์เซชัน(pasteurization)	นมสด น้ำผลไม้
สเตอริไลส์เซชัน (sterilization)	สัตว์น้ำบรรจุกระป๋อง ผักผลไม้บรรจุกระป๋อง นมยูเอชที อาหารกระป๋องพร้อมรับประทาน เช่น กุ้ง ข้าว ซุป นมกระป๋อง
กระบวนการพิเศษ เช่น การสกัดน้ำมัน การขึ้นรูป ฯ	น้ำมันพืชและผลิตภัณฑ์ เนื้อสัตว์แปรรูป เช่น ไส้กรอก แฮม เบคอน เครื่องดื่ม บะหมี่สำเร็จรูป

โรงงานแปรรูปส่วนใหญ่จะตั้งอยู่ใกล้แหล่งวัตถุดิบ เช่น โรงงานอาหารทะเลจะอยู่ภาคใต้ ภาคตะวันออก และบริเวณจังหวัดสมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม โรงงานสับปะรดอยู่บริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ชลบุรี กล่าวได้ว่าโรงงานอาหารของไทยเป็นการผลิตแบบอิงพื้นที่ (Rural-based) จำนวนโรงงานแปรรูปอาหารจำแนกตามประเภทสินค้าและขนาด ปี 2548 แสดงได้ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ตารางแสดงจำนวนโรงงานแปรรูปจำแนกตามประเภทสินค้าและขนาด

Type of Food factory	Small	Medium	Large	Total
1. Meat & poultry products	756	25	29	810
2. Dairy products	137	3	11	151
3. Fishery products	554	16	41	611
4. Vegetable & animal oils	213	3	26	242
5. Fruit & vegetable products	530	14	30	574
6. Cereal products (รวมโรงงานมันสำปะหลังอัดเม็ด)	2,620	5	34	2,659
7. Syrup & sugar	81	30	17	128
8. Tea, coffee, cocoa, chocolate & confectionery	255	2	5	262
9. Seasonings	459	3	12	474
10. Ice	1,393	-	-	1,393
11. Alcoholic beverages	41	9	21	71
12. Bottled water & non-alcoholic beverages	106	6	10	122
13. Starch, grind & pound grain	1,217	5	27	1,249
14. Feedstuff	634	2	34	670
Total	8,996	123	297	9,416

หมายเหตุ การกำหนดหลักเกณฑ์ประเภทและขนาดของโรงงานอาหาร เป็นไปตามกฎกระทรวงมาตรา 4 และ 5 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมปี 2543

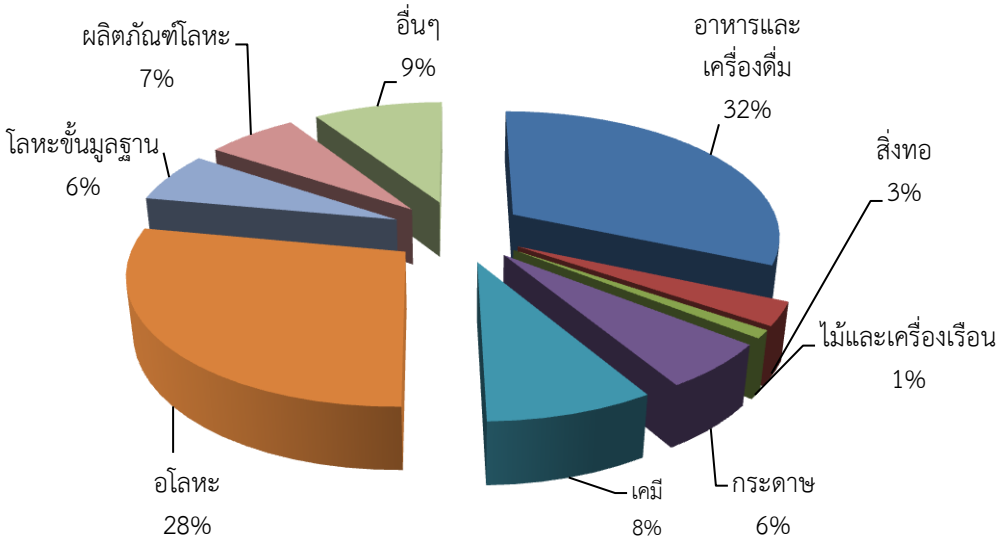
ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม

1.5 การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอาหาร

จากสถิติข้อมูลพลังงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานในช่วงปี พ.ศ. 2550-2554 พบว่ากลุ่มอุตสาหกรรมประเภทอาหารและเครื่องดื่มมีการใช้พลังงานคิดเป็น 31-34% และมีแนวโน้มเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานที่สูงในอนาคต ใกล้เคียงกับการใช้พลังงานของกลุ่มอโลหะ โดยการใช้พลังงานในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ในช่วงปี 2550-2555 แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1.3 การใช้พลังงานในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมในช่วงปี พ.ศ. 2550-2554

กลุ่มอุตสาหกรรม	การใช้พลังงาน : kTOE (ร้อยละ)					การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยต่อปี (%)
	ปี 2550	ปี 2551	ปี 2552	ปี 2553	ปี 2554	
อาหารและเครื่องดื่ม	7,373.00 (31.3)	8,090.00 (33.4)	8,089.00 (34.0)	8,017.00 (31.7)	7,851.00 (31.6)	1.68
สิ่งทอ	1,191.00 (5.1)	997.00 (4.1)	863.00 (3.6)	783.00 (3.1)	734.00 (3.0)	-11.31
ไม้และเครื่องเรือน	212.00 (0.9)	196.00 (0.8)	196.00 (0.8)	231.00 (0.9)	254.00 (1.0)	5.07
กระดาษ	1,747.00 (7.4)	1,757.00 (7.3)	1,549.00 (6.5)	1,412.00 (5.6)	1,433.00 (5.8)	-4.66
เคมี	1,837.00 (7.8)	1,907.00 (7.9)	2,129.00 (8.9)	2,221.00 (8.8)	2,085.00 (8.4)	3.41
อโลหะ	7,372.00 (31.3)	7,609.00 (31.4)	7,199.00 (30.3)	7,782.00 (30.8)	7,011.00 (28.2)	-1.00
โลหะขั้นมูลฐาน	938.00 (4.0)	1,023.00 (4.2)	1,030.00 (4.3)	1,503.00 (5.9)	1,592.00 (6.4)	15.40
ผลิตภัณฑ์โลหะ	1,644.00 (4.0)	1,598.00 (6.6)	1,243.00 (5.2)	1,503.00 (5.9)	1,607.00 (6.5)	0.71
อื่นๆ	1,220.00 (5.2)	1,018.00 (4.2)	1,500.00 (6.3)	1,829.00 (7.2)	2,287.00 (9.2)	19.44
รวม	**23,536.00**	**24,195.00**	**23,798.00**	**25,281.00**	**24,854.00**	**1.43**

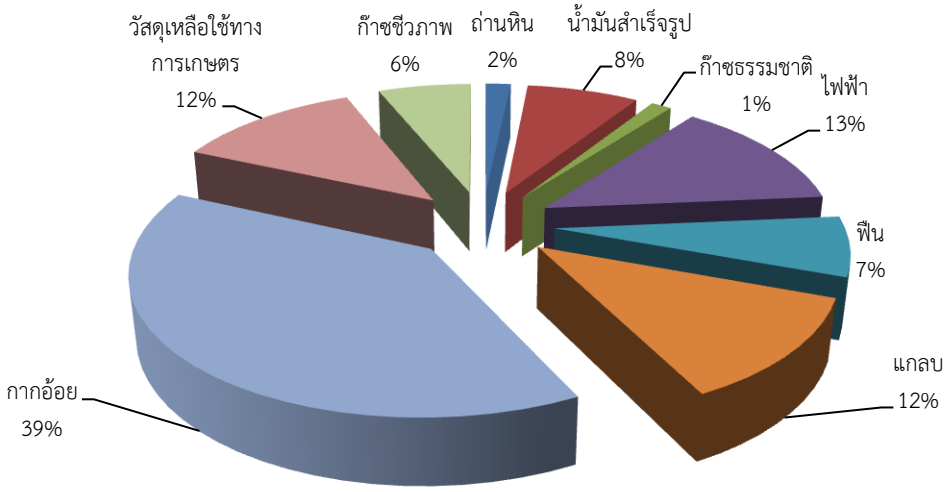


รูปที่ 1.1 สัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2554

ตารางที่ 1.4 การใช้พลังงานภาคอุตสาหกรรมการผลิต ในสาขาย่อยอาหารและเครื่องดื่มจำแนกตามรายปี

ชนิดของพลังงาน	2550	2551	2552	2553	2554
พลังงานเชิงพาณิชย์	**2,769**	**2,555**	**2,379**	**2,263**	**1,852**
ถ่านหิน	1,002	957	743	625	130
น้ำมันสำเร็จรูป	679	624	573	542	581
ก๊าซธรรมชาติ	198	112	124	104	106
ไฟฟ้า	890	862	939	992	1,035
พลังงานหมุนเวียน	**5,306**	**5,535**	**5,710**	**5,754**	**5,999**
ฟืน	500	538	412	541	549
แกลบ	1,003	1,143	1,195	995	944
กากอ้อย	2,636	2,818	2,826	2,705	3,065
วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	1,140	1,007	1,089	1,202	959
ก๊าซชีวภาพ	27	29	188	311	482
รวมทั้งสิ้น	**8,075**	**8,090**	**8,089**	**8,017**	**7,851**

หน่วย : พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ



รูปที่ 1.2 สัดส่วนชนิดพลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารปี พ.ศ. 2554

การใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มมีสัดส่วนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ลดลงจากเดิม 34.29% ในปี พ.ศ. 2550 เป็น 23.89% ในปี พ.ศ. 2554 การใช้ถ่านหินลดลงอย่างมากจาก 12.40% ในปี 2550 เหลือเพียง 1.65% ในปี พ.ศ. 2554 สำหรับสัดส่วนการใช้พลังงานจากน้ำมันสำเร็จรูป ก๊าซธรรมชาติและไฟฟ้าในแต่ละปีค่อนข้างคงที่ และการใช้พลังงานหมุนเวียนในภาคอุตสาหกรรมดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยปรับสัดส่วนจาก 65.71% ในปี พ.ศ. 2550 เป็น 76.11% ในปี พ.ศ. 2554 เชื้อเพลิงหลักของพลังงานหมุนเวียนคือกากอ้อย

1.6 ศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร

ประเทศไทยจัดอยู่ในกลุ่มผู้ผลิตสินค้าอุตสาหกรรมสำคัญที่มีการปล่อยก๊าซโลกร้อนและมีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตสินค้าในระดับสูง จำเป็นต้องให้ความสำคัญกับมาตรการกีดกันทางการค้าในในรูปแบบของการกำหนดมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการใช้ฉลากร่องรอยคาร์บอน Carbon Label ที่ต้องแสดงบนฉลากของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ภายใต้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 ได้กำหนดการพัฒนาประเทศไทยสู่การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจแบบคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Economy) และการพัฒนาที่ยั่งยืนบนพื้นฐานการใส่ใจสิ่งแวดล้อม มีความตื่นตัวในการให้ความรู้แก่ผู้ประกอบการเกี่ยวกับฉลากร่องรอยคาร์บอน และการวัดปริมาณการใช้น้ำในโรงงาน

การลดก๊าซเรือนกระจกรายสาขา หรือ Sectoral Approach คือ แนวทางลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละสาขาการผลิตหรือแต่ละประเภทอุตสาหกรรม ภายในประเทศหรือระหว่างประเทศ โดยหลักการของ Sectoral Approach จะเน้นการจัดหาข้อตกลงระหว่างประเทศในอุตสาหกรรมเดียวกัน ด้วยการกำหนดระดับการลดก๊าซเรือนกระจกร่วมกันระหว่างผู้ผลิตในอุตสาหกรรมนั้นๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลและศึกษาวิจัยค่า Carbon Intensity ในอุตสาหกรรมหลัก ได้แก่ อุตสาหกรรมเคมี อาหาร สิ่งทอและเซรามิก เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการเจรจาต่อรองกับกลุ่มผู้ผลิตอุตสาหกรรมเดียวกันในประเทศอื่นๆ

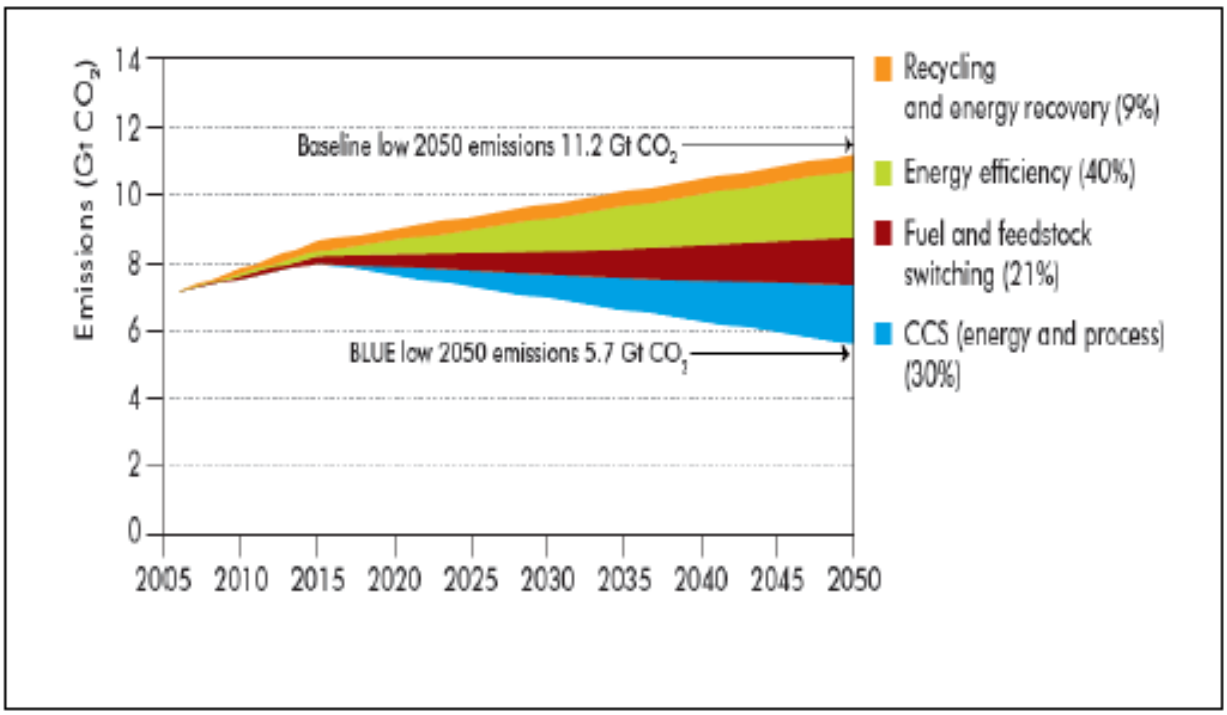
ผลการศึกษาค่า Carbon Intensity ที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอันเกิดจากภาคพลังงาน (Energy) และกระบวนการผลิต (Industrial Process and Product Use) ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก สำหรับอุตสาหกรรมแต่ละประเภท โดยนำข้อมูลจากรายงานการใช้พลังงานประจำปีและฐานข้อมูลโรงงานควบคุมรายโรงงานที่เก็บรวบรวมไว้เมื่อปี 2550 ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน โดยการศึกษาจะจำแนกอุตสาหกรรมย่อยตามการจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมขององค์การสหประชาชาติ (International Standard Industrial Classification of All Economic Activities, ISIC) และคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกตามกรอบของ IPCC (IPCC 2006) สำหรับค่า Carbon Intensity สำหรับอุตสาหกรรมแต่ละประเภทดำเนินการเปรียบเทียบออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (ton CO_2eq /ton product) และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบกับมูลค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ (kg CO_2eq /USD) สรุปผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 สรุปผลการคำนวณ Carbon Intensity ในแต่ละอุตสาหกรรมจำแนกตามอุตสาหกรรมย่อย

ลำดับ	สาขา อุตสาหกรรมการผลิต	ขอบเขต	มูลค่าผลิตภัณฑ์[1]	ปริมาณผลิตภัณฑ์[2]	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก	Carbon Intensity	
			Million USD	Million Ton	Million Ton CO_2 eq	Kg co_2eq/ USD	Ton co_2eq/ Ton Product
1.	**อาหาร**	โรงงานทั้งหมด (50,057)[3]	34,439.66		34.34	1.00	
		โรงงานควบคุม (389)[4]		32.38	12.43		0.38
1.1	แปรรูปแช่แข็ง	โรงงานควบคุม (158)[4]		8.36	2.27		0.27
1.2	ธัญพืช	โรงงานควบคุม (64)[4]		6.77	0.73		0.11
1.3	อื่นๆ (ก๋วยเตี๋ยว น้ำตาล ผงชูรส)	โรงงานควบคุม (121)[4]		12.69	8.76		0.69
1.4	เครื่องดื่ม	โรงงานควบคุม (46)[4]		4.56	0.67		0.15
2.	**เคมี**	โรงงานทั้งหมด (2,946)[3]	13,869.41		19.07	1.38	
		โรงงานควบคุม (99)[4]		10.30	3.64		0.35
2.1	เคมีภัณฑ์ขั้นมูลฐาน ยกเว้นปุ๋ยและสารประกอบในไนโตรเจน (ขั้นต้นและขั้นกลาง)	โรงงานควบคุม (57)[4]		6.60	2.58		0.39
2.2	ผลิตพลาสติกในขั้นต้น และยางสังเคราะห์ (ขั้นปลาย)	โรงงานควบคุม (36)[4]		3.08	0.76		0.25
2.3	ผลิตเส้นใยประดิษฐ์	โรงงานควบคุม (6)[4]		0.62	0.30		0.49
3	**สิ่งทอ**	โรงงานทั้งหมด (2,974)[3]	19,338.09		5.25	0.27	
3.1	เส้นใยสังเคราะห์ ปั่นด้าย ทอผ้า	โรงงานควบคุม (121)[4]		0.79	2.35		2.98
4.	**แก้วและกระจก**	โรงงานควบคุม (14)[4]		1.56	1.38		0.88
4.1	กระจกแผ่นเรียบ	โรงงานควบคุม (10)[4]		0.87	0.62		0.71
4.2	ขวดแก้ว	โรงงานควบคุม (4)[4]		0.69	0.76		1.09
5.	**เซรามิก**	โรงงานควบคุม (23)[4]		4.69	0.94		0.20
5.1	กระเบื้อง	โรงงานควบคุม (15)[4]		4.55	0.77		0.17
5.2	สุขภัณฑ์	โรงงานควบคุม(8)[4]		0.14	0.17		1.22

หมายเหตุ 1) World bank data catalog : http://data.worldbank.org 2) สำนักเศรษฐกิจอุตสาหกรรมออนไลน์ http://www.oie.go.th
3) รายงานพลังงานประเทศไทย พพ. ปี 2550 4) ฐานข้อมูลโรงงานควบคุม พพ. ปี 2550

จากการประเมินศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมอุตสาหกรรมทั่วโลกโดย International Energy Agency (IEA) พบว่าหากไม่นับรวม Carbon Capture Storage และ Recycling and energy recovery แล้วการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการเปลี่ยนเชื้อเพลิงถือเป็นกลไกหลักสำหรับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมโดยมีสัดส่วนรวมกันกว่า ร้อยละ 61 ของศักยภาพทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 1.3



ที่มา : Technology Transition for Industry, IEA, 2009

รูปที่ 1.3 ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ทั้งนี้การประเมินศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะมุ่งเน้นจาก 2 มาตรการหลัก คือ

(1) การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรและเทคโนโลยีการผลิต โดยกำหนดประสิทธิภาพของเทคโนโลยี ประสิทธิภาพขั้นสูงสำหรับเครื่องจักรพื้นฐาน

(2) การปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงของโรงงานที่มีการใช้น้ำมันเตาและถ่านหินเป็นพลังงานความร้อนมีการเปลี่ยนมาใช้ก๊าซธรรมชาติทั้งหมด ร่วมกับการพิจารณาศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากข้อมูลการกระจายตัวของข้อมูลค่า Carbon Intensity รายโรงงาน โดยจะทำการลดในโรงงานที่มีค่า Carbon Intensity สูงกว่าค่า Carbon Intensity เฉลี่ยของแต่ละอุตสาหกรรมย่อย ผลการประเมินศักยภาพในการลดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 สรุปผลการประเมินศักยภาพสำหรับลดก๊าซเรือนกระจก

สาขาอุตสาหกรรม	ปริมาณการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรม		สัดส่วนศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน [1]	ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจก			ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก					
				ภาพรวมแต่ละอุตสาหกรรม [2]		ข้อมูลเฉพาะโรงงานควบคุม [3]	การสับเปลี่ยนเชื้อเพลิง		การปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์หลัก		ศักยภาพจากเกณฑ์มาตรฐาน	
	2553	2573		2550	2573							
	ktoe	ktoe	ร้อยละ	ล้านตัน	ล้านตัน	ล้านตัน	ล้านตัน	ร้อยละ	ล้านตัน	ร้อยละ	ล้านตัน	ร้อยละ
ภาพรวมของอุตสาหกรรม	23,536	62,700	22									
อาหาร	6,634	19,260	28	34.34	99.68	12.43	0.34	2.74	0.79	6.36	5.16	41.5
เคมี	3,637	6,460	21	19.07	33.87	3.64	0.30	8.24	0.34	9.34	0.69	18.96
สิ่งทอ	853	2,269	n/a	5.25	13.97	2.35	0.05	2.13	0.12	5.11	0.65	27.66
อโลหะ	7,029	19,510	13									
แก้ว	n/a	n/a	n/a			1.38	0.04	2.90	0.08	5.80	0.21	15.22
เซรามิก	n/a	n/a	n/a			0.94	0.004	0.43	0.26	27.66	0.27	28.72
รวม 5 อุตสาหกรรมเป้าหมาย						**20.74**	**0.73**	**3.54**	**1.59**	**7.67**	**6.98**	**33.65**

ที่มา 1) แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี กระทรวงพลังงาน 2) รายงานพลังงาน พพ. ปี 2550 3) ฐานข้อมูลโรงงานควบคุม พพ. ปี 2550
หมายเหตุ : 1) พิจารณาจากฐานข้อมูลโรงงานควบคุม 2) ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกคำนวณเฉพาะค่าของโรงงานควบคุมปี 2550

จะเห็นว่าจากมาตรการในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตสามารถช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมอาหารได้ร้อยละ 6.36 และมาตรการในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงมาใช้ก๊าซธรรมชาติ สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมอาหารได้ร้อยละ 2.74 สำหรับในส่วนของการประเมินศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกจากการลดค่า Carbon Intensity ของโรงงานที่มีค่า Carbon Intensity สูงกว่าค่าเฉลี่ยนั้น สามารถลดก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมอาหาร ได้ร้อยละ 41.5

จากสถานการณ์ดังกล่าวผนวกกับปัญหาด้านพลังงานที่ยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้นและความจำเป็นที่ต้องลดมาตรการกีดกันทางการค้าด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ประเทศไทยเป็นที่ยอมรับในภาคการผลิตอุตสาหกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรมไทยให้สามารถแข่งขันได้ต่อไปในอนาคต จึงจำเป็นและสมควรอย่างยิ่งที่ต้องมีการส่งเสริมประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรม

พพ. ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบในการบริหารจัดการการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมถือว่าเป็นยุทธศาสตร์และภารกิจที่สำคัญยิ่งที่ต้องเร่งดำเนินการ โดยมีพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานเป็นกรอบและแนวทางในการดำเนินงาน โครงการพัฒนาบุคลากรด้านการอนุรักษ์พลังงานจากกรณีตัวอย่างที่ประสบความสำเร็จเป็นโครงการหนึ่งที่ พพ. ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยมีกองฝึกอบรมเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบโครงการนี้มุ่งเน้นให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรม นำไปเป็นแนวทางในการดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและสามารถขยายผลการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานในองค์กรของตนเองได้

จุดประสงค์สำคัญของ พพ. ต้องการมุ่งเน้นไปในเรื่องการปลุกจิตสำนึกการประหยัดพลังงานที่ยั่งยืนให้แก่ตัวบุคลากรทุกส่วนในองค์กร เพราะการอนุรักษ์พลังงานจะบรรลุผลได้ต้องอาศัยความร่วมมือร่วมใจจากทุกฝ่ายในบทบาทต่างๆกัน และที่สำคัญการอนุรักษ์พลังงานไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้โดยอัตโนมัติ หากจำเป็นต้องอาศัยกลไกของ “ระบบการจัดการพลังงาน”

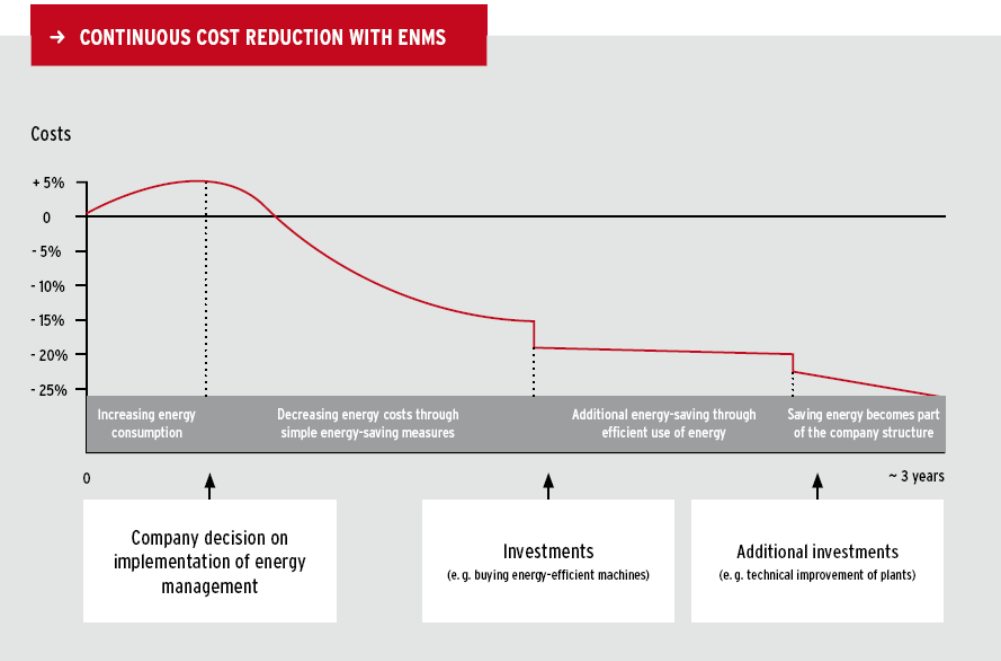
บทที่ 2
การจัดการพลังงานอย่างยั่งยืนตามมาตรฐาน ISO 50001, Carbon footprint และ Water footprint

2.1 ความสำคัญของระบบการจัดการพลังงาน

จากสภาวการณ์ในปัจจุบันของโลกและของประเทศไทย ปัญหาด้านพลังงานและปัญหาภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่สำคัญ และมีความเกี่ยวเนื่องกันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยพลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน และเป็นปัจจัยพื้นฐานการผลิตในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม จึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งในการพัฒนาประเทศ อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานได้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดภาวะโลกร้อนไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง โดยที่ผ่านมาพบว่าผู้ประกอบการส่วนใหญ่มุ่งเน้นการปรับปรุงด้านเทคนิค และการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ แต่ยังขาดความต่อเนื่องในการดำเนินงาน กล่าวคือขาดกลไกการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และไม่มีกลยุทธ์ด้านแผนการจัดการพลังงานที่ชัดเจน ทำให้การดำเนินงานไม่ประสบความสำเร็จมากนัก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ซึ่งรับผิดชอบในการกำกับดูแลโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม ในการปฏิบัติตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 ได้เล็งเห็นความสำคัญในปรับปรุงกระบวนการในการดำเนินการด้านการอนุรักษ์พลังงานให้ทันสมัย และสอดรับกับแนวทางในการจัดการพลังงานที่ให้ความสำคัญในการสร้างกลไกในการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง จึงได้ออกพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 ขึ้น โดยมุ่งเน้นในการดำเนินการจัดการพลังงาน ซึ่งกำหนดเป็นแนวทางในการจัดทำระบบการจัดการพลังงาน ในกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552

โดยกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 ได้กำหนดขั้นตอนในการดำเนินการจัดการพลังงานเอาไว้สำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมเป็นวงรอบ 8 ขั้นตอน ซึ่งถือได้ว่าเป็นพื้นฐานขั้นต้นในการดำเนินการจัดการพลังงานที่สามารถพัฒนาไปสู่การดำเนินการจัดการพลังงานตามมาตรฐานสากล (ISO 50001) ซึ่งได้มีการประกาศออกมาอย่างเป็นทางการแล้วเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ.2554 ที่ผ่านมา ดังนั้นมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 จึงถือเป็นกุญแจสำคัญอีกด้านหนึ่ง ในการผลักดันให้เกิดกระบวนการในการปรับปรุงด้านพลังงานอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยหลักการ “การดำเนินงานอย่างเป็นระบบ” ตามหลัก P-D-C-A ที่คำนึงถึงการปรับปรุงสมรรถนะพลังงานอย่างต่อเนื่อง การพิจารณาต้นทุนตลอดวงจรชีวิตอุปกรณ์ด้านพลังงานทั้งการออกแบบและการจัดซื้อ รวมถึงการควบคุมการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม ทำให้ลดค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนพลังงาน และส่งผลให้บุคลากรในองค์กรคำนึงถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพอย่างเป็นระบบ ซึ่ง

นอกจากระบบการจัดการพลังงานจะช่วยเหลือสถานประกอบการในด้านของการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดต้นทุนด้านพลังงานในระยะยาวแล้ว (ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.1) ยังช่วยลดข้อกีดกันทางการค้าจากนโยบายด้านพลังงานในแถบประเทศทางยุโรป ช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันเมื่อประเทศไทยก้าวสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) ในอนาคตอันใกล้ และยังประโยชน์ต่อการลดปัญหาสภาวะโลกร้อนซึ่งเป็นภัยคุกคามต่อมนุษยชาติในปัจจุบันได้อีกทางหนึ่ง



ที่มา : DIN EN 16001: Energy Management Systems in Practice, A Guide for Companies and Organizations. German *Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety*

รูปที่ 2.1 แนวโน้มของการลดต้นทุนด้านพลังงานหลังจากการดำเนินการจัดการพลังงาน

2.2 ความเข้าใจเบื้องต้นระบบมาตรฐานการจัดการพลังงาน ISO 50001

2.2.1 ISO คืออะไร

ISO คือองค์กรระหว่างประเทศ ว่าด้วยการมาตรฐาน (International organization for standardization) ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี 2490 (ค.ศ. 1947) โดยมีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่ นครเจนีวา สวิตเซอร์แลนด์ วัตถุประสงค์ขององค์กร ISO ก็เพื่อส่งเสริมการกำหนดมาตรฐานระหว่างประเทศ และกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเศรษฐกิจ และขจัดข้อโต้แย้ง รวมถึงการกีดกัน ทางการค้าระหว่างประเทศ ตลอดจนการพัฒนาความร่วมมือระหว่างประเทศ ในด้านวิชาการวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีกล่าวง่าย ๆ ได้ว่า บริษัทหรือองค์กรใดได้รับ ISO ก็หมายความว่า สินค้า บริการ หรือระบบการจัดการต่าง ๆ เป็นไปตามมาตรฐานเป็นที่ยอมรับในระดับสากล ส่วน มาตรฐานที่องค์กรนี้ออกมา ก็ใช้ชื่อนำหน้าว่า ISO เช่น ISO 9000 ก็เป็น

มาตรฐานที่ว่าด้วยระบบบริหารคุณภาพ ISO 14000 เป็นระบบมาตรฐานระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม และ ISO 50001 ก็คือ มาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน (ส่วนเลขต่อท้ายจะเป็น ปี ค.ศ. ที่ประกาศใช้ เช่น ISO 50001:2011 ก็คือมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ที่ประกาศใช้ในปี 2011 (วันที่ 15 มิถุนายน 2011))

2.2.2 การนำมาตรฐาน ISO 50001 ไปใช้

มาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 ฉบับนี้ระบุข้อกำหนดสำหรับองค์กรในการจัดทำ นำไปปฏิบัติ คงรักษาไว้ และปรับปรุงระบบการจัดการพลังงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้องค์กรจะสามารถดำเนินการอย่างเป็นระบบในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงาน ซึ่งรวมถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน, ลักษณะการใช้พลังงานและปริมาณการใช้พลังงาน ข้อกำหนดของมาตรฐานสากลฉบับนี้ประยุกต์เข้ากับลักษณะการใช้และปริมาณการใช้พลังงาน รวมถึงการตรวจวัด การจัดทำเอกสาร และการรายงาน การออกแบบ และการปฏิบัติการจัดซื้ออุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน ระบบ กระบวนการและบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะด้านพลังงาน ครอบคลุมถึงปัจจัยทั้งหมดที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะด้านพลังงานซึ่งสามารถเฝ้าติดตามและควบคุมดูแลได้โดยองค์กร แต่มาตรฐานสากลฉบับนี้ไม่ได้กำหนดเกณฑ์ของสมรรถนะที่เฉพาะเจาะจงในด้านพลังงาน และได้ถูกออกแบบให้ใช้มาตรฐานนี้ได้อย่างเป็นอิสระแต่ก็สามารถนำไปใช้ได้ในแนวทางเดียวกับหรือบูรณาการกับระบบการจัดการอื่นๆได้ เช่น ISO 9000, ISO 14000 เป็นต้น

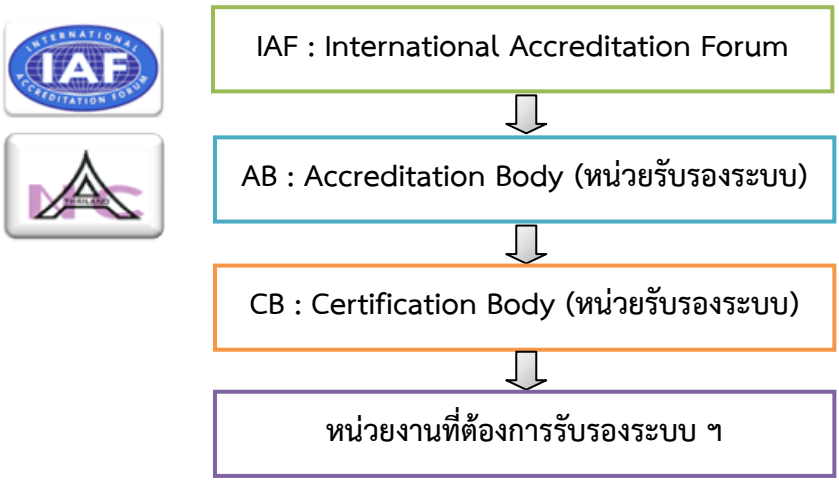
มาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 ให้ความสำคัญในเรื่องของระบบเอกสารเช่นเดียวกับมาตรฐานอื่น ๆ กล่าวคือองค์กรต้องกำหนด และจัดทำ นำไปปฏิบัติ และคงรักษาไว้ โดยเอกสารที่จำเป็นและเกี่ยวข้องกับระบบอย่างน้อยประกอบด้วย คู่มือระบบการจัดการพลังงาน (Energy management manual) ระเบียบปฏิบัติงาน (Procedure manual) วิธีปฏิบัติงาน (Work instruction) และฟอร์ม (Form) ต่าง ๆ ที่ใช้บันทึกกิจกรรมต่าง ๆ ของระบบฯ

2.2.3 การขอการรับรองมาตรฐาน ISO 50001

การขอการรับรองมาตรฐานการจัดการพลังงาน ISO 50001 มีแนวปฏิบัติ เช่นเดียวกับมาตรฐานการจัดการอื่น ๆ โดยหน่วยงานที่ให้การรับรองระบบได้เราเรียกว่า หน่วยรับรอง (Certification body) หรือเรียกโดยย่อว่า CB ซึ่งในประเทศไทยก็มีอยู่หลายหน่วยงานที่ให้การรับรองได้ เช่น Bureau Veritas, SGS, MASCI, TUV, URS, AJA เป็นต้น

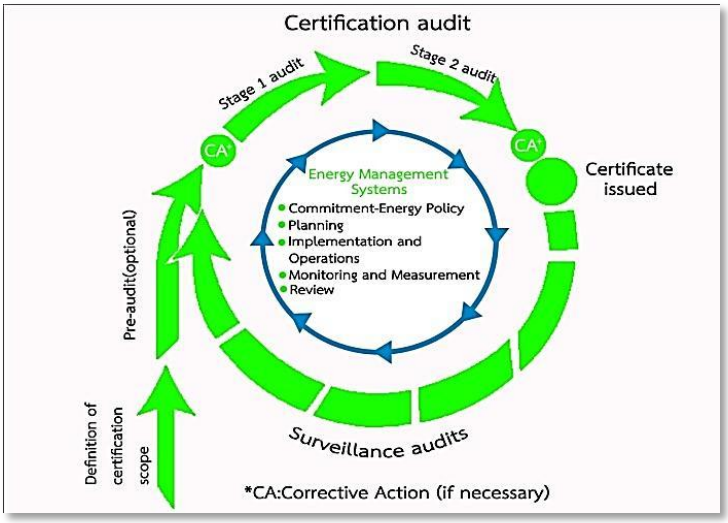
หน่วยรับรอง (Certification body) คือ หน่วยงานหรือบุคคลที่สามที่ให้บริการการตรวจประเมินและรับรองหรือจดทะเบียนการเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของกิจกรรมต่าง ๆ เช่น หน่วยรับรองระบบคุณภาพ หน่วยรับรองระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม หน่วยตรวจ ห้องปฏิบัติการ หน่วยงานใดหรือองค์ใดจะเป็นหน่วยรับรองได้ต้องผ่านการรับรองระบบงาน (Accreditation) จาก**หน่วยรับรองระบบ (Accreditation body)** หรือเรียกโดยย่อว่า AB เช่น UKAS ของประเทศอังกฤษ หรือ ANSI ของประเทศสหรัฐอเมริกา NAC ของประเทศไทย เป็นต้น การรับรองระบบ ก็คือ การยอมรับอย่างเป็นทางการว่าหน่วยรับรอง (Certification body) มีความสามารถในการดำเนินการให้การรับรองกิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่ง เช่น การรับรองระบบงานของหน่วยรับรองระบบคุณภาพ (ISO 9001) การรับรองระบบงานของหน่วยรับรองระบบการจัดการพลังงาน (ISO 50001) โดยหน่วยงานที่ให้การรับรองระบบต้องเป็นสมาชิกของ **IAF (International accreditation**

forum) ซึ่งเป็นองค์กรที่ให้การรับรอง Accreditation body จากประเทศต่างๆ ทั่วโลก ดังแสดงความสัมพันธ์หน่วยรับรอง ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยรับรองระบบงานกับหน่วยงาน

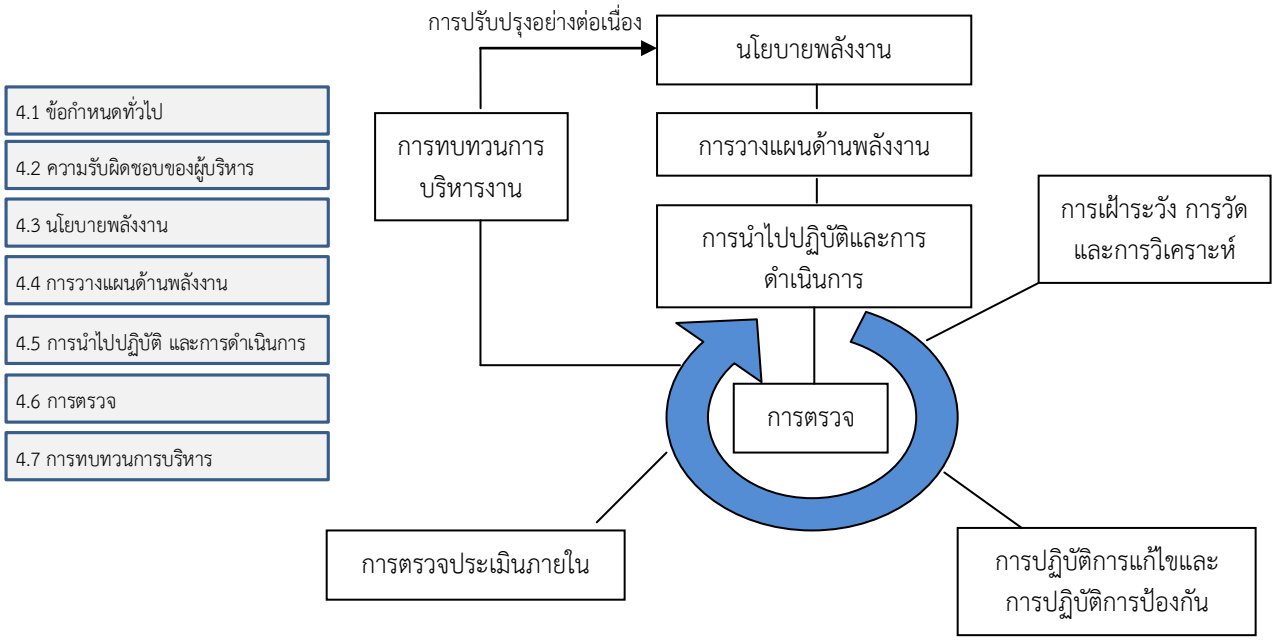
สำหรับการขอการรับรองมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 นั้นสถานประกอบการที่จัดทำมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 เพื่อขอการรับรอง ต้องคัดเลือกและว่าจ้างหน่วยรับรอง (CB) ที่ต้องการขอการรับรอง (Certification) และกำหนดแผนงานในการตรวจรับรอง โดยการตรวจรับรองจะแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ระยะแรกเป็นการตรวจประเมินความพร้อมเรียกว่า The first stage audit โดยผลสรุปจากการตรวจคือ Ready หรือ Not ready ถ้า Ready ก็สามารถตรวจในระยะที่ 2 ได้ซึ่งเรียกว่า The second stage audit หรือ Main audit ถ้า Not ready ต้องแก้ไขให้แล้วเสร็จภายใน 90 วัน เช่นเดียวกันถ้าเป็นการตรวจ Main Audit ถ้าตรวจผ่านจะได้รับการรับรอง ถ้าตรวจไม่ผ่านเนื่องจากไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดหรือมีข้อบกพร่อง ต้องแก้ไขข้อบกพร่องนั้นภายใน 90 วัน เช่นกัน จึงจะได้รับการรับรองฯ หลังจากนั้นจะต้องมีการตรวจรายปี (Surveillance audit) โดยรอบของการตรวจเพื่อการขอการรับรองใหม่จะเกิดขึ้นทุก ๆ 3 ปี กระบวนการในการตรวจรับรองแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงแผนผังกระบวนการการตรวจเพื่อขอการรับรอง ISO 50001

2.2.4 ข้อกำหนดมาตรฐานการจัดการพลังงาน ISO 50001

ในที่นี้ขอสรุปข้อกำหนดในมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 ให้พอเข้าใจโดยสังเขป ส่วนรายละเอียดคงต้องศึกษาโดยละเอียดต่อไป ซึ่งได้แบ่งข้อกำหนดออกเป็น 4 ส่วนหลักตามวงล้อ P-D-C-A (Plan-Do-Check-Act) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของการจัดการพลังงานตามกฎหมายกับมาตรฐานการจัดการพลังงาน ISO 50001 ในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.4 แสดงข้อกำหนดมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001

โดยสรุประบบมาตรฐานการจัดการพลังงานกำหนดให้มีการระบุขอบเขต (Boundary) และขอบข่าย (Scope) ของการจัดทำระบบการจัดการพลังงานให้เหมาะสมกับองค์กร โดยผู้บริหารสูงสุดจะประกาศแต่งตั้งผู้แทนฝ่ายบริหาร (EnMR) และ EnMR จะสรรหาทีมจัดการพลังงานเพื่อร่วมดำเนินการจัดทำระบบการจัดการพลังงาน จากนั้นองค์กรต้องจัดให้มีการวางแผนพลังงาน การปฏิบัติ การตรวจสอบ และการทบทวนการบริหารงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) **การวางแผนพลังงาน (PLAN)** โดยการวัดและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานเพื่อบ่งชี้การใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (Significant energy use) ขององค์กร และกำหนดข้อมูลฐานพลังงานอ้างอิง (Energy baseline) และดัชนีวัดสมรรถนะพลังงาน (EnPIs) ของกระบวนการหรือเครื่องจักรหลักในการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญนั้น เพื่อชี้บ่งโอกาสในการปรับปรุงสมรรถนะพลังงานขององค์กรและบ่งชี้ตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะพลังงาน โดยกำหนดเป็นวัตถุประสงค์ เป้าหมาย และแผนด้านพลังงานเพื่อนำไปสู่การปฏิบัติและการตรวจสอบต่อไป

<u>หมายเหตุ</u> *: ครอบคลุมข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 50001:2011 ดังนี้*

4.1 ข้อกำหนดทั่วไป (General requirement)

4.2 ความรับผิดชอบของฝ่ายบริหาร (Management responsibility)

4.2.1 ผู้บริหารสูงสุด (Top management)

4.2.2 ผู้แทนฝ่ายบริหาร (Management representative)

4.3 นโยบายพลังงาน (Energy policy)

4.4 การวางแผนพลังงาน (Energy planning)

4.4.1 บททั่วไป (General)

4.4.2 ข้อกำหนดกฎหมายและข้อกำหนดอื่นๆ (Legal requirements and other requirements)

4.4.3 การทบทวนด้านพลังงาน (Energy review)

4.4.4 ข้อมูลฐานด้านพลังงาน (Energy baseline (s))

4.4.5 ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน (Energy performance indicators)

4.4.6 วัตถุประสงค์ด้านพลังงาน เป้าหมายด้านพลังงาน และแผนปฏิบัติด้านการจัดการพลังงาน (Energy objectives, Energy targets and energy management action plans)

2

2) **การปฏิบัติ (DO)** การปฏิบัติในที่นี้ไม่ใช่เพียงแต่นำมาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดขึ้นไปปฏิบัติเพียงด้านเดียว แต่ยังครอบคลุมถึงด้านผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ ที่ต้องกำหนดความสามารถและการฝึกอบรมที่จำเป็นในการปฏิบัติงานรวมถึงความตระหนักด้านพลังงานของคนในองค์กร ด้านการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกองค์กร ด้านระบบเอกสารซึ่งต้องมีรายละเอียดของข้อกำหนดด้านเอกสารและการควบคุมเอกสารซึ่งเป็นหัวใจหลักของระบบมาตรฐานการจัดการ ISO ด้านการควบคุมด้านปฏิบัติและการบำรุงรักษาเฉพาะกระบวนการหรือเครื่องจักรที่มีนัยสำคัญ ถ้ามีความจำเป็นก็ต้องกำหนดวิธีปฏิบัติงาน (WI) ของแต่ละอุปกรณ์ เช่น วิธีปฏิบัติงานการเริ่มเดินหม้อไอน้ำ เป็นต้น ด้านการออกแบบและการจัดหาบริการด้านพลังงาน ผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์ และพลังงาน ซึ่งต้องมีการประเมินด้านสมรรถนะพลังงานทุกครั้งที่มีการออกแบบปรับปรุงหรือการจัดซื้อที่มีผลกระทบต่อกระบวนการหรือเครื่องจักรที่มีนัยสำคัญต่อสมรรถนะพลังงานขององค์กร

หมายเหตุ *: ครอบคลุมข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 50001:2011 ดังนี้*

4.5 การนำไปปฏิบัติและการดำเนินการ (Implementation and operation)

4.5.1 บททั่วไป (General)

4.5.2 ความสามารถ การฝึกอบรม และความตระหนัก (Competence, Training and Awareness)

4.5.3 การสื่อสาร (Communication)

4.5.4 การจัดทำเอกสาร (Documentation)

4.5.5 การควบคุมด้านปฏิบัติการ (Operational control)

4.5.6 การออกแบบ (Design)

4.5.7 การจัดหาบริการด้านพลังงาน ผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์ และพลังงาน (Procurement of energy services, Products, Equipment and Energy)

3) **การตรวจ (CHECK)** เป็นกระบวนการในการตรวจติดตามและเฝ้าระวังให้เชื่อมั่นได้ว่าระบบการจัดการพลังงานขององค์กรยังคงอยู่ และมีสมรรถนะพลังงานที่ดี โดยการกำหนดแผนในการเฝ้าระวังและการตรวจติดตามสมรรถนะพลังงาน การตรวจติดตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ด้านพลังงาน อย่างสม่ำเสมอ รวมถึงการตรวจประเมินภายในของระบบการจัดการพลังงานที่ต้องทำทุกปี หากพบข้อบกพร่องหรือแนวโน้มที่จะเกิดข้อบกพร่องต้องดำเนินการแก้ไข ปฏิบัติการแก้ไขและปฏิบัติการป้องกัน

หมายเหตุ *: ครอบคลุมข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 50001:2011 ดังนี้*

4.6 การตรวจ (Checking)

4.6.1 การเฝ้าระวัง การตรวจวัด และการวิเคราะห์ (Monitoring, Measurement and Analysis)

4.6.2 การประเมินความสอดคล้องกับข้อกำหนดด้านกฎหมายและข้อกำหนดอื่นๆ (Evaluation of compliance with legal requirements and other requirements)

4.6.3 การตรวจประเมินภายในระบบการจัดการพลังงาน (Internal audit of the EnMS)

4.6.4 ความไม่เป็นไปตามข้อกำหนด การแก้ไข การปฏิบัติการแก้ไข และการปฏิบัติการป้องกัน (Nonconformities, Correction, Corrective and Preventive action)

4.6.5 การควบคุมบันทึก (Control of records)

4) **การทบทวน (ACT)** องค์กรต้องดำเนินการทบทวนการบริหารงาน โดยผู้บริหารระดับสูงทุกปีเพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบการจัดการพลังงานยังคงอยู่ และมีการปรับปรุงและพัฒนาได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งครอบคลุมในทุก ๆด้านของระบบการจัดการพลังงาน

หมายเหตุ *: ครอบคลุมข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 50001:2011 ดังนี้*

4.7 การทบทวนการบริหารงาน (Management review)

4.7.1 บททั่วไป (General)

4.7.2 ประเด็นนำเข้าในการทบทวนการบริหาร (Input to management review)

4.7.3 ผลที่ได้จากการทบทวนการบริหาร (Output from management review)

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบข้อกำหนดของระบบการจัดการพลังงานตามกฎหมายกับ ISO 50001

	การจัดการพลังงานตามกฎหมาย	ISO 50001: 2011
PDCA	**ข้อกำหนด**	**ข้อกำหนด**
ขอบข่ายและการบริหารงาน	**ขั้นตอนที่ 1 การแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน** กฎกระทรวง พ.ศ. ๒๕๕๑ ข้อ ๕	**4.1 ข้อกำหนดทั่วไป**
	ขั้นตอนที่ 2 การประเมินสถานะภาพเบื้องต้นด้านการจัดการพลังงาน กฎกระทรวง พ.ศ. ๒๕๕๒ ข้อ ๕	**4.2 ความรับผิดชอบของฝ่ายบริหาร** 4.2.1 ผู้บริหารสูงสุด 4.2.2 ผู้แทนฝ่ายบริหาร
PLAN	**ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดเป้าหมายด้านการอนุรักษ์พลังงาน** กฎกระทรวง พ.ศ. ๒๕๕๒ ข้อ ๔	**4.3 นโยบายพลังงาน**
	ขั้นตอนที่ 4 การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน กฎกระทรวง พ.ศ. ๒๕๕๒ ข้อ ๖ ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๒ หมวด ๑ ข้อ ๒, ข้อ ๓ ข้อ ๔	**4.4 การวางแผนด้านพลังงาน** 4.4.1 ข้อกำหนดทั่วไป 4.4.2 ข้อกำหนดด้านกฎหมายและข้อกำหนดอื่นๆ 4.4.3 การทบทวนด้านพลังงาน 4.4.4 ข้อมูลฐานด้านพลังงาน 4.4.5 ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน 4.4.6 วัตถุประสงค์ด้านพลังงาน เป้าหมายพลังงาน และแผนปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงาน
	ขั้นตอนที่ ๕ การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน กฎกระทรวง พ.ศ. ๒๕๕๒ หมวด ๒ ข้อ ๕ ถึง ข้อ ๑๐	
DO	**ขั้นตอนที่ ๖ การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน การตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน** กฎกระทรวง พ.ศ. ๒๕๕๒ ข้อ ๘ ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๒ หมวด ๓ ข้อ ๑๑ ถึงข้อ ๑๔	**4.5 การนำไปปฏิบัติและการดำเนินการ** 4.5.1 ข้อกำหนดทั่วไป 4.5.2 ความสามารถ การฝึกอบรม และความตระหนัก 4.5.3 การสื่อสาร 4.5.4 เอกสาร (4.5.4.1 ข้อกำหนดด้านเอกสาร 4.5.4.2 การควบคุมเอกสาร) 4.5.5 การควบคุมด้านปฏิบัติ 4.5.6 การออกแบบ 4.5.7 การจัดหาบริการด้านพลังงาน ผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์และพลังงาน
CHECK	**ขั้นตอนที่ 7 การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน** กฎกระทรวง พ.ศ. ๒๕๕๒ ข้อ ๙ ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๒ หมวด ๔ ส่วนที่ ๑ ข้อ ๑๕ ถึงข้อ ๑๗	**4.6 การตรวจ** 4.6.1 การเฝ้าระวัง การวัด และการวิเคราะห์ 4.6.2 การประเมินการปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านกฎหมายและข้อกำหนดอื่นๆ 4.6.3 การตรวจประเมินภายใน 4.6.4 การไม่เป็นไปตามข้อกำหนด การแก้ไข การปฏิบัติการแก้ไขและการปฏิบัติการป้องกัน 4.6.5 การควบคุมบันทึก
ACT	**ขั้นตอนที่ 8 การทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน** กฎกระทรวง พ.ศ. ๒๕๕๒ ข้อ ๙ ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๒ หมวด ๔ ส่วนที่ ๒ ข้อ ๑๘ ถึงข้อ ๒๐	**4.7 การทบทวนการบริหาร** 4.7.1 ข้อกำหนดทั่วไป 4.7.2 ข้อมูลที่ใช้ในการทบทวนบริหารงาน 4.7.3 ผลการทบทวนการบริหารงาน

2.2.5 กลยุทธ์ในการพัฒนามาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001

สำหรับกลยุทธ์ในการ พัฒนาระบบมาตรฐานการจัดการพลังงาน ISO 50001 ในที่นี้คงกล่าวไว้เฉพาะกลยุทธ์โดยสังเขปในด้านการจัดทีมงานเพื่อการ จัดให้มี พัฒนา และคงรักษาระบบการจัดการพลังงานไว้ โดยการจัดบุคลากร เป็น 3 ทีม เพื่อขับเคลื่อนการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานให้ประสบความสำเร็จโดยเร็ว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. ***ทีมจัดการ (Management team)***

   ทีมจัดการ คือ ทีมงานที่ประกอบไปด้วยบุคลากรที่เป็นกลไกหลักในการบริหารจัดการ และขับเคลื่อนให้ระบบการจัดการพลังงานในองค์กร เริ่มต้น พัฒนา รักษาไว้ และเกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วย ผู้บริหารสูงสุด(Top management) ผู้แทนฝ่ายบริหาร (EnMR) ทีมจัดการพลังงาน (Energy management Team) และผู้ควบคุมเอกสาร (Document controller)

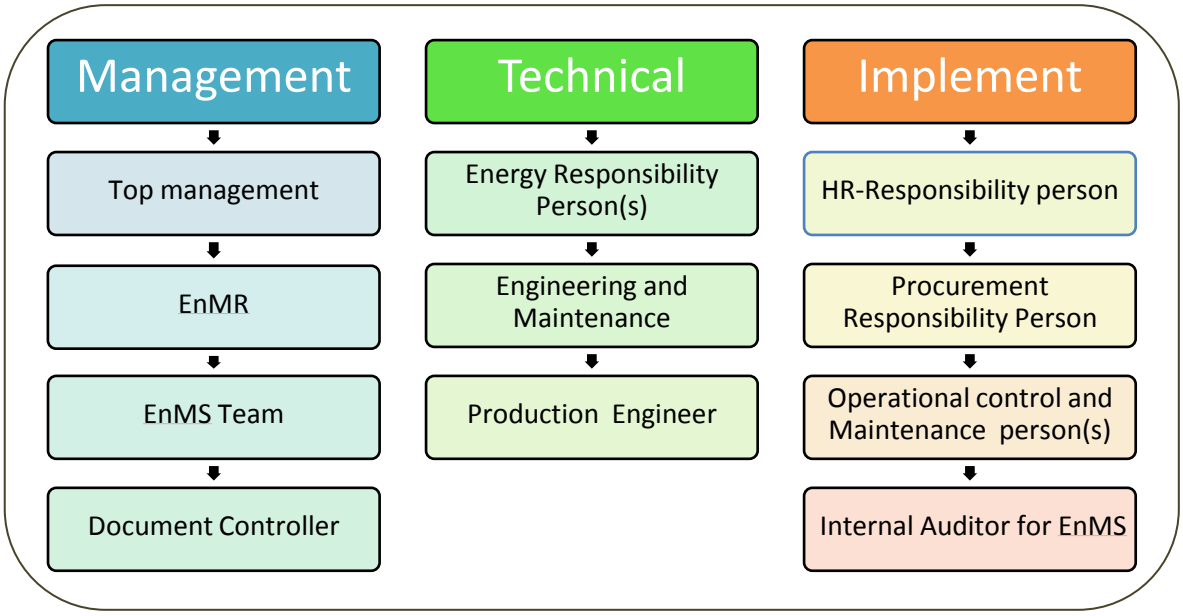
2. ***ทีมด้านเทคนิค (Technical team)***

   ทีมด้านเทคนิค คือ ทีมงานที่ประกอบไปด้วยบุคลากรที่เป็นกลไกหลักในด้านการวางแผนพลังงาน(Energy planning) ซึ่งต้องมีความรู้ความเข้าใจในด้านเทคนิคและวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องต่อการใช้พลังงาน ในกระบวนการ เครื่องจักร และอุปกรณ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (Energy responsibility person (s)) ผู้แทนฝ่ายวิศวกรรมและซ่อมบำรุง (Engineering and Maintenance) และวิศวกรฝ่ายผลิต (Production Engineer)

3. ***ทีมด้านการปฏิบัติการ (Implement Team)***

   ทีมด้านการปฏิบัติการ คือ ทีมงานที่ประกอบไปด้วยบุคลากรซึ่งเป็นผู้ปฏิบัติในส่วนที่ตนเองรับผิดชอบในขั้นตอนการนำไปปฏิบัติ(Implementation) ของระบบการจัดการพลังงาน ซึ่งประกอบด้วย ผู้แทนฝ่ายทรัพยากรบุคคล (HR-Responsibility person) ผู้แทนฝ่ายจัดหา (Procurement responsibility person) บุคลากรด้านการปฏิบัติการและซ่อมบำรุง (Operational control and Maintenance person(s)) และผู้ตรวจประเมินภายในระบบการจัดการพลังงาน (Internal auditor for EnMS)

สำหรับรายละเอียดของข้อกำหนดของมาตรฐานการจัดการพลังงาน ISO 50001:2011 แนวทางการปฏิบัติ การจัดทำระบบเอกสาร และตัวอย่างของระบบเอกสาร สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จาก ***"คู่มือการพัฒนาต่อยอดการดำเนินการจัดการพลังงานตามกฎหมายประเทศไทยไปสู่ระบบการจัดการพลังงานในระดับสากล ISO 50001"*** ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน หรือ สามารถ Down load คู่มือได้จาก http://www.energy-quality.com/iso50001



รูปที่ 2.5 แสดงการจัดบุคคลากรและทีมงานในการดำเนินการพัฒนามาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001

การตลาดยุคใหม่จะกล่าวถึงในเรื่องของ Green marketing โดยกลยุทธ์ทางการตลาดจะใช้จุดเด่นในเรื่องของการใส่ใจสิ่งแวดล้อมซึ่งถือว่าเป็นกลยุทธ์ทางการตลาดที่สำคัญอย่างหนึ่งในการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร แน่นอนว่า ISO 50001 ก็เป็นส่วนของกลยุทธ์ดังกล่าว เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตรวมไปจนถึงการขนส่งล้วนปล่อยมลพิษอย่างมากมาย มาตรฐาน ISO 50001 จึงเข้ามาช่วยเหลือด้านการบริหารจัดการด้านพลังงาน โดยเน้นที่ความประหยัดเป็นสำคัญ อีกทั้งพิธีสารเกียวโตมีข้อผูกพันกับประเทศมหาอำนาจ โดยเฉพาะในกลุ่มยุโรป ซึ่งเป็นตลาดที่สำคัญของประเทศไทย ส่งผลให้ประเทศเหล่านั้นเริ่มหามาตรการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หนึ่งในนั้นคือการติดฉลาก “Carbon footprint”

2.3 Carbon footprint คืออะไร? สำคัญอย่างไร?

“Carbon footprint หรือ CF” หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA: Life cycle assessment) ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งานและการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังจากใช้งาน โดยคำนวณออกมาเป็นรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันชนิดใดที่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าจะถือว่ามีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่า ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่า

ดังนั้นการเลือกซื้อสินค้าหรือบริการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อย เป็นหนทางหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคได้มีส่วนร่วมในการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากรูปแบบและวิถีการบริโภคของตน และยังเป็นกลไกทางการตลาดในการกระตุ้นให้ผู้ผลิตพัฒนาสินค้าที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกด้วย การแสดง

ข้อมูลปริมาณ Carbon footprint บนสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้บริโภคได้ทราบว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาปริมาณเท่าใด ซึ่งจะช่วยให้ผู้บริโภคมีข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อสินค้าและกระตุ้นให้ผู้ผลิตสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้นด้วย

2.3.1 วิธีการและขอบเขตการประเมิน Carbon footprint (CF) ของผลิตภัณฑ์

ใช้หลักการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ LCA ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดเศษซากหลังการใช้งานซึ่งบริษัทผู้ผลิตสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle to grave) หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตในโรงงาน (Cradle to gate) ได้

อย่างไรก็ตาม ปริมาณ Carbon footprint ของผลิตภัณฑ์สามารถใช้บ่งชี้ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เฉพาะประเด็นด้านการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเท่านั้น ไม่ได้นำผลกระทบสิ่งแวดล้อมในประเด็นอื่นๆ เช่น ความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity) การเกิดฝนกรด (Acidification) ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (Eutrophication) ความเป็นพิษ (Toxicity) เป็นต้น มาประเมินร่วมด้วย

2.3.2 รูปแบบการประเมิน Carbon footprint (CF) ของผลิตภัณฑ์

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถดำเนินการด้วยวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

1. ***แบบ Business-to-Consumer: B2C***
   เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และ การกำจัดซากผลิตภัณฑ์

2. ***แบบ Business-to-Business: B2B***
   เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนถึง ณ หน้าโรงงานพร้อมส่งออก หรือจนถึงที่เป็นสารขาเข้าหรือวัตถุดิบของผู้ผลิตต่อเนื่องตามที่กำหนดในข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product category rules: PCRs) ซึ่งเป็นกฎเกณฑ์หรือข้อกำหนดที่ถูกกำหนดขึ้นตามแนวทางในการพัฒนาฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3 (Type III environmental declarations) และมีความเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องและเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันมากขึ้น ทั้งนี้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้กำหนด PCRs ไว้ ก็สามารถนำ PCRs ที่พัฒนาขึ้นตามมาตรฐาน ISO 14025 มาประยุกต์ใช้ร่วมกันได้

ทั้งนี้การกำหนดรูปแบบการประเมินขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือความต้องการของผู้ประกอบการ ทั้งนี้การประเมินแบบ B2B ซึ่งมีขอบเขตการคำนวณไม่ครบตลอดวัฏจักรชีวิตจะไม่สามารถติด

เครื่องหมาย Carbon Footprint บนผลิตภัณฑ์ได้ แต่สามารถให้ข้อมูลค่าปริมาณ Carbon Footprint แก่คู่ค้าในระบบซัพพลายเชน

2.3.3 ข้อมูลที่ใช้ประเมิน Carbon footprint (CF) ของผลิตภัณฑ์

ข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ประกอบด้วย ชื่อผลิตภัณฑ์ ขอบเขตกระบวนการผลิต วัตถุดิบ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และข้อมูลอื่น ๆ ทั้งนี้ข้อมูลทั้งหมดต้องได้รับการบันทึกไว้ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับใช้วิเคราะห์และทวนสอบได้อีกอย่างน้อย 2 ปี หรือตลอดอายุของผลิตภัณฑ์ที่แสดงฉลากนั้นอยู่ในตลาด

2.3.4 การคำนวณ Carbon footprint (CF) ของผลิตภัณฑ์

ในการคำนวณหาค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ ควรใช้วิธีการดังนี้

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data : ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดกิจกรรมการผลิตในโรงงานหรือองค์กร หรือ กิจกรรมการผลิตที่อยู่ภายใต้การควบคุมหรือองค์กรมีอำนาจในการเข้าถึงข้อมูล) และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data : ข้อมูลที่ได้มาจากแหล่งข้อมูลอื่นนอกเหนือข้อมูลปฐมภูมิ) ต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการคูณเข้ากับ emission factorของประเภทวัสดุ พลังงานหรือกระบวนการนั้นๆ และบันทึกในรูปของปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์
2. แปลงค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยการนำไปคูณกับค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด
3. ผลกระทบของการเก็บกักคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ (Carbon storage in product: คำนวณเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีช่วงอายุตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไปเท่านั้น) ต้องแสดงในรูปก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์เทียบเท่าแล้วลบด้วยค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (Global warming potential : ประเมินได้จากการวัดหรือคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นจริงแล้วแปลงค่าให้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยใช้ค่าศักยภาพของในการทำให้โลกร้อนในรอบ 100 ปีของ IPCC ที่เป็นค่าล่าสุดเป็นเกณฑ์)
4. ผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดต้องอยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วย โดย
   - 4.1 การประเมินแบบ B2C: การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต (รวมช่วงการใช้งาน) โดยให้ระบุแยกการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงใช้งานด้วย ซึ่งควรระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์หรือสมมุติฐานที่กำหนดขึ้น รวมถึงการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์กับผู้บริโภคด้วย เช่น การจัดการของเสียหลังจากการใช้งานที่เหมาะสม เป็นต้น
   - 4.2 การประเมินแบบ B2B: การปล่อยก๊าซเรือนกระจกบางช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ให้คำนวณการปล่อยก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิต ทั้งนี้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการประเมินแบบ B2B นี้ ไม่ควรเปิดเผยแก่ผู้บริโภคโดยตรง แต่เป็นข้อมูลที่ให้กับองค์กรหรือผู้ผลิต

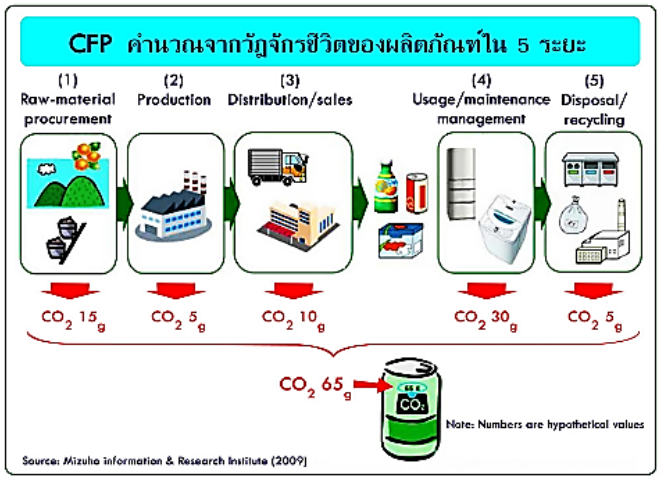
รายอื่นที่อยู่ภายใต้ห่วงโซ่อุปทานเดียวกัน ทั้งนี้ ต้องมีการระบุช่วงวัฏจักรชีวิตที่ทำการประเมินไว้อย่างชัดเจนเพื่อให้ผู้ผลิตรายอื่นสามารถนำข้อมูลไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

4.3 การประเมินแบบอื่นๆ ให้แสดงผลได้ขอบเขตแบบ B2B และ B2C เท่านั้น ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ประเมินนอกเหนือขอบเขตดังกล่าว สามารถระบุเป็นข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับผู้ใช้ข้อมูล

2.3.5 การแสดงผล Carbon footprint (CF) ของผลิตภัณฑ์

การแสดงปริมาณ Carbon footprint บนผลิตภัณฑ์ ควรแสดงด้วยตัวเลข 3 ตัว (Three significant number) เช่น 3.15 kg, 152 g เป็นต้นในกรณีที่มีตัวเลขทศนิยม การปัดเศษตัวเลขดังกล่าวต้องเป็นไปตามมาตรฐานเลขที่ มอก. 929-2533 ทั้งนี้ การประเมินแบบ B2B ซึ่งวัดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกบางช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ไม่สามารถแสดงปริมาณ Carbon footprint บนผลิตภัณฑ์โดยตรง แต่สามารถแสดงไว้ในแหล่งอื่น ๆ เช่น เว็บไซต์ หรือเอกสารเผยแพร่ของบริษัท เป็นต้น

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างเครื่องหมาย Carbon footprint ของประเทศต่างๆ



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการคำนวณ Carbon footprint ของผลิตภัณฑ์ ใน 5 ระยะ

ตัวอย่าง Carbon footprint ที่คำนวณได้จากโครงการของบริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่าการคำนวณ Carbon footprint ของผลิตภัณฑ์อาหารและบริการบนเครื่องบิน

รายการ	ข้าว + แกงเขียวหวานไก่ + ผัดผัก	ข้าว + มัสมั่นไก่ + ผัดผัก
การได้มาซึ่งวัตถุดิบเบื้องต้น (%)	36.53	34.92
การขนส่ง (%)	0.75	1.01
กระบวนการผลิต (%)	45.61	46.63
การบริโภค (%)	3.16	3.22
การจัดการของเสีย (%)	13.95	14.22
รวม (%)	**100.00**	**100.00**
Total carbon footprint ($kgCO_2eq$)	**1.39**	**1.36**
น้ำหนักต่ออาหาร 1 ที่ (kg)	**0.25**	

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างอาหารบนเครื่องบินของบริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน)

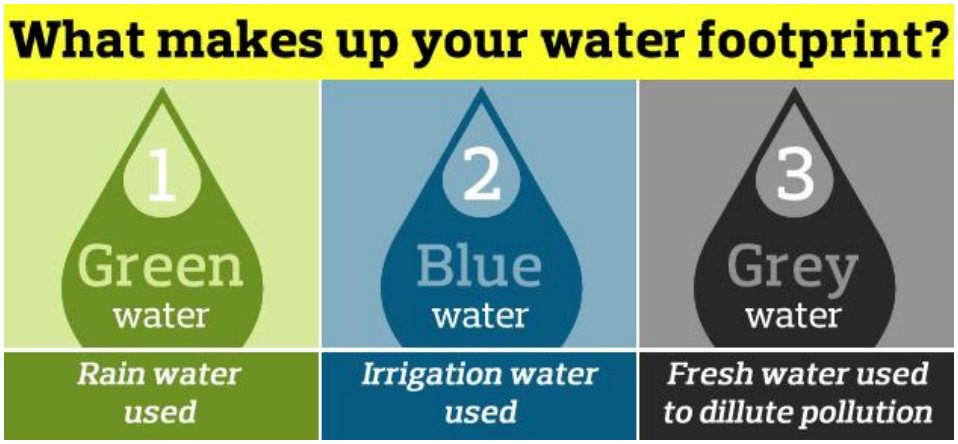
2.4 Water footprint คืออะไร? สำคัญอย่างไร?

Water footprint (WF) เป็นตัวชี้วัดปริมาณการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการผลิตไปจนกระทั่งสินค้าถึงมือผู้บริโภค (Supply chain) สินค้าที่มี Water footprint น้อยย่อมได้รับความสนใจมากกว่าสินค้าที่มี Water footprint มากเพราะมีการใช้น้ำ (Consumption) และทำให้น้ำสกปรก (Pollution) น้อยกว่า

แนวความคิดเรื่อง Water footprint เริ่มขึ้นในปี ค.ศ.2002 โดยศาสตราจารย์ Arjen Y.Hoekstra แห่งประเทศเนเธอร์แลนด์ เป็นแนวคิดที่กำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการคำนวณ Water footprint นอกจากทำให้เห็นภาพปริมาณการใช้น้ำที่ซ่อนเร้นอยู่ในการผลิตสินค้าได้อย่างชัดเจนมากขึ้นแล้ว ยังสามารถนำมาประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตและการค้าต่อการใช้ทรัพยากรน้ำได้อีกด้วย ซึ่งจะทำให้เข้าใจปัญหาการขาดแคลนน้ำและมลภาวะทางน้ำได้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งนำไปสู่วิธีแก้ไขปัญหาที่เชื่อมโยงกับกระบวนการผลิตสินค้าและ Supply chain ทั้งระบบ

2.4.1 แหล่งน้ำในการคำนวณ Water footprint มี 3 ประเภท

1. **Green water footprint** เป็นปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินเนื่องจากน้ำฝนที่ถูกใช้ในกระบวนการผลิต
2. **Blue water footprint** เป็นปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ได้แก่ น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินที่ถูกใช้ไปในกระบวนการผลิต
3. **Grey water footprint** เป็นปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน



ที่มา : http://www.raw.info/latest/a-life-aquatic-the-link-between-the-food-we-eat-and-our-water-footprint

2.4.2 ประโยชน์ของ Water footprint

การมีข้อมูล Water footprint ที่ถูกต้องจะช่วยให้ผู้บริโภคและภาคธุรกิจเข้าใจว่าจะต้องทำอย่างไรเพื่อให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างยั่งยืนและเป็นธรรมมากขึ้น

1. **ผู้ผลิต** การนำกลยุทธ์ลด Water footprint มาใช้จะช่วยสร้างภาพลักษณ์ที่ดีและสร้างจุดแข็งให้กับบริษัทหรือผลิตภัณฑ์ เพราะแสดงว่าคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีความรับผิดชอบต่อสังคม การลด Water footprint ในการผลิตสินค้ายังช่วยลดความเสี่ยงของปัญหาขาดแคลนน้ำซึ่งจะมีผลกระทบต่อภาคธุรกิจโดยตรง และยังเป็นการเตรียมความพร้อมในกรณีที่ภาครัฐออกกฎข้อบังคับเกี่ยวกับ Water footprint ในอนาคต

2. **ผู้บริโภค** การระบุข้อมูล Water footprint บนฉลากสินค้าจะช่วยกระตุ้นให้ผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของการใช้น้ำในการผลิตสินค้าแต่ละชนิด โดยผู้บริโภคอาจหันไปเลือกซื้อสินค้าที่มี Water footprint น้อยแทนสินค้าที่มี Water footprint มาก (เช่น กินเนื้อสัตว์ลดลงแล้วหันมาทานผักเพิ่มขึ้น ดื่มน้ำหรือน้ำชาแทนกาแฟ เป็นต้น) หรือ ผู้บริโภคอาจเลือกซื้อสินค้าแบบเดิมแต่เลือกจากแหล่งผลิตหรือวิธีการผลิตที่มี Water footprint ต่ำกว่าแทน การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้บริโภคไปในสู่ทางเลือกของสินค้าที่มี Water footprint ต่ำ จะช่วยบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำของโลกและนำไปสู่แนวทางการบริโภคที่ยั่งยืนมากขึ้น

2.4.3 การวางแผนจัดการเรื่องน้ำ

ประเทศต่าง ๆ มักวางแผนการจัดการน้ำแค่เพียงในระดับประเทศเท่านั้น แต่ขาดการวางแผนในเชิงมิติระดับโลก (Global dimension) โดยพยายามลดความต้องการใช้น้ำภายในประเทศและยึดความยั่งยืนของการบริโภคในประเทศเป็นหลัก ส่งผลให้มีความต้องการนำเข้าสินค้าที่ใช้น้ำมาก (Water-intensive products) จากต่างประเทศเพิ่มขึ้น โดยปราศจากการคำนึงถึงว่าสินค้าที่นำเข้านั้นจะก่อให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรมหรือมลภาวะทางน้ำต่อประเทศผู้ผลิตอย่างไร ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการผลักภาระ Water footprint ออกไปนอกประเทศ ทำให้แรงกดดันด้านทรัพยากรน้ำไปตกอยู่กับประเทศผู้ส่งออกซึ่งมักเป็นประเทศที่ยังขาดกลไกในการจัดการและอนุรักษ์น้ำ ดังนั้นการจัดทำบัญชี National water footprint ขึ้นเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของสถิติที่เกี่ยวกับน้ำในระดับประเทศ (National water statistic) และใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการวางแผนจัดการน้ำหรือบริเวณลุ่มน้ำทั้งหลาย (River basins) รวมถึงการมีข้อมูล Water footprint ที่ถูกต้องยังช่วยให้เกษตรกรและผู้วางนโยบายของประเทศสามารถตัดสินใจได้ว่าควรเพาะปลูกพืชที่ต้องการใช้น้ำมากในบริเวณใดมากกว่า ซึ่งจะทำให้การผลิตสินค้าเกษตรมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การคำนวณ Water footprint ยังสามารถนำมาใช้ต่อรองราคาการให้บริการด้านสภาพแวดล้อม (Ecological services) ของสินค้าแต่ละชนิด และสามารถใช้เป็นดรรชนีชี้วัดความยั่งยืน (Sustainability indicator) ที่ใช้ในการกำหนดนโยบายการค้าและการลงทุนทั้งในระดับประเทศและระดับโลก

2.4.4 แนวทางการดำเนินการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในอนาคต

1. **การลด Water footprint** ควรจะถูกจัดให้เป็นเป้าหมายหนึ่งทั้งในระดับประเทศ ภาคธุรกิจและผู้บริโภค โดยภาครัฐควรส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนและสนับสนุนสินค้านำเข้าที่ผนวกเงื่อนไขเกี่ยวกับการใช้น้ำเข้าไว้ด้วย ภาคธุรกิจควรพัฒนาการจัดการทรัพยากรน้ำให้ดีขึ้นและลดความเสี่ยงในการทำลายสภาพแวดล้อม ส่วนผู้บริโภคสามารถเริ่มต้นได้ตั้งแต่ลดการใช้น้ำโดยตรง ลดการทิ้งอาหารอย่างสูญเปล่าและลดการบริโภคสินค้าที่ต้องใช้น้ำมาก เป็นต้น

2. **การติดฉลากแสดงร่อยรอยของการใช้น้ำ” หรือ “Water footprint”** ถือว่าเป็นเรื่องใหม่ที่อาจจะกลายเป็นความท้าทายสำหรับอุตสาหกรรมอาหารในอนาคต การแสดง Water footprint บนฉลากสินค้า ในแง่หนึ่งอาจทำให้ภาคธุรกิจต้องลงทุนเพิ่มขึ้นเพื่อให้การผลิตสินค้ามีการใช้น้ำและมีน้ำเสียลดลง ซึ่งจะเป็นผลดีต่อทรัพยากรน้ำของโลก ในอีกแง่หนึ่งภาคธุรกิจอาจใช้ Water footprint เป็นเครื่องมือในการสร้างจุดเด่นให้กับสินค้าหรือบริษัทว่ามีการคำนึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีความรับผิดชอบต่อสังคม ทำให้สินค้ามีความน่าสนใจมากขึ้นและเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้า (Value added)

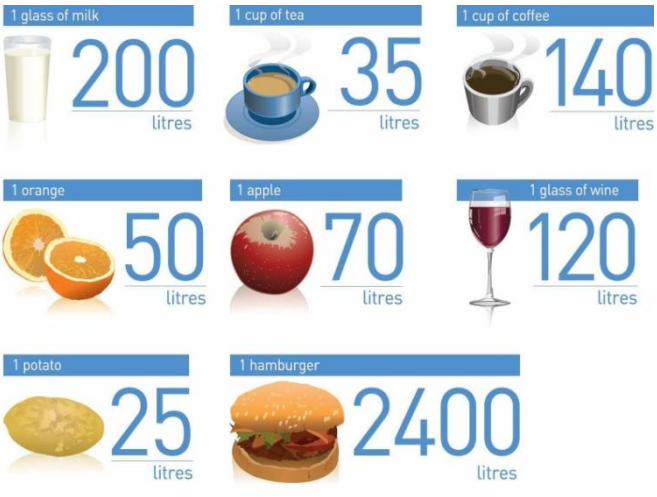
3. **ต้องประเมินผลกระทบของ Water footprint จากแหล่งที่มา** นอกจากจะดูจากปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตสินค้าแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงแหล่งน้ำ (Source of water) ที่เกี่ยวข้องซึ่งแบ่งออกเป็น “Blue water” (น้ำใต้ดิน น้ำผิวดินและน้ำที่มาจากการชลประทาน “Green water” (ปริมาณน้ำฝนที่ระเหยในกระบวนการผลิต) และ “Gray water” (ปริมาณ

น้ำเสียที่เกิดขึ้น) จึงจะสามารถเปรียบเทียบได้ว่าการผลิตสินค้าในแต่ละแห่งมีผลกระทบต่อการใช้น้ำแตกต่างกันอย่างไร

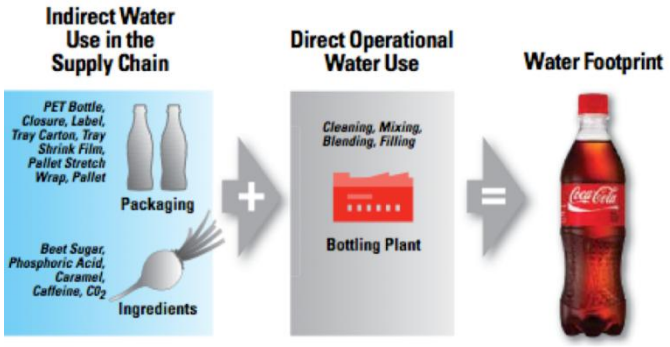
4. **ต้องพัฒนาเทคนิคการผลิต ข้าวและเนื้อไก่ของประเทศไทย** เนื่องจากเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญและเป็นสินค้าที่ต้องใช้น้ำมากในการผลิตและมี Water footprint สูง (เท่ากับ 3,400 ลิตร และ 3,900 ลิตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) การพัฒนาเทคนิคการผลิตเพื่อให้สินค้าเศรษฐกิจทั้งสองชนิดนี้มีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการสูญเสียน้ำในระหว่างกระบวนการผลิตและลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น รวมทั้งการพัฒนาผลผลิตต่อหน่วยให้เพิ่มขึ้น จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ไทยสามารถรักษาศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกเอาไว้ได้ ในขณะเดียวกันก็จะเป็นการผลิตที่ยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

5. **สหภาพยุโรป (EU)** ให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์น้ำและการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ การนำฉลาก Water footprint มาใช้จึงอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมให้ผู้ประกอบการคำนึงถึงการผลิตสินค้าโดยใช้น้ำอย่างคุ้มค่ามากที่สุด และกระตุ้นให้ผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของการใช้น้ำในการผลิตสินค้าแต่ละชนิด อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังไม่มีนโยบายในเรื่องการกำหนดเกณฑ์ Water footprint ของ EU ซึ่งในระยะสั้นแล้วอาจมีโอกาสความเป็นไปได้ต่ำ เพราะ EU ต้องพึ่งพาการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศสูง ซึ่งเท่ากับว่า EU จะถูกโจมตีว่าเป็นตัวการสำคัญในการผลักภาระการใช้น้ำไปยังประเทศที่สาม นอกจากนี้ วิธีการคำนวณ Water footprint ในปัจจุบัน ยังไม่สมบูรณ์เพียงพอที่จะบ่งบอกถึงผลกระทบจากการใช้น้ำในแต่ละพื้นที่ ตัวอย่างเช่น สินค้าที่ผลิตในประเทศที่มีปัญหาขาดแคลนน้ำมาก ย่อมส่งผลกระทบรุนแรงกว่าประเทศที่มีแหล่งน้ำอุดมสมบูรณ์ ดังนั้น หาก EU จะนำ Water footprint มาเป็นมาตรฐานวัดความมีประสิทธิภาพการใช้น้ำของสินค้าที่นำเข้า จึงจำเป็นต้องรวมเอาตัวแปรสิ่งแวดล้อมน้ำ (Water environment) ของแต่ละประเทศเข้าไว้ด้วย ซึ่งข้อมูล Water footprint ในปัจจุบันยังไม่สามารถทำได้ จึงยากที่จะใช้เป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดนโยบายระดับ EU

แต่ทว่ามีความเป็นไปได้สูงที่ภาคเอกชนอาจส่งเสริมการติดฉลาก Water footprint เพิ่มขึ้นในอนาคต เพราะผู้บริโภคใน EU ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการสร้างจุดเด่นและมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าด้วย



ที่มา : http://insearchofcleanwater.files.wordpress.com/2011/03/virtual-water-use.jpg



ที่มา : http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=waterfootprintlabel&group=2

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการแสดงปริมาณการใช้น้ำของสินค้า

การทำ Carbon footprint และ Water footprint ให้กับสินค้าเพื่อเป็นการบ่งบอกถึงระดับการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณการใช้น้ำตั้งแต่ต้นทางจนได้ผลิตภัณฑ์ จะเป็นเครื่องมือในการจัดการหรือข้อกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษีอากร (NBT: Non Tariff Barrier) ในประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปและสหรัฐอเมริกา ดังนั้นประเทศไทยอาจจะต้องตระหนักในเรื่องการจัดทำ Carbon footprint และ Water footprint หากจะต้องทำการค้ากับกลุ่มสหภาพยุโรปและสหรัฐอเมริกา เนื่องจากในปัจจุบันมีหลายประเทศได้นำ Carbon footprint มาใช้แล้ว เช่น สหราชอาณาจักร สาธารณรัฐฝรั่งเศส สวิตเซอร์แลนด์ แคนาดา เยอรมนี สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เกาหลี เป็นต้น ส่งผลให้สินค้านำเข้าจากประเทศไทยถูกร้องขอให้มีการจัดทำ Carbon footprint ด้วย รวมทั้งยังมีแนวโน้มในการนำ Water footprint มาให้เช่นเดียวกับ Carbon footprint ดังนั้นหากประเทศไทยมีการดำเนินโครงการและจัดเก็บข้อมูลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการปริมาณการใช้น้ำที่ชัดเจนก็จะช่วยให้มีข้อมูลพื้นฐานสำหรับประกอบการเจรจาต่อรองในเวทีการค้าและการประชุมระดับโลก เพื่อกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนได้มากขึ้นด้วย

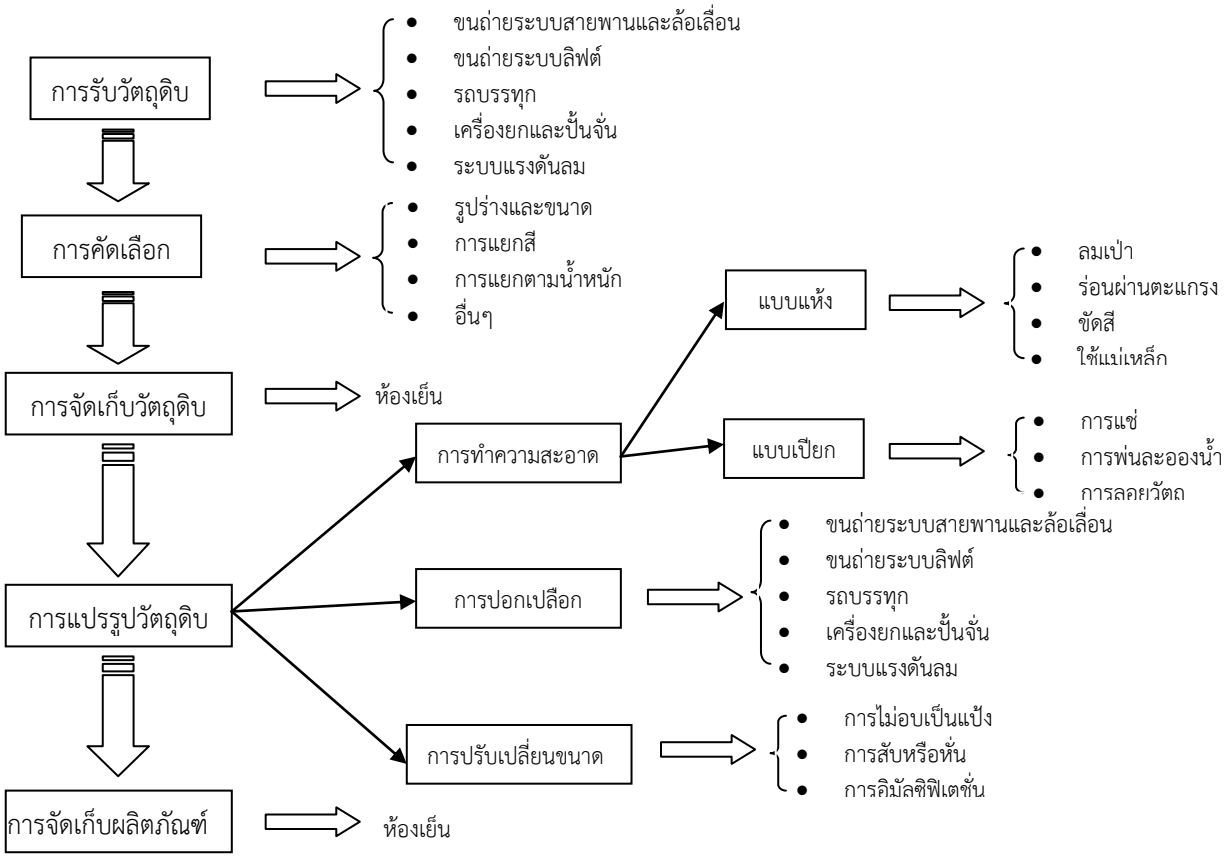
นอกจากนี้ ประโยชน์ที่ได้จากการ Carbon footprint, Water footprint และ ISO 50001 คือ เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการคิดค้นนวัตกรรมใหม่ ๆ ในด้านการประหยัดพลังงานและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ช่วยในการพัฒนาธุรกิจให้สามารถเติบโตได้อย่างยั่งยืน

บทที่ 3
กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

บทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันและมีศักยภาพในการขยายตัวในอนาคต ได้แก่ อาหารกระป๋อง อาหารแช่แข็ง อาหารพร้อมปรุงหรือพร้อมรับประทาน จึงเป็นการยากที่จะอธิบายกระบวนการผลิตให้ครอบคลุมอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป อย่างไรก็ตามการแสดงภาพรวมแผนผังกระบวนการผลิตในและการใช้พลังงานในระบบต่างๆ ของอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปร่วมกับตัวอย่างกระบวนการผลิตสินค้าดังกล่าวถึงพร้อมทั้งความรู้พื้นฐานในอุปกรณ์หรือเครื่องจักรหลักๆ น่าจะเพียงพอที่จะทำให้ผู้ใช้งานคู่มือฉบับนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสถานประกอบการของตน

3.1 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

แสดงให้เห็นภาพรวมทั้งหมดของกระบวนการผลิตอาหารแปรรูป รูปแบบพลังงานที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนที่แตกต่างกันโดยเริ่มจาก การรับวัตถุดิบ การคัดเลือก การจัดเก็บวัตถุดิบ การจัดการและการแปรรูป และ การจัดเก็บและส่งผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป



รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

ตารางที่ 3.1 การใช้พลังงานในระบบต่างๆ ของอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร

กระบวนการผลิต	การใช้พลังงานในระบบ					
	แสงสว่าง	ปรับอากาศ	อากาศอัด	มอเตอร์	ปั๊ม	ความร้อน
การรับวัตถุดิบ						
เครื่องขนถ่ายแบบสายพานและล้อเลื่อน				●		
เครื่องขนถ่ายระบบลิฟต์			●	●		
เครื่องยกและปั่นจั่น				●		
การคัดเลือก						
รูปร่างและขนาด	●	●		●	●	
แยกสี	●	●		●	●	
แยกน้ำหนัก	●	●	●	●		
การจัดการแปรรูปวัตถุดิบ						
การทำความสะอาด						
แบบเปียก						
การแช่					●	
การพ่นละอองน้ำ			●	●	●	
การลอยวัตถุ					●	
แบบแห้ง						
ลมเป่า			●			
ร่อนตะแกรง				●		
ขัดสี				●		
ใช้แม่เหล็ก				●		
การปอกเปลือก						
การใช้ไอน้ำ						●
การใช้มีด	●	●		●		
การขัดสี		●		●		
การลนไฟ						●
การลดขนาด						
การสับ/หั่น	●	●		●		
การโม่จนเป็นแป้ง	●			●	●	●
การแปรรูปวัตถุดิบ						
การผสมอาหาร		●		●	●	
การขึ้นรูปอาหาร		●	●	●		

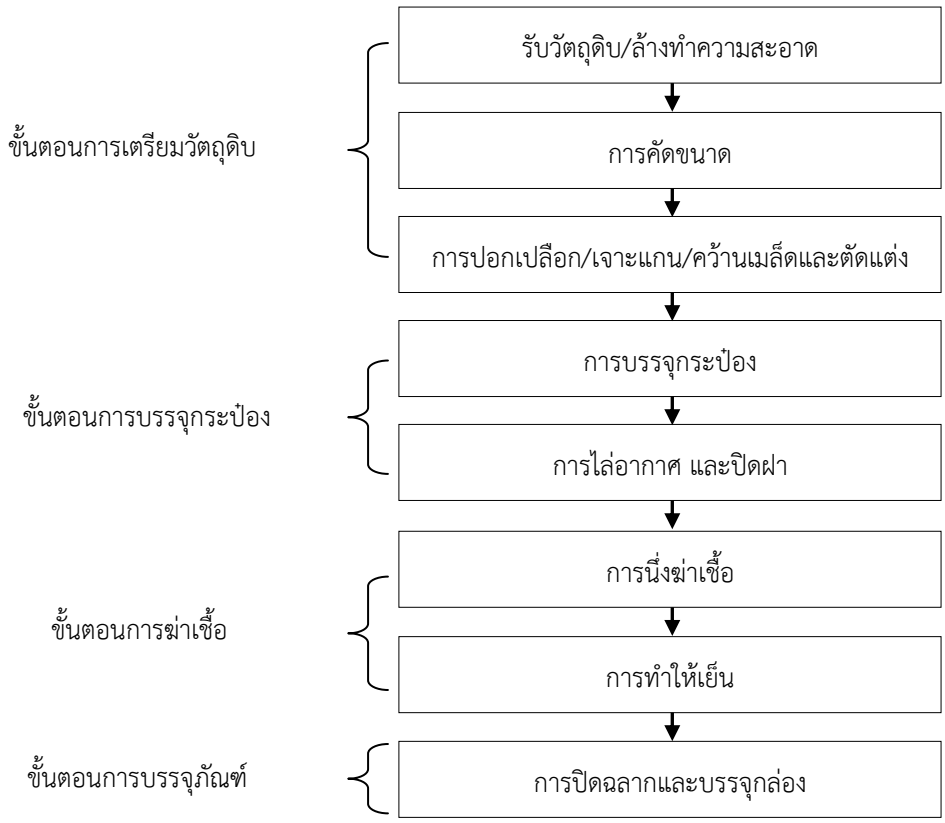
กระบวนการผลิต	การใช้พลังงานในระบบ					
	แสงสว่าง	ปรับอากาศ	อากาศอัด	มอเตอร์	ปั๊ม	ความร้อน
ใช้ความร้อน						
การลวก				●		●
การทอด				●		●
การอบและย่าง				●		●
การพาสเจอไรซ์				●		●
การสเตอริไรซ์				●		●
การอัดผ่านเกลียวอัด				●		●
การคัดเกรด				●		
การจัดเก็บผลิตภัณฑ์	●	●		●		

ที่มา : คู่มือชุดความรู้ “การอนุรักษ์พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร”, พพ.

ผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมประเภทอาหารกระป๋องประกอบด้วย ผักและผลไม้กระป๋องและอาหารทะเลกระป๋อง ทั้งนี้สามารถสรุปขั้นตอนของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องได้เป็น 4 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการบรรจุกระป๋อง ขั้นตอนการฆ่าเชื้อ และ ขั้นตอนบรรจุภัณฑ์

โดยหัวข้อ 3.2-3.4 จะเป็นกระบวนการผลิตอาหารกระป๋องแต่ละประเภท จะเห็นได้ว่ารายละเอียดขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบจะแตกต่างกัน แต่อุตสาหกรรมอาหารกระป๋องจะมีลำดับขั้นตอนกระบวนการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้และมีลักษณะการใช้พลังงานคล้ายคลึงกัน

3.2 กระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง



รูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง

รายละเอียดกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง

1. **การรับวัตถุดิบ/ล้างทำความสะอาด**
   วัตถุดิบที่รับเข้ามาโดยทั่วไปจะถูกลำเลียงเพื่อล้างทำความสะอาด อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างจะแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของวัตถุดิบ ในการล้างทำความสะอาดอาจใช้การลำเลียงวัตถุดิบด้วยระบบสายพานลำเลียงผ่านระบบสเปรย์น้ำเพื่อล้างทำความสะอาดและควรจัดให้มีวัตถุดิบเต็มสายพานลำเลียงอยู่เสมอเพื่อประหยัดเวลาและลดการสูญเสียน้ำล้างทำความสะอาด

2. **การคัดขนาด**
   วัตถุดิบที่ล้างทำความสะอาดแล้วจะถูกลำเลียงด้วยสายพานลำเลียงเพื่อทำการคัดขนาด

3. **การปอกเปลือก/เจาะแกน/คว้านเมล็ด และตัดแต่ง**
   ในขั้นตอนปอกเปลือก หรือเจาะแกนจะพบการสูญเสียเนื้อวัตถุดิบติดไปกับเปลือก จากนั้นเนื้อวัตถุดิบที่ได้จะถูกลำเลียงด้วยสายพานไปตัดแต่ง เช่น ตัดเป็นแว่น เป็นต้น

4. **การผลิตน้ำปรุงรส**
น้ำปรุงรสที่ผลิตขึ้นในกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋องเป็นน้ำเชื่อมสำหรับปรุงรสให้กับผลไม้ในกระป๋อง โดยผลิตจากส่วนผสมของน้ำตาลและน้ำ เมื่อน้ำปรุงรสผ่านการผลิตจนเสร็จเรียบร้อยจะนำไปบรรจุในกระป๋องเพื่อส่งไปยังกระบวนการไล่อากาศและปิดฝาต่อไป

5. **การบรรจุกระป๋อง**
ในการบรรจุกระป๋องพนักงานจะทำการคัดเลือกเนื้อผลไม้ที่ตัดแต่งแล้ว และมีขนาดเท่ากันสภาพใกล้เคียงกันบรรจุลงกระป๋อง และส่งเติมน้ำปรุงรส

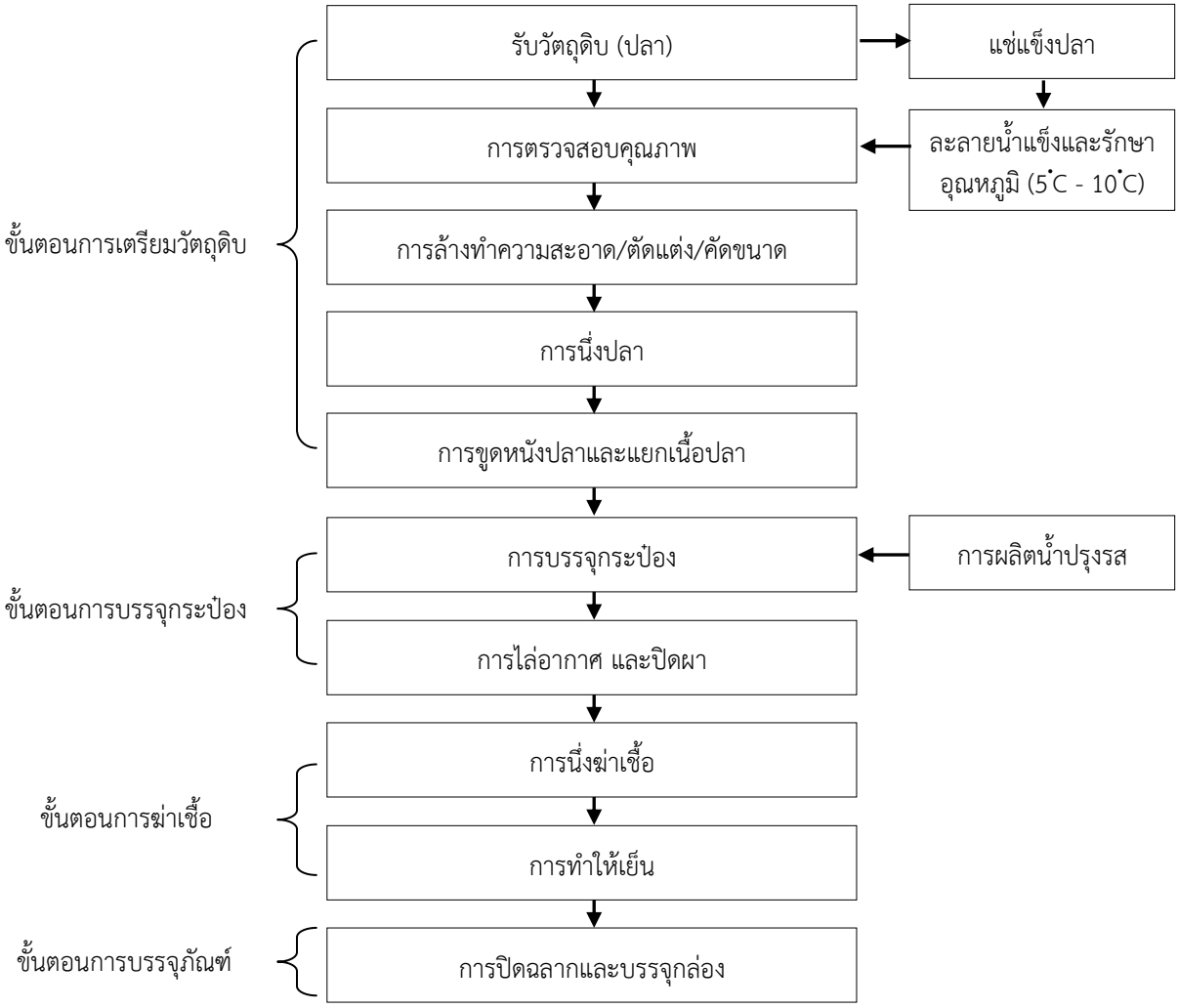
6. **ไล่อากาศ และปิดฝา**
หลังจากเติมน้ำปรุงรสแล้ว ผลไม้กระป๋องจะถูกส่งไปไล่อากาศภายในกระป๋องก่อนปิดผนึก การไล่อากาศอาจจะใช้ระบบปั๊มสูญญากาศ หรือใช้ระบบการไล่อากาศโดยใช้ไอน้ำก็ได้ โรงงานผลิตอาหารกระป๋องโดยทั่วไปจะใช้ระบบการไล่อากาศด้วยไอน้ำ และอุปกรณ์หลักที่ใช้ก็คือตู้ไล่อากาศ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของไอน้ำที่ใช้ในการไล่อากาศจะอยู่ที่ประมาณ 100 °C ถึง 120 °C

7. **การฆ่าเชื้อ**
หลังจากปิดผนึกแล้วผลไม้กระป๋องจะผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อเพื่อทำลายจุลินทรีย์ การควบคุมอุณหภูมิ และเวลาเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญในการฆ่าเชื้อ หม้อฆ่าเชื้อส่วนใหญ่จะเป็นชนิดใช้ไอน้ำและเป็นระบบปิดเนื่องจากมีการใช้ไอน้ำปริมาณมาก และเป็นเวลานานอุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อประมาณ 90 °C ถึง 120 °C ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์

8. **การทำให้เย็น**
ภายหลังจากการฆ่าเชื้อจนได้ระยะเวลาที่เหมาะสมแล้วจะต้องลดอุณหภูมิของผลไม้กระป๋องลงโดยเร็วเพื่อป้องกันความร้อนสะสม ซึ่งอาจทำให้รสชาติและคุณค่าของผลิตภัณฑ์ลดลง โดยทั่วไปจะใช้ระบบน้ำเย็นฉีดเข้าไปในหม้อฆ่าเชื้อและน้ำดังกล่าวจะถูกหมุนเวียน โดยนำกลับไประบายความร้อนด้วยหอผึ่งน้ำและนำกลับมาใช้ใหม่

9. **การปิดฉลากและบรรจุกล่อง**
หลังจากผลไม้กระป๋องมีอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้องและถูกทำให้แห้งสนิทแล้วจะถูกนำมาปิดฉลากและบรรจุกล่องเพื่อเก็บรักษาและขนส่งต่อไป

3.3 กระบวนการผลิตปลากระป๋อง



รูปที่ 3.3 แสดงกระบวนการผลิตปลากระป๋อง

รายละเอียดกระบวนการผลิตปลากระป๋อง

1. **รับวัตถุดิบ/ล้างทำความสะอาด**
   วัตถุที่รับเข้ามาโดยทั่วไปจะถูกลำเลียงเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เช่น ความสด จากนั้นจะถูกส่งไปแช่แข็งหรือส่งไปทำปลากระป๋อง

2. **การละลายน้ำแข็งและรักษาอุณหภูมิ**
   ในกรณีที่วัตถุดิบเป็นปลาแช่แข็งจะนำมาละลายน้ำแข็ง โดยใส่ไว้ในบ่อพักแล้วเติมน้ำ จากนั้นรอและรักษาอุณหภูมิในตัวปลาประมาณ 5°C – 10°C เพื่อป้องกันการเสื่อมของเนื้อปลาเนื่องจากจุลินทรีย

3. **การล้างทำความสะอาด/ตัดแต่ง/คัดขนาด**
   ปลาที่ผ่านการละลายน้ำแข็งจะถูกนำมาผ่าท้อง ควักไส้และล้างเพื่อลดจุลินทรีย์ลงพร้อมทั้งตัดแต่งและคัดขนาดปลา

4. **การนึ่งปลา**
ปลาที่ถูกควักไส้และสะอาดแล้วจะถูกนำมานึ่ง ระยะเวลาที่ให้ความร้อนจะขึ้นกับขนาดและชนิดของปลา การนึ่งปลาทำให้หนังและกระดูกแยกจากเนื้อ และทำให้ขูดปลาได้ง่าย อุปกรณ์หลักที่ใช้ในขั้นตอนนี้คือหม้อนึ่งโดยใช้ไอน้ำ

5. **การขูดหนังปลาและแยกเนื้อปลา**
ปลาที่ผ่านหม้อนึ่งจะถูกนำไปอุณหภูมิให้ต่ำลงเพื่อป้องกันการสุกเกินพอดี จากนั้นจะถูกนำมาขูดหนัง แยกก้าง และเนื้อที่สะอาด

6. **การผลิตน้ำปรุงรส**
น้ำปรุงรสที่ผลิตขึ้นในกระบวนการผลิตปลากระป๋องเป็นน้ำปรุงรสที่ผลิตจากส่วนผสมของซอสมะเขือเทศและเครื่องปรุงรส โดยผ่านกระบวนการให้ความร้อน เมื่อน้ำปรุงรสผ่านการผลิตจนเสร็จเรียบร้อยจะนำไปบรรจุลงในกระป๋อง เพื่อส่งไปยังกระบวนการไล่อากาศและปิดฝาต่อไป

7. **การบรรจุกระป๋อง**
นำปลาที่ได้มาบรรจุกระป๋องและเติมน้ำปรุงรส เพื่อส่งไปยังกระบวนการไล่อากาศและปิดฝาต่อไป

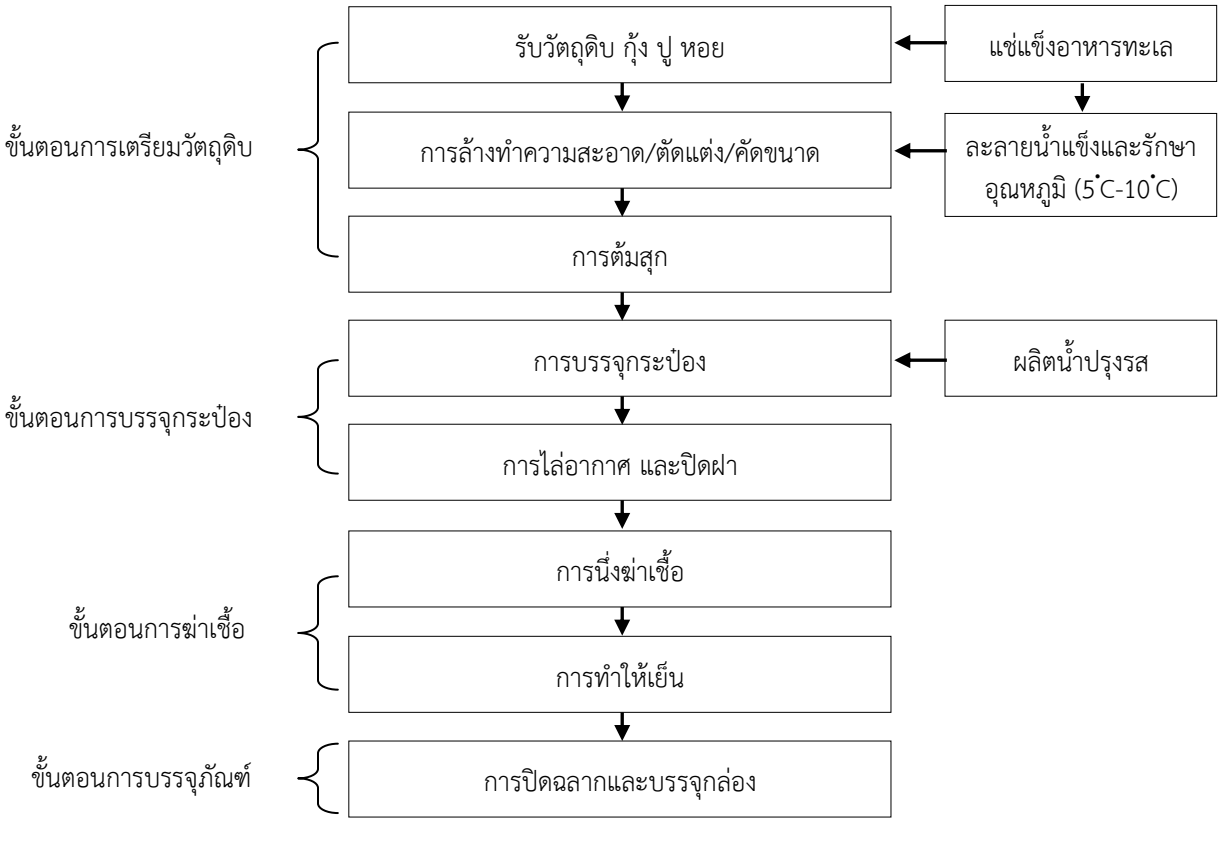
8. **การไล่อากาศและปิดฝา**
หลังจากเติมน้ำปรุงแล้ว ปลากระป๋องจะถูกส่งไปไล่อากาศภายในกระป๋องก่อนปิดผนึก การไล่อากาศอาจจะใช้ระบบปั๊มสุญญากาศ หรือใช้ระบบการไล่อากาศโดยใช้ไอน้ำก็ได้ โรงงานผลิตอาหารกระป๋องโดยทั่วไปจะใช้ระบบการไล่อากาศด้วยไอน้ำและอุปกรณ์หลักที่ใช้ก็คือ ตู้ไล่อากาศ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของไอน้ำที่ใช้ในการไล่อากาศจะอยู่ที่ประมาณ 100 °C ถึง 120 °C

9. **การนึ่งฆ่าเชื้อ**
หลังจากปิดผนึกแล้ว ปลากระป๋องจะผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อเพื่อทำลายจุลินทรีย์ หม้อฆ่าเชื้อส่วนใหญ่จะเป็นชนิดใช้ไอน้ำและเป็นแบบปิด เนื่องจากมีการใช้ไอน้ำปริมาณมากและเป็นเวลานาน อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อประมาณ 90 °C ถึง 120 °C

10. **การทำให้เย็น**
ภายหลังจากฆ่าเชื้อจนได้ระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว จะต้องลดอุณหภูมิของปลากระป๋องลงโดยเร็ว เพื่อป้องกันความร้อนสะสม ซึ่งอาจทำให้รสชาติและคุณค่าของผลิตภัณฑ์ลดลง โดยทั่วไปจะใช้ระบบน้ำเย็นฉีดเข้าไปในหม้อฆ่าเชื้อและน้ำดังกล่าวจะถูกหมุนเวียน โดยนำกลับไประบายความร้อนด้วยหอผึ่งและนำกลับมาใช้ใหม่

11. **การปิดฉลากและบรรจุกล่อง**
หลังจากปลากระป๋องมีอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิ และถูกทำให้แห้งสนิทแล้วจะถูกนำมาปิดฉลากและบรรจุกล่องเพื่อเก็บรักษาและขนส่งต่อไป

3.4 กระบวนการผลิตอาหารทะเล (กุ้ง ปู หอย) บรรจุกระป๋อง



รูปที่ 3.4 แสดงกระบวนการผลิตอาหารทะเล (กุ้ง, ปู, หอย) บรรจุกระป๋อง

รายละเอียดกระบวนการผลิตอาหารทะเล (กุ้ง, ปู, หอย) บรรจุกระป๋อง

1. **รับวัตถุดิบ/ล้างทำความสะอาด**
   วัตถุที่รับเข้ามาโดยทั่วไปจะถูกลำเลียงเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เช่น ความสด จากนั้นจะถูกส่งไปแช่แข็ง หรือส่งไปทำอาหารทะเลกระป๋อง

2. **การละลายน้ำแข็งและรักษาอุณหภูมิ**
   ในกรณีที่วัตถุดิบเป็นปลาแช่แข็งจะนำมาละลายน้ำแข็ง โดยใส่ไว้ในบ่อพักแล้วเติมน้ำ จากนั้นรอและรักษาอุณหภูมิไม่ให้สูงกว่า 5°C – 10°C เพื่อป้องกันการเสื่อมของเนื้อ เนื่องจากจุลินทรีย์

3. **การล้างทำความสะอาด/ตัดแต่ง/คัดขนาด**
   วัตถุดิบที่ผ่านการละลายน้ำแข็งจะถูกนำมาผ่าท้อง ควักไส้และล้างเพื่อลดจุลินทรีย์ลง

4. **การต้มสุก**
   สัตว์ทะเลที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วจะถูกนำมาต้มสุก อุปกรณ์หลักที่ใช้ในขั้นตอนนี้คือหม้อต้มโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ

5. **การผลิตน้ำปรุงรส**
น้ำปรุงรสที่ผลิตขึ้นในกระบวนการผลิตอาหารทะเลกระป๋องเป็นน้ำเกลือที่ผลิตจากส่วนผสมของน้ำและเกลือ เมื่อน้ำปรุงรสผ่านการผลิตจนเสร็จเรียบร้อยจะนำไปบรรจุลงในกระป๋อง เพื่อส่งไปยังกระบวนการไล่อากาศและปิดฝาต่อไป

6. **การบรรจุกระป๋อง**
สัตว์ทะเลที่ผ่านการต้มจะถูกคัดขนาดและบรรจุกระป๋อง หลังจากนั้นจะทำการเติมน้ำปรุงรสก่อนส่งไปยังกระบวนการไล่อากาศและปิดฝาต่อไป

7. **การไล่อากาศและปิดฝา**
หลังจากเติมน้ำปรุงแล้ว อาหารทะเลกระป๋องจะถูกส่งไปไล่อากาศภายในกระป๋องก่อนปิดผนึก การไล่อากาศอาจจะใช้ระบบปั๊มสุญญากาศ หรือใช้ระบบการไล่อากาศโดยใช้ไอน้ำก็ได้ โรงงานผลิตอาหารกระป๋องโดยทั่วไปจะใช้ระบบการไล่อากาศด้วยไอน้ำและอุปกรณ์หลักที่ใช้ก็คือ ตู้ไล่อากาศ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของไอน้ำที่ใช้ในการไล่อากาศจะอยู่ที่ประมาณ 100 °C ถึง 120 °C

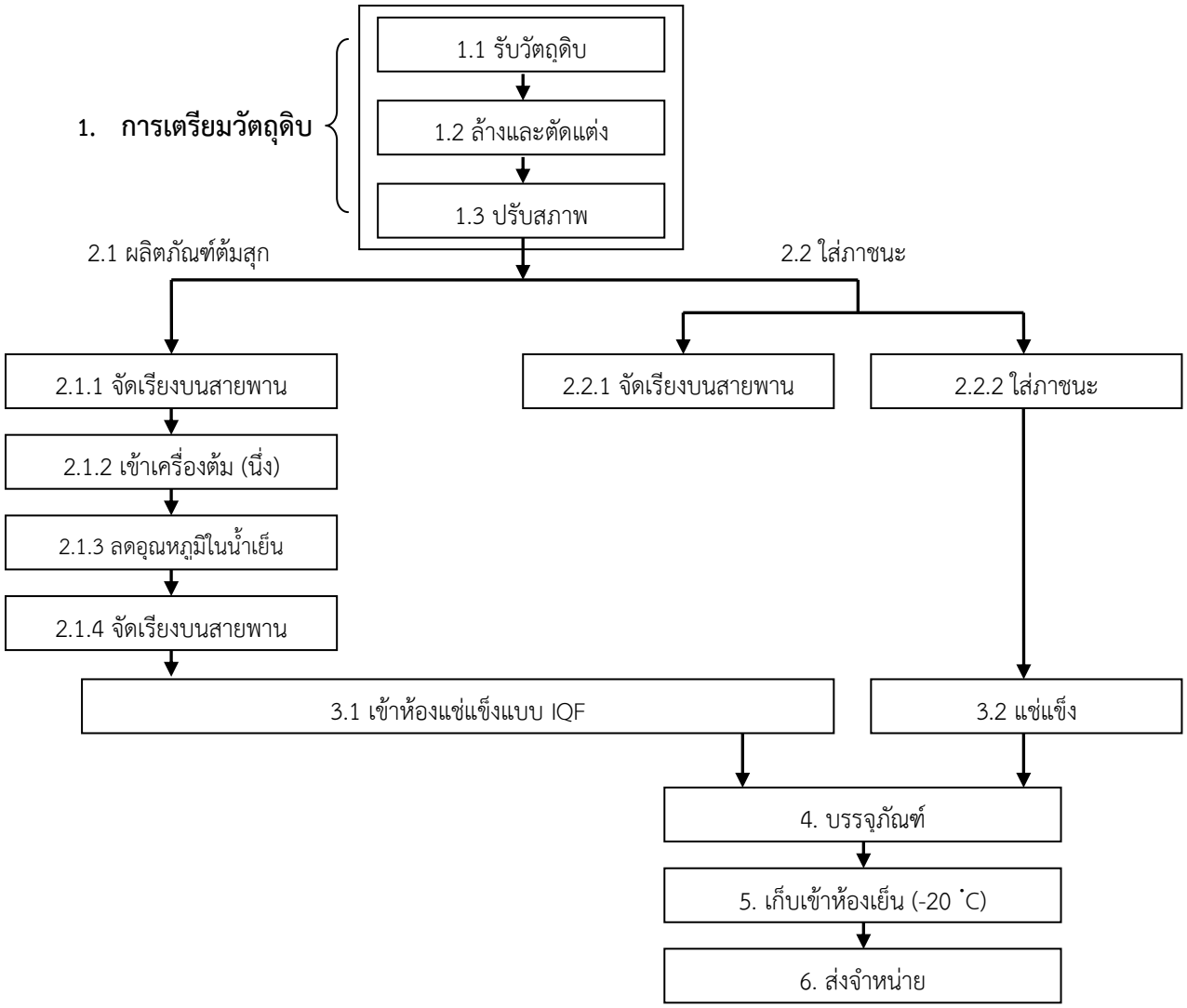
8. **การฆ่าเชื้อ**
หลังจากปิดผนึกแล้ว อาหารทะเลกระป๋องจะผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อเพื่อทำลายจุลินทรีย์ หม้อฆ่าเชื้อส่วนใหญ่จะเป็นชนิดใช้ไอน้ำและเป็นแบบปิด เนื่องจากมีการใช้ไอน้ำปริมาณมากและเป็นเวลานาน อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อประมาณ 90 °C ถึง 120 °C

9. **การทำให้เย็น**
ภายหลังจากฆ่าเชื้อจนได้ระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว จะต้องลดอุณหภูมิของอาหารทะเลกระป๋องลงโดยเร็ว เพื่อป้องกันความร้อนสะสม ซึ่งอาจทำให้รสชาติและคุณค่าของผลิตภัณฑ์ลดลง โดยทั่วไปจะใช้ระบบน้ำเย็นฉีดเข้าไปในหม้อฆ่าเชื้อและน้ำดังกล่าวจะถูกหมุนเวียน โดยนำกลับไประบายความร้อนด้วยหอผึ่งและนำกลับมาใช้ใหม่

10. **การปิดฉลากและบรรจุกล่อง**
หลังจากอาหารทะเลกระป๋องมีอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้องและถูกทำให้แห้งสนิทแล้ว จะถูกนำมาปิดฉลากและบรรจุกล่องเพื่อรักษาและขนส่งต่อไป

3.5 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมห้องเย็น

อุตสาหกรรมห้องเย็น คือ อุตสาหกรรมการเก็บอาหารให้สดอยู่เสมอ โดยนำมาบรรจุและรักษาไว้ในที่มีอุณหภูมิต่ำ เพื่อให้เก็บไว้ได้นานโดยอาจจะเน้นการแช่แข็งในกรณีอาหารทะเลเนื้อสัตว์ต่างๆ หรือการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและความชื้นพอเหมาะสำหรับผลผลิตทางการเกษตร ทั้งนี้ยังแบ่งออกเป็นธุรกิจอุตสาหกรรมห้องเย็นแบบครบวงจร คือ ดำเนินการตั้งแต่ซื้อวัตถุดิบจากแหล่งผลิตเข้ากระบวนการถนอมและรักษาหรือ ทำเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพร้อมทั้งเก็บรักษา รวมทั้งจัดจำหน่ายหรือ ธุรกิจอุตสาหกรรมห้องเย็นแบบที่รับเฉพาะเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นแค่เพียงอย่างเดียวกระบวนการผลิตอาจแสดงได้ตามแผนผังข้างล่างนี้



รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมห้องเย็น

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 การรับวัตถุดิบ

อาหารทะเล เช่น กุ้งและปลาหมึกหรือปลาที่รับเข้ามาจะมาในรูปของการแช่ในน้ำแข็ง หรือแช่แข็งมาจากห้องเย็นของเรือหรืออาจรับมาสดๆ จากแหล่งผลิต ซึ่งในการเตรียมจะต้องล้างให้สะอาด โดยปกติจะล้างในน้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 5-10 °C เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของวัตถุดิบ แล้วจึงนำไปคัดแยกขนาด

1.2 การตัดแต่งวัตถุดิบ จะเป็นขั้นตอนการตัดแต่งตามแบบที่ลูกค้ากำหนด เช่น กุ้งทั้งตัวไม่ถอดเปลือก กุ้งทั้งตัวถอดเปลือกแค่เอาหัวออกหรือ ปลาหมึกถอดเปลือก เป็นต้น จากนั้นจึงล้างทำความสะอาด

1.3 การปรับสภาพสินค้าบางรายอาจต้องนำไปแช่ปรับในสารปรับแต่งสภาพ ซึ่งจะทำให้ดูสวยงามและรสชาติดีขึ้นด้วย โดยกระบวนการนี้ต้องแช่น้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 5-10 °C ในขั้นตอนต่อไปยังแบ่งออกเป็นการผลิตแบบต้ม (นึ่ง) สุก (Cooked) และผลิตแบบดิบ (Raw, Uncooked)

2. การเตรียมผลิตภัณฑ์ก่อนแช่แข็ง

2.1 ผลิตภัณฑ์แบบต้มนึ่งสุก (Cooked) มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. จัดเรียงวัตถุดิบที่ตัดแต่งปรับสภาพแล้วลงบนสายพาน
2. สายพานลำเลียงวัตถุดิบเข้าบริเวณต้ม (นึ่ง) โดยใช้ไอน้ำให้ความร้อน ความเร็วของสายพานจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์สุกพอดีความต้องการ
3. จากนั้นจะนำผลิตภัณฑ์ที่สุกแล้วลงแช่ในน้ำเย็น (5 - 10 °C) เพื่อลดอุณหภูมิ
4. นำผลิตภัณฑ์ที่ลดอุณหภูมิแล้วจัดเรียงบนสายพานเพื่อนำเข้ากระบวนการแช่แข็งแบบ IQF

2.2 ผลิตภัณฑ์แบบดิบ (Raw, Uncooked) แยกเป็น 2 ประเภทได้แก่

1. สำหรับผลิตภัณฑ์แบบเป็นชิ้น (Individual) จะนำมาจัดเรียงในสายพานเพื่อนำเข้ากระบวนการแช่แข็งเพื่อเตรียมเข้าห้องแช่แข็งแบบ IQF (Individual Quick Freeze)
2. สำหรับผลิตภัณฑ์ที่จะจำหน่ายเป็นกลุ่ม (Packed) (หรือเก็บไว้ใช้ในกระบวนการผลิตอื่นๆ ภายหลัง) จะนำไปใส่ภาชนะขนาดเหมาะสมต่อการเก็บ เพื่อนำเข้าห้องแช่แข็งต่อไป

3. กระบวนการแช่แข็ง

จุดประสงค์ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิภายใน (Core temperature) ต่ำกว่า -18 °C ซึ่งแบ่งวิธีการแช่แข็งออกเป็นประเภทใหญ่ ดังนี้

3.1 แช่แข็งแบบ Individual Quick Freeze แบ่งตามอุปกรณ์ได้ดังนี้

1. แบบ Air blast โดยใช้ลมเย็น (ประมาณ -40 °C) จากเครื่องทำความเย็นเป่าลงไปโดยตรงยังผลิตภัณฑ์ ที่ผ่านมาในสายพาน โดยให้ความสัมพันธ์ความเร็วของสายพานกับเวลาของกระบวนการเป่าลมเย็นให้สอดคล้องกับที่กำหนด เพื่อที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิภายใน (Core temperature) ต่ำกว่า -18 °C
2. แบบ Cryogenic โดยใช้ก๊าซเหลว (N_2 – Nitrogen หรือ CO_2 – Carbon dioxide) ปรับความดันให้ได้อุณหภูมิประมาณ -70 °C แล้วเป่าโดยตรงไปยังผลิตภัณฑ์ โดยอาจมีพัดลมเล็กๆ จำนวนหนึ่งหมุนเวียนความเย็นให้ทั่วถึงผลิตภัณฑ์ ซึ่งเคลื่อนที่บนวายพานจนอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ภายใน (Core temperature) ได้ต่ำกว่า -18 °C หลังจากผ่านกระบวนการ IQF ผลิตภัณฑ์เข้าสู่กระบวนการบรรจุต่อไป

3.2 แช่แข็งแบบ Packed ส่วนใหญ่จะมี 2 ระบบ ดังนี้

1. แบบห้องแช่แข็ง (Freeze Room) นำผลิตภัณฑ์ใส่ภาชนะขนาดพอเหมาะแล้ว ใส่ในชั้นที่มีล้อเข็นนำเข้าไปแช่แข็งในห้องแช่แข็ง (ซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบ Air blast และแบบคอยล์ไส้ไก่) ที่อุณหภูมิ -40 °C จนอุณหภูมิ – กลางผลิตภัณฑ์ (Core temperature) ได้ต่ำกว่า -18 °C

2. แช่แข็งโดยใช้เครื่องระบบ Contact Plate freezer วัตถุดิบจะถูกนำไปบรรจุลงในถาดเฉพาะสำหรับเครื่อง โดยใส่น้ำเติมลงจนเต็มแล้วนำถาดนี้วางไว้บนชั้นของเครื่อง Contact Plate freezer เมื่อเรียงถาดเสร็จแล้วจะมีอุปกรณ์เลื่อนชั้นต่างๆ ให้กดลงชิดกับถาดพอดี (Contact) ภายในชั้นต่างๆ จะมีสารทำความเย็นหมุนเวียนอยู่ดึงความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์จนกระทั่งอุณหภูมิ – กลางผลิตภัณฑ์ได้ -18 °C ซึ่งนำออกจากเครื่อง

4. การบรรจุภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากห้องแช่แข็งอาจจะต้องนำเข้าบรรจุหีบห่อเพื่อเตรียมจำหน่าย โดยการบรรจุจะกระทำภายในห้องที่มีอุณหภูมิต่ำ เพื่อป้องกันการเสียหายของผลิตภัณฑ์

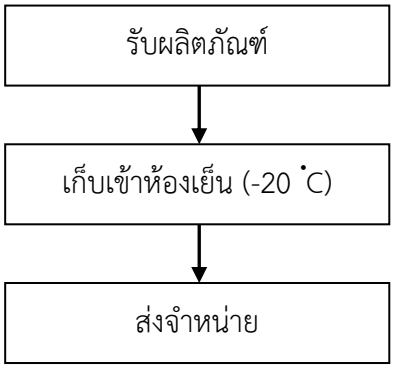
5. การเก็บในห้องเย็น

หลังจากนั้นจะนำผลิตภัณฑ์ที่บรรจุหีบห่อแล้วจัดเรียงในชั้นที่มีรถเข็นมาเข้าเก็บในห้องเย็น โดยจะรักษาอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ -20 °C

6. การส่งจำหน่าย

เมื่อมีการจำหน่าย หรือทำกระบวนการผลิตจะนำผลิตภัณฑ์ออกจากห้องเก็บ เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมแช่แข็งและเก็บอาหารทะเล

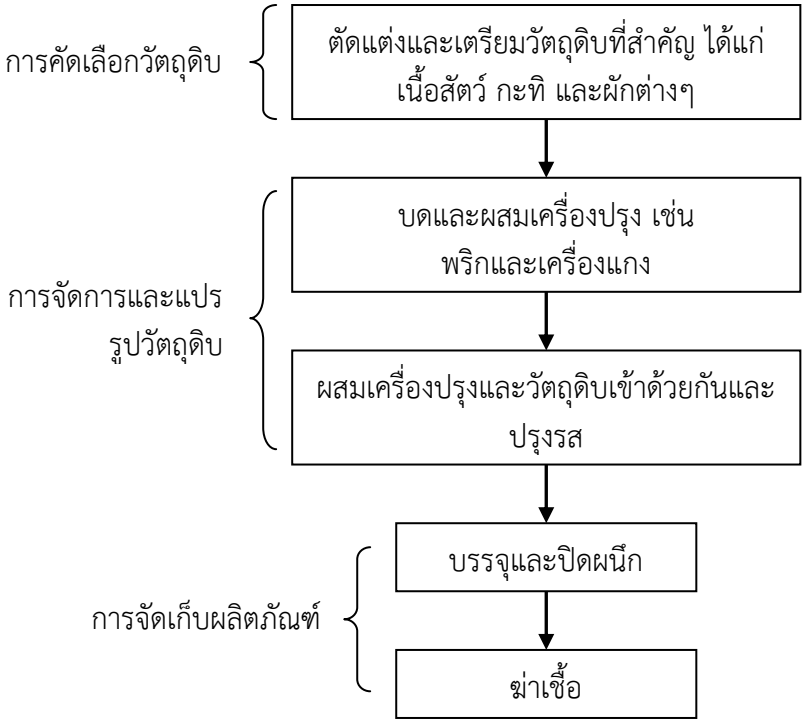
สำหรับโรงงานที่รับเฉพาะเก็บอาหารทะเลที่แช่แข็งมาแล้ว จะมีกระบวนการดังนี้



รูปที่ 3.6 แสดงกระบวนการเก็บรักษาอาหารทะเลที่ผ่านการแช่แข็งมาแล้ว

3.6 กรรมวิธีการผลิตแกงกะทิสำเร็จรูป

อยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุงที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน และมีศักยภาพการเติบโตในอนาคต



รูปที่ 3.7 กรรมวิธีผลิตการผลิตแกงกะทิสำเร็จรูป

1. วัตถุดิบที่ใช้และแหล่งวัตถุดิบ

การผลิตแกงกะทิสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องและถุงพลาสติก เป็นการผลิตที่พึ่งพาวัตถุดิบในประเทศเกือบทั้งหมด เนื่องจากมีวัตถุดิบในประเทศเป็นจำนวนมาก และราคาเหมาะสม ทำให้โรงงานสามารถจัดหาวัตถุดิบมาสนับสนุนการผลิตได้อย่างเต็มที่ โดยวัตถุดิบหลักประกอบด้วย เนื้อสัตว์ อาทิ เนื้อไก่ หมู และปลา เป็นต้น (บางโรงงานก็ผลิตแบบไม่ใส่เนื้อสัตว์ เพื่อไม่ให้เกิดข้อจำกัดในการทำตลาด โดยผู้บริโภคสามารถใส่เนื้อสัตว์ที่ชอบลงไปได้) ส่วนประกอบอื่นๆ เช่น เครื่องแกง เครื่องปรุงรส และผัก เป็นต้น

2. บรรจุภัณฑ์

ได้แก่ กระป๋อง และถุงพลาสติก ในกรณีโรงงานที่ผลิตแกงกะทิบรรจุกระป๋อง วัตถุดิบทั้งหมดจะเป็นผลผลิตภายในประเทศ ขณะที่โรงงานที่ผลิตแกงกะทิสำเร็จรูปบรรจุถุงพลาสติก จะต้องนำเข้าถุงพลาสติกจากต่างประเทศ ได้แก่ ญี่ปุ่น ซึ่งต้องเสียภาษีนำเข้าในอัตราสูง ทำให้มีต้นทุนสูงกว่าการผลิตแบบบรรจุกระป๋อง

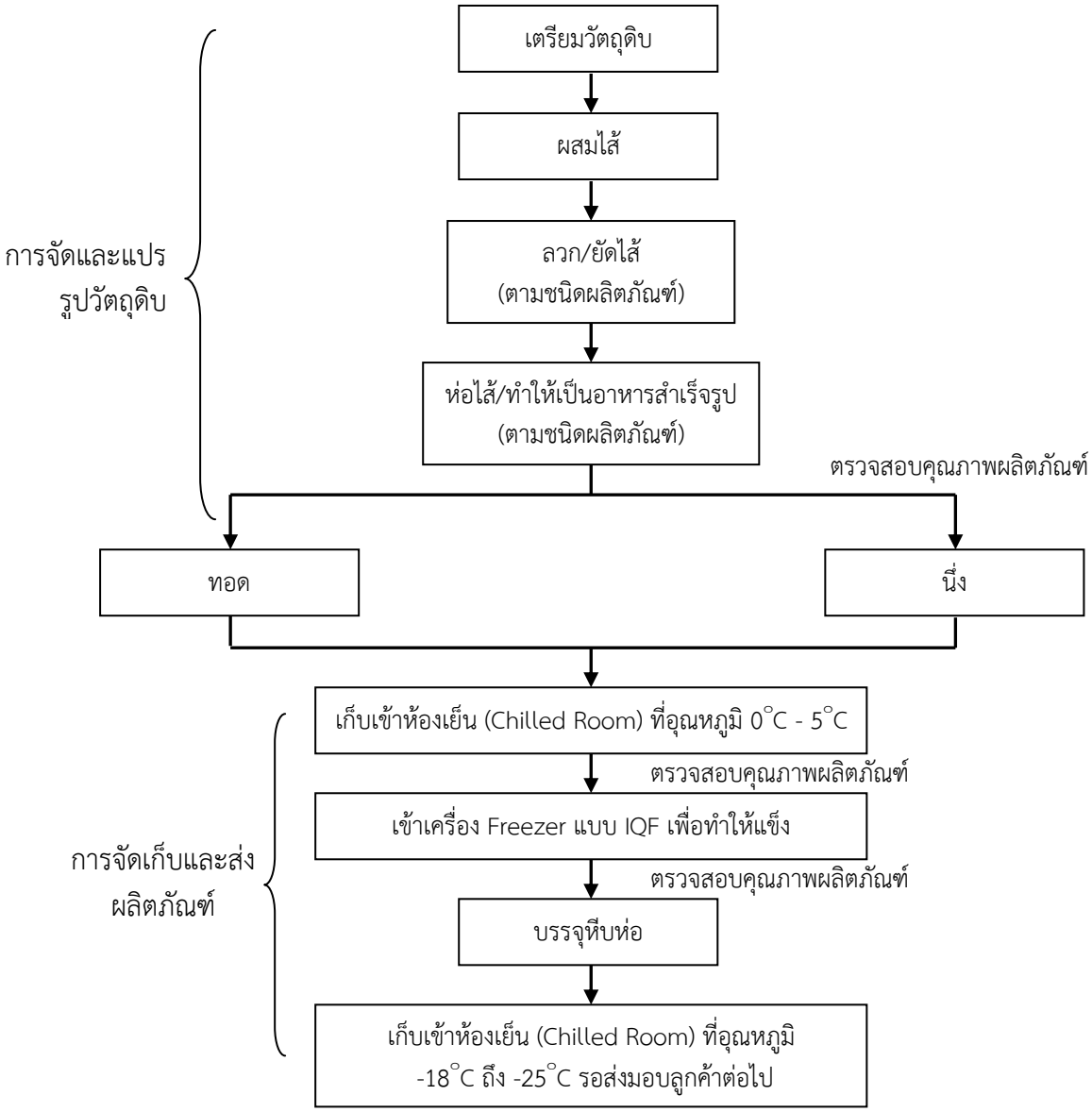
3. เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต

เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตประกอบด้วย

1. เครื่องบรรจุ ใช้ในขั้นตอนการบรรจุและปิดผนึก
2. เครื่องฆ่าเชื้อ สำหรับ Retort Pouch ใช้ในขั้นตอนการฆ่าเชื้อ
3. เครื่องกำเนิดไอน้ำ
4. เครื่อง Kettle ใช้ในขั้นตอนการผสมและปรุง

3.7 กรรมวิธีการผลิตอาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง (อาหารว่างประเภทนึ่งหรือทอด)

อาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง (Frozen Ready-to-eat) หมายถึง อาหารสำเร็จรูปพร้อมรับประทานที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์ในรูปแช่แข็ง เพียงละลายน้ำแข็งแล้วอุ่นให้ร้อนก็สามารถเสิร์ฟได้ทันทีจำแนก 3 ประเภทหลัก คือ 1) อาหารมื้อหลัก 2) ขนมหวาน และ 3) อาหารว่าง



รูปที่ 3.8 กรรมวิธีการผลิตอาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง (อาหารว่างประเภทนึ่งหรือทอด)

1. ขั้นตอนการผลิตอาหาร

1.1 เตรียมวัตถุดิบที่เป็นของสดทั้งเนื้อสัตว์ ผัก และอื่นๆ นำมาล้าง ถ้าเป็นของสดที่ผ่านการเก็บรักษา (Stock) ด้วยวิธีแช่แข็ง จะต้องนำมาละลายน้ำแข็ง (Defrost)
1.2 นำวัตถุดิบที่ล้างแล้วเข้าเครื่องปั่นแห้ง
1.3 ผสมด้วยเครื่องผสม สำหนับกรณีผลิตภัณฑ์ที่มีการสอดไส้ เช่น ซาลาเปา ปอเปี๊ยะ เป็นต้น
1.4 นำไส้ที่ผสมแล้วมาลวกหรือผัด แล้วแต่กรณีขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์
1.5 ประกอบเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น ห่อด้วยแป้ง
1.6 ตรวจเช็คคุณภาพผลิตภัณฑ์ เช่น ลักษณะการพับ/ห่อ ขนาด ฯลฯ
1.7 ส่งผ่านทางสายพานลำเอียง เพื่อทอด/นึ่ง ตามผลิตภัณฑ์

2. การแช่แข็ง (การจัดเก็บผลิตภัณฑ์)

2.1 นำอาหารที่ปรุงเสร็จแล้วเข้าพักห้องชิล (Chilled Room) ที่อุณหภูมิ 0° ถึง -5°C
2.2 เข้าเครื่องแช่แข็ง (Freezer) แบบ IQF (Individual Quick Frozen) ที่อุณหภูมิ -18°C โดยต้องเรียงอาหารไม่ให้ซ้อนทับ/ติดกัน
2.3 ตรวจเช็คคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยในขั้นตอนนี้จะเน้นการตรวจเช็ควัตถุปนเปื้อนประเภทโลหะเป็นกรณีพิเศษ
2.4 บรรจุหีบห่อพร้อมตรวจเช็ควัตถุปนเปื้อน โดยเฉพาะประเภทโลหะอีกครั้ง
2.5 เก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิ -18°C ถึง -27°C เพื่อรอส่งมอบลูกค้าต่อไป

3. เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต

เครื่องจักรที่ประกอบด้วย

3.1 เครื่องตัด ใช้ในการตัดแต่งวัตถุให้มีขนาดตามที่ต้องการ ใบมีดที่ใช้ในการตัดที่มีลักษณะพิเศษบางชนิดอาจต้องสั่งจากต่างประเทศ
3.2 เครื่องผสม ใช้ในขั้นตอนการผสมไส้ หรือเครื่องปรุงรสอื่น
3.3 เครื่องรีดแป้ง เพื่อรีดแผ่นแป้งให้บาง ก่อนใช้ในการห่อไส้
3.4 เครื่องให้ความร้อน เช่น Steamer Boiler และ Fryer เป็นต้น ใช้ในการนึ่งและทอด
3.5 Freezer แบบ I.Q.F เพื่อลดอุณหภูมิอาหารสำเร็จรูปอย่างรวดเร็วและแข็งตัว

3.8 รายการอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต

จากรายละเอียดกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตอาหารแปรรูป สามารถแจกแจงอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้ดังนี้

3.8.1 หม้อไอน้ำ

ในกระบวนการผลิตอาหารแปรรูปเป็นกระป๋องโดยทั่วไปจะใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลัก โดยอุปกรณ์หลักที่ใช้ผลิตไอน้ำคือ หม้อไอน้ำ และการใช้งานหม้อไอน้ำควรผลิตไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 2 bar เพราะถ้าหม้อไอน้ำผลิตไอน้ำที่ความดันสูงกว่า 2 bar จะทำให้เปลืองพลังงานมาก

รูปที่ 3.9 หม้อไอน้ำ

ไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำจะถูกส่งไปให้ความร้อนกับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำอาจมีลักษณะของการใช้ไอน้ำเป็นแบบให้ความร้อนโดยตรง (แบบสัมผัสตรง) หรืออาจเป็นแบบให้ความร้อนทางอ้อม (แบบแลกเปลี่ยนความร้อน) ขึ้นกับลักษณะของการผลิตในกระบวนการ โดยนอกจากอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำจะใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลักแล้ว ยังอาจมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเสริมบ้างเล็กน้อยในมอเตอร์ สายพานลำเลียง เช่น ในกรณีของตู้ไล่อากาศ รายการอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋องมีดังนี้ ถังต้ม หม้อนึ่ง ตู้ไล่อากาศ หม้อฆ่าเชื้อ หม้อน้ำปรุงรส

3.8.2 ถังต้ม

ถังต้มเป็นถังน้ำร้อนที่ใช้ในขั้นตอนการต้ม หรือ ลวก วัตถุดิบก่อนที่จะบรรจุลงในกระป๋อง การต้มหรือลวก ทำได้โดยนำวัตถุดิบไปผ่านในน้ำร้อน หรืออาจใช้ไอน้ำให้ความร้อนกับวัตถุดิบโดยตรง (นึ่ง) อุปกรณ์ที่ใช้ในการต้ม ลวก หรือ นึ่ง อาจเป็นแบบต่อเนื่อง หรือทำงานเป็นช่วงๆ

รูปที่ 3.10 ถังต้ม

รูปที่ 3.11 หม้อนึ่ง

ขนาดของถังต้มจะขึ้นอยู่กับปริมาณ และชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการต้มถังต้มแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. ถังต้มที่ใช้ไอน้ำในการให้ความร้อนโดยตรง
   ถังต้มชนิดนี้จะให้ความร้อนโดยใช้ท่อไอน้ำเจาะรูเล็กๆ วางอยู่ด้านล่างในถัง ไอน้ำจะพ่นผ่านรูดังกล่าวขึ้นไปสัมผัสให้ความร้อนกับน้ำโดยตรง การควบคุมอุณหภูมิจะใช้ลิ้นไอน้ำในการควบคุมปริมาณไอน้ำให้พอดีกับภาระความร้อนที่ต้องการ หากแรงดันไอน้ำสูงเกินความจำเป็น หรือ ขนาดท่อไม่เหมาะสม หรือการปรับตั้งลิ้นไอน้ำไม่เหมาะสม ไอน้ำจะให้ความร้อนกับน้ำได้ไม่เต็มที่ และมีความร้อนสูญเสียเกิดขึ้นในระบบ
2. ถังต้มที่ใช้ไอน้ำโดยการแลกเปลี่ยนความร้อน
   ถังต้มชนิดนี้จะใช้ไอน้ำในการให้ความร้อนผ่านตัวอุปกรณ์ ซึ่งมีลักษณะเป็นถังหรือหม้อสองชั้น โดยไอน้ำจะถูกส่งไปให้ความร้อนรอบๆ หรืออาจเป็นการใช้ไอน้ำผ่านขดท่อไอน้ำ การใช้ไอน้ำโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ จะมีกับดักไอน้ำทำหน้าที่เป็นลิ้นอัตโนมัติในการปล่อยน้ำที่เกิดจากการกลั่นตัวออกจากถัง การควบคุมอุณหภูมิ จะควบคุมโดยการปรับความดันให้เหมาะสมกับการใช้งานข้อเสียของถังต้มชนิดนี้ คือ ใช้เวลาในการเร่งความร้อนนานกว่าถังต้มแบบการใช้ไอน้ำให้ความร้อนโดยตรง

3.8.3 ตู้ไล่อากาศ

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการบรรจุกระป๋อง ได้แก่ ตู้ไล่อากาศ ในขั้นตอนการไล่อากาศ ถึงแม้ว่าวิธีการขจัดอากาศออกจากผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในกระป๋อง ก่อนปิดฝานั้น มีหลายวิธี เช่นใช้เครื่องสุญญากาศ แต่ในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่ จะใช้วิธีการนำกระป๋องบรรจุผลิตภัณฑ์ไปให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำโดยตรงในตู้ที่ออกแบบมีลักษณะเป็นกล่องยาว หรือตู้ไล่อากาศ

ตู้ไล่อากาศทำงานโดย ไอน้ำจะถูกฉีดเข้าไปในตู้ผ่านท่อไอน้ำที่วางอยู่ในตู้ไล่อากาศอาจจะมีความยาวประมาณ 5 ถึง10 เมตร ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของผลิตภัณฑ์ ลักษณะการทำงานจะทำงานต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์จะถูกนำผ่านตู้โดยสายพาน ใช้เวลาตั้งแต่เข้าถึงออกจากตู้ประมาณ 10 ถึง 20 นาที ขึ้นอยู่กับชนิดผลิตภัณฑ์ เช่น ขนาดเล็ก/ใหญ่ ความเข้มข้น เป็นต้น อุณหภูมิใช้งานประมาณ 100 °C ถึง 120 °C

ลักษณะการใช้พลังงานของตู้ไล่อากาศจะมีการใช้งานทั้งพลังงานความร้อนจากไอน้ำในการไล่อากาศและพลังงานไฟฟ้าในการหมุนมอเตอร์สายพานลำเลียง

รูปที่ 3.12 ตู้ไล่อากาศ

3.8.4 หม้อฆ่าเชื้อ

อุปกรณ์หลักที่มักใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อ ได้แก่ หม้ออบฆ่าเชื้อ (Retorts) เป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานมาก ในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง การฆ่าเชื้อ (Sterilization) แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะการให้ความร้อน ได้แก่ การฆ่าเชื้อโดยใช้ไอน้ำภายใต้ความดัน และการฆ่าเชื้อโดยใช้น้ำร้อนลักษณะการใช้พลังงานของหม้อฆ่าเชื้อจะมีการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลัก รวมทั้งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องสูบน้ำ และมอเตอร์พัดลมสำหรับกระบวนการทำให้เย็นในหอผึ่งน้ำการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อหรือแบคทีเรีย และเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์ เพื่อถนอมอาหารที่อยู่ในกระป๋องที่ปิดฝาแล้วนั้น จะต้องทราบอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมกับแต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้ในการพิจารณาใช้งานหม้ออบฆ่าเชื้อ

การฆ่าเชื้อโดยใช้ไอน้ำภายใต้ความดัน โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกวางขนานกับพื้นโดยกระป๋องที่บรรจุผลิตภัณฑ์ที่ปิดฝาแล้วจะถูกใส่เข้าไปในหม้ออบฆ่าเชื้อ ซึ่งมีฝาปิด ทั้งนี้จะใช้ไอน้ำโดยตรงในการให้ความร้อนภายใต้ความดัน โดยเริ่มต้นจะใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 10-20 นาทีขึ้นอยู่กับชนิดผลิตภัณฑ์ ลักษณะการทำงานเริ่มแรกจะเป็นการไล่อากาศออกจากหม้ออบฆ่าเชื้อ โดยไอน้ำจะเข้ามาแทนที่อากาศ อากาศที่อยู่ในตัวอุปกรณ์จะเป็นอุปสรรคสำคัญในการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำไปสู่ผลิตภัณฑ์ ทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ และมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหาย สำหรับในช่วงของการให้ความร้อนลิ้นระบายอากาศอัตโนมัติ จะเป็นตัวระบายอากาศที่ปนมากับไอน้ำ ให้ออกจากหม้ออบฆ่าเชื้อตลอดระยะเวลาในการให้ความร้อน ระยะเวลาในการอบจะอยู่ในช่วง 20-50 นาที ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ หลังจากการอบฆ่าเชื้อจนได้ระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว จะต้องลดอุณหภูมิของอาหารกระป๋องลงโดยเร็ว เพื่อป้องกันความร้อนสะสม ซึ่งอาจทำให้รสชาติและคุณค่าของ ผลิตภัณฑ์ลดลง โดยทั่วไปจะใช้ระบบน้ำเย็นฉีดเข้าไปในหม้อฆ่าเชื้อและน้ำดังกล่าวจะถูกหมุนเวียน โดยนำกลับไประบายความร้อนด้วยหอผึ่งน้ำและนำกลับมาใช้ใหม่ในช่วงเวลาดังกล่าวจะต้องมีการอัดอากาศเพื่อรักษาความดันในหม้ออบฆ่าเชื้อ เนื่องจากไอน้ำเมื่อกลั่นตัวแล้วจะเกิดสุญญากาศในหม้ออบฆ่าเชื้อ ซึ่งมีผลเสียหายต่อกระป๋องผลิตภัณฑ์ได้

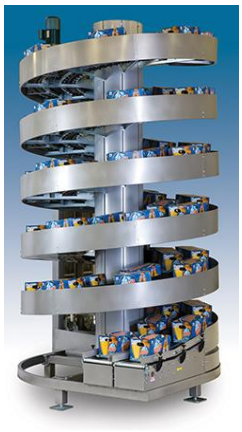
หม้อฆ่าเชื้อชนิดให้ความร้อนโดยใช้น้ำร้อน จะมีอุณหภูมิประมาณ 90 °C ถึง 120 °C การผลิตน้ำร้อนจะใช้ไอน้ำทั้งการให้ความร้อนโดยตรง และการแลกเปลี่ยนความร้อน ลักษณะของอุปกรณ์อาจจะเป็นถังน้ำร้อนหรือรางน้ำร้อน มีขนาดตามปริมาณและชนิดของผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานเหมือนหม้อต้มทั่วไป

รูปที่ 3.13 หม้ออบฆ่าเชื้อ

3.8.5 อุปกรณ์อื่นๆในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง

สำหรับอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ซึ่งได้แก่ เครื่องปิดฝา เครื่องปิดฝาขวดแก้ว และสายพานลำเลียง เป็นต้น ดังแสดงในรูปข้างล่าง

รูปที่ 3.14 เครื่องปิดฝา



รูปที่ 3.15 สายพานลำเลียง

3.8.6 เครื่องแช่แข็ง (Freezer)

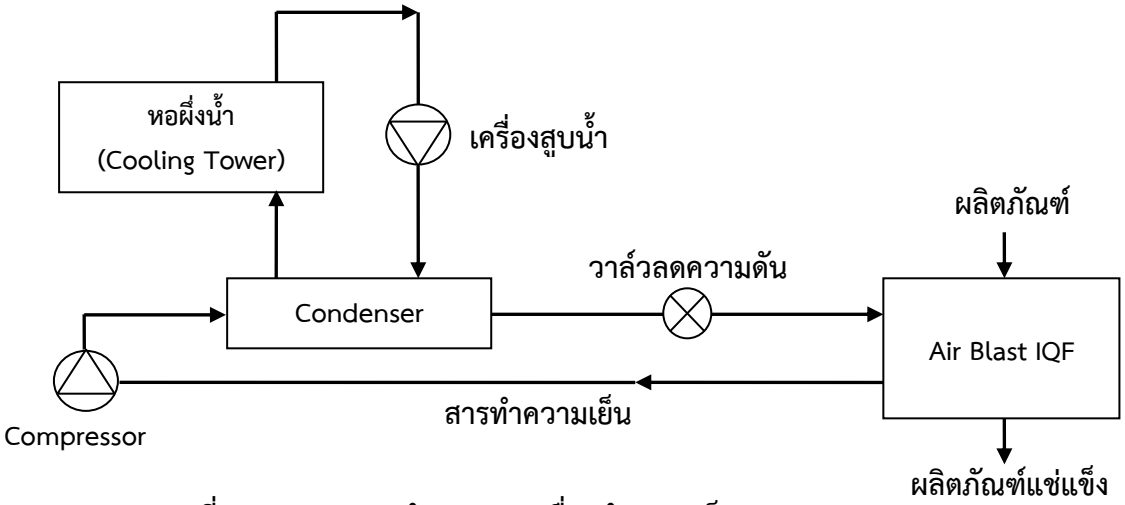
เครื่องจักรที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหารสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะการใช้ตัวกลางในการลดอุณหภูมิของชิ้นอาหาร คือ

1. เครื่องแช่แข็งระบบที่ใช้ลมเย็นเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนออกจากวัสดุอาหาร เช่น เครื่องแช่แข็งแบบอุโมงค์ (Tunnel Freezer)

ที่มา : http://www.patkol.com

รูปที่ 3.16 Tunnel Freezer (ซ้าย) และ Spiral Freezer (ขวา)

โดยหลักการ ภายในเครื่องประกอบด้วยสายพานลำเลียง ซึ่งเป็นแบบตรงเป็นแถวยาว (Tunnel) หรือเป็นเกลียว (Spiral) โดยที่ผลิตภัณฑ์จะจัดวางบนสายพานดังกล่าวเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ด้านข้างจะมีคอยล์ทำความเย็น (Cooling Coil) พร้อมพัดลม สำหรับเป่าลมเย็น (-40°C) ไปยังสายพาน จนได้อุณหภูมิที่ต้องการ (Core temperature ไม่สูงกว่า -18°C) ผลิตภัณฑ์จะถูกส่งออกยังทางออกของเครื่อง



รูปที่ 3.17 วงจรการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบ IQF

2. เครื่องแช่แข็งแบบที่ไม่ใช้ลมเย็นแต่จะใช้สารหรือวิธีอื่นๆ ในการลดอุณหภูมิชิ้นอาหาร ตัวอย่าง ของเครื่องแช่แข็งในกลุ่มนี้ที่เป็นที่นิยมคือ Contact plate freezer

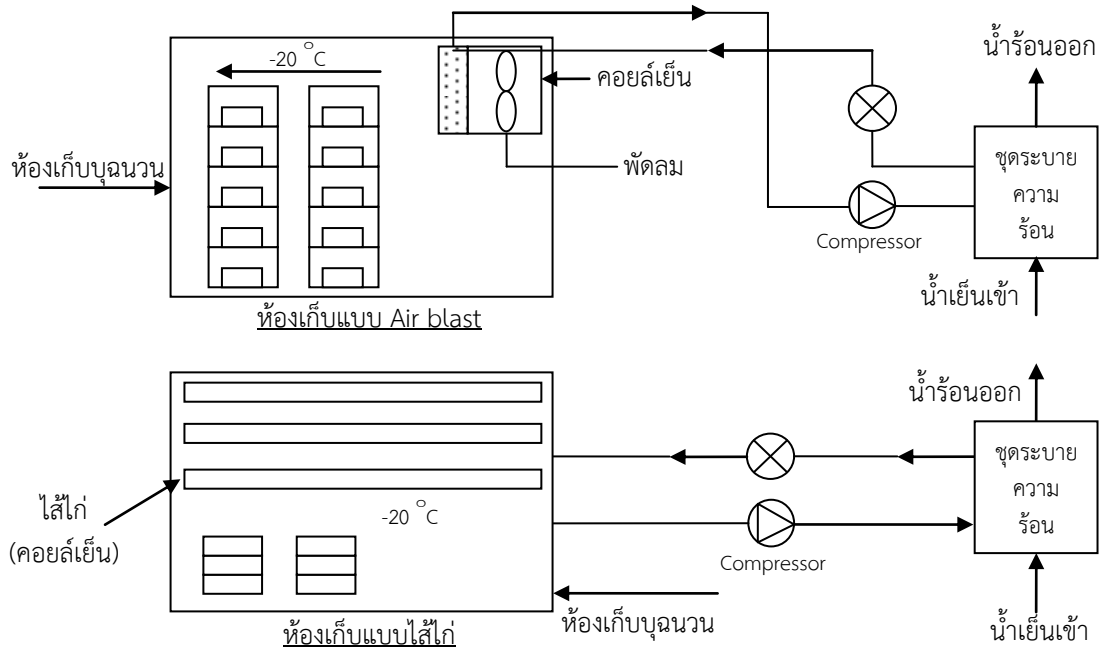
เครื่อง Plate freezer ซึ่งเป็นเครื่องประกอบสำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิต ประกอบด้วย ชั้นวางผลิตภัณฑ์หลายๆ ชั้น ภายในชั้นจะเป็นช่องว่างให้สารทำความเย็น (Refrigerant) ไหลผ่านได้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ซึ่งใส่ถาดพร้อมน้ำวางบนชั้นแล้ว ชั้นเหล่านี้จะสามารถเลื่อนเข้าหากันจนชิดถาดผลิตภัณฑ์นั้น ทั้งด้านบนและด้านล่าง (Contact) สารทำความเย็นจะสามารถถ่ายเทความเย็นจากชั้นลงสู่ผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง Compressor ซึ่งใช้แบบเดียวกับ Compressor ห้องแช่แข็งทั่วๆ ไปโดยมีทั้งแบบลูกสูบและแบบสกรู ระบบระบายความร้อนมีทั้งระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Condenser coil) และแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Cooling tower)

ที่มา : http://www.patkol.com

รูปที่ 3.18 เครื่อง Contact plate freezer **รูปที่ 3.19 ลักษณะของถาดใส่ผลิตภัณฑ์**

3.8.7 ห้องเย็น

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบรรจุภัณฑ์แล้วจะนำเข้าเก็บไว้ในห้องเย็น ซึ่งรักษาอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ -20°C ซึ่งห้องเก็บมี 2 แบบ คือ แบบ Air blower (ใช้คอยล์เย็น โดยมีพัดลมเป่า) และแบบไส้ไก่ (เป็นขดท่อสารความเย็นรอบ ๆ ห้อง ซึ่งอาจมีพัดลมช่วยถ่ายเทความเย็นด้วยก็ได้)



รูปที่ 3.20 แผนภาพการทำงานของห้องเย็นแบบ Air blast และแบบไส้ไก่

ที่มา : http://www.patkol.com

รูปที่ 3.21 ห้องเย็นแบบ Air blast

บทที่ 4

การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน

4.1 บทนำ

การตรวจวัดการใช้พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ ซึ่งจำเป็นในการประเมินแนวทางการประหยัดพลังงาน การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน ตลอดจนการตรวจสอบติดตามผลการประหยัดที่เกิดขึ้นจริงหลังจากที่ได้ดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาในเอกสารนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานของการตรวจวัดการใช้พลังงานของระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและระบบที่ใช้พลังงานความร้อน รวมทั้งการประเมินการใช้พลังงานของโรงงาน ระบบที่ใช้พลังงานได้แก่ ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบอากาศอัด ระบบแสงสว่าง ระบบปั๊มน้ำ และมอเตอร์ เป็นต้น ส่วนระบบที่ใช้พลังงานความร้อนได้แก่ ระบบไอน้ำ ระบบน้ำมันร้อน และเตาอุตสาหกรรม เป็นต้น

4.2 พื้นฐานของการตรวจวัดการใช้พลังงาน

พลังงานมีความสำคัญต่อผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากพลังงานเป็นต้นทุนหลักอย่างหนึ่งของสินค้า การลดหรือการบริหารจัดการการใช้พลังงานที่เหมาะสมจะช่วยปรับปรุงในด้านต่างๆ ของโรงงาน ได้แก่ ราคาของสินค้า งบประมาณรายจ่าย ตลอดจนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงงาน โดยการที่จะลดการใช้พลังงานได้นั้นจะต้องทำการตรวจการใช้พลังงานประกอบด้วยเสมอ ความสำคัญของการตรวจวัดการใช้พลังงานสามารถสรุปได้ดังนี้

- ทำให้ทราบปริมาณการใช้และการสูญเสียพลังงาน ทั้งก่อนและหลังการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงาน
- ทำให้ทราบประสิทธิภาพการใช้พลังงานทั้งของเครื่องจักร อุปกรณ์ และของโรงงานโดยรวม
- เป็นข้อมูลในการประเมินแนวทางการประหยัดพลังงานที่เป็นได้ และใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน
- ใช้ในการกำหนดดัชนีการใช้พลังงานเพื่อใช้ตรวจสอบ และติดตามผลการประหยัดพลังงานหลังจากได้มีการดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงานไปแล้ว

วัตถุประสงค์ในการตรวจวัดการใช้พลังงานเพื่อให้ทราบว่า

- มีการใช้พลังงานที่ไหนและเมื่อไหร่ เช่น กระบวนการผลิตส่วนใดของโรงงานมีการใช้พลังงานบ้าง ช่วงเวลาของการใช้พลังงานในแต่ละส่วนคิดเป็นกี่ชั่วโมงต่อวันหรือกี่วันต่อสัปดาห์
- มีการใช้พลังงานอย่างไร เช่น มีการใช้พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาที่หม้อไอน้ำ มีการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำในการต้มวัตถุดิบ
- มีการใช้พลังงานเพื่อทำอะไร เช่น เพื่ออบแห้งสินค้า เพื่อให้ความเย็นในพื้นที่การผลิต

จากวัตถุประสงค์ดังกล่าว ทำให้พอสรุปสิ่งที่ต้องการทำการตรวจวัดได้อย่างน้อย 4 ประการ คือ

- กระบวนการและปริมาณการผลิตของโรงงานในสภาพปกติ
- ปริมาณการใช้พลังงานในสภาพปกติ ทั้งปริมาณการใช้ไฟฟ้า และปริมาณการใช้เชื้อเพลิง
- ช่วงเวลาการผลิต และช่วงเวลาที่ไม่ได้ทำการผลิตของโรงงาน
- สภาพภูมิอากาศแวดล้อม ในกรณีที่สภาพภูมิอากาศมีผลต่อการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต

จะสังเกตได้ว่า การตรวจวัดการใช้พลังงานจะเน้นที่การตรวจวัดในสภาวะที่โรงงานทำการผลิตปกติ ไม่ใช่ช่วงเวลาที่ต้องเร่งทำการผลิตเนื่องจากมีคำสั่งซื้อเข้ามามากในช่วงเทศกาล หรือในทางกลับกัน ไม่ใช่ช่วงเวลาที่ผลิตน้อยกว่าปกติ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ได้จากสภาวะปกตินั้นจะเป็นค่าที่แท้จริงของโรงงาน และสามารถเป็นค่าฐานในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน และใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบก่อนและหลังการดำเนินการตามแนวทางการประหยัดพลังงานได้

ในการตรวจวัดการใช้พลังงานจะกระทำกันอยู่ 2 ลักษณะ คือ การตรวจวัดแบบชั่วขณะ และการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง

- **การตรวจวัดแบบชั่วขณะ**
  เป็นการตรวจวัดครั้งเดียวเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนการทำงานในขณะที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ทำงานที่สภาวะปกติ ซึ่งในกรณีของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก การตรวจวัดชั่วขณะส่วนใหญ่จะเพียงพอแล้วสำหรับการวิเคราะห์แนวทางการประหยัดพลังงาน ข้อดีของการตรวจวัดแบบชั่วขณะคือ ทำได้ง่ายและประหยัดเวลา ส่วนข้อเสียคือ หากตรวจวัดในช่วงเวลาที่เครื่องจักรไม่ได้ทำงานที่สภาวะปกติจะทำให้ได้ค่าตัวแทนที่ไม่ถูกต้อง ทำให้ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ได้เบี่ยงเบนไปจากความจริง
- **การตรวจวัดแบบต่อเนื่อง**
  เป็นการตรวจวัดการใช้พลังงานซ้ำๆ กันอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่งๆ เช่น ทุกชั่วโมง หรือทุก 15 นาที เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ต่อเนื่อง ซึ่งส่วนใหญ่การตรวจวัดแบบนี้จะทำกับเครื่องจักรที่มีลักษณะการทำงานไม่คงที่ แปรเปลี่ยนตลอดเวลา หรือเป็นเครื่องจักรหลักที่มีการใช้พลังงานมากและต้องการทราบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงาน (Energy Load Profile) อย่างละเอียด ข้อดีของการตรวจวัดแบบต่อเนื่องคือ ได้ค่าที่เป็นตัวแทนการทำงานของเครื่องจักรที่ถูกต้องแน่นอน ทำให้สามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ส่วนข้อเสียคือ ต้องใช้เวลามากและสิ้นเปลืองกำลังคนในการบันทึกข้อมูลหรือสิ้นเปลืองเงินลงทุนในการเช่าหรือซื้อเครื่องมือวัดที่สามารถบันทึกข้อมูลต่อเนื่องได้อย่างอัตโนมัติ

การตรวจวัดการใช้พลังงานโดยทั่วไปจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้น เช่น บันทึกปริมาณการผลิต ใบเสร็จค่าไฟ ใบเสร็จค่าเชื้อเพลิง รายละเอียดของเครื่องจักรที่ใช้พลังงาน ฯลฯ
2. จำแนกเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้พลังงานตามประเภทของพลังงานที่ใช้
3. ศึกษาการใช้พลังงานของเครื่องจักรและจุดต่างๆ ในกระบวนการผลิต
4. กำหนดแผนการตรวจวัด ได้แก่ เครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตที่ต้องการตรวจวัด ตัวแปรที่จำเป็นต้องวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ช่วงเวลาในการตรวจวัดที่สอดคล้องกับสภาพการใช้พลังงาน ผู้รับผิดชอบในแต่ละขั้นตอน
5. จัดเตรียมเครื่องมือวัดที่จำเป็น ทั้งจากการเช่าและจากการซื้อเอง โดยหากโรงงานต้องการซื้อเครื่องมือวัดไว้ใช้เอง ควรพิจารณาถึงด้านต่างๆ ได้แก่ ราคา ความถี่ในการใช้งาน ช่วงการตรวจวัด ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ตลอดจนความสะดวกในการพกพาเพื่อให้สามารถตรวจวัดได้หลายจุด
6. ดำเนินการตรวจวัดจริง และเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบอื่นๆ เช่น บันทึกการเดินเครื่องจักร (Log sheet) บันทึกการใช้พลังงานจากมิเตอร์ต่างๆ

4.3 การศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

การดำเนินการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโรงงานที่ดีมีประสิทธิภาพนั้นควรมีการเตรียมความพร้อมก่อนที่จะดำเนินการตรวจวัดฯ เพื่อให้สามารถตรวจวัดได้อย่างสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งการศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของการเตรียมความพร้อมการดำเนินการตรวจวัด

การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องและการใช้พลังงานของโรงงานควรเป็นข้อมูลย้อนหลัง 3 ปี หรืออย่างน้อย 1 ปี โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานให้ผู้ดำเนินการตรวจวัด สามารถเข้าใจภาพรวมของการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ทราบว่าพลังงานถูกนำไปใช้ที่ใดบ้าง
- เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการผลิตกับการใช้พลังงาน
- เพื่อให้สามารถวางแผนในการตรวจวัด และเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงาน

ข้อมูลเบื้องต้นที่ทีมผู้ดำเนินการตรวจวัดควรรวบรวม ได้แก่

1. ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน เช่น ชื่อ ที่อยู่ ประเภทโรงงาน และแผนผังของโรงงาน
2. กำลังการผลิตและปริมาณการผลิตจริงเป็นรายเดือน
3. ค่าใช้จ่ายและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า พลังงานเชื้อเพลิง และอื่นๆ เป็นรายเดือน
4. แผนผังกระบวนการผลิต และรายละเอียดการผลิตในแต่ละขั้นตอน เพื่อความเข้าใจในกระบวนการผลิตอย่างละเอียด
5. ปริมาณและคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เข้าและผลผลิตออกที่ออกในแต่ละขั้นตอน ได้แก่ พลังงานที่ใช้ น้ำที่ใช้วัตถุที่ป้อนเข้า ผลผลิตที่ออก และของเสียที่เกิดขึ้น
6. รายการอุปกรณ์ เครื่องจักรหลักที่ใช้งานในโรงงาน

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้รับจากทางโรงงาน ดังนี้

1. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานแต่ละชนิดของโรงงานกับผลผลิตโดยจัดทำกราฟดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตและควรแปลงหน่วยของพลังงานแต่ละชนิดให้เป็นหน่วยเดียวกัน เช่น MJ/ตันผลผลิต เพื่อนำมาเปรียบเทียบให้ทราบว่าพลังงานชนิดใดที่มีการใช้มากในโรงงาน พลังงานประเภทใดหรือทรัพยากรใดเป็นค่าใช้จ่ายหลักของโรงงาน
2. พิจารณาแนวโน้มของค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตว่าเป็นอย่างไรแปรผันอย่างไรกับปริมาณผลผลิต เพื่อเป็นข้อสังเกตให้ใช้ไปหาคำตอบช่วงที่ทำการตรวจวัด
3. จากข้อ 1 และ 2 จะทำให้ทราบแล้วว่าพลังงานใดที่เป็นปัจจัยหลักในการผลิตของโรงงานและควรให้ความสนใจในการหาศักยภาพในการประหยัดในการประหยัด

4.4 การจำแนกเครื่องจักรหรืออุปกรณ์

การจำแนกและจัดทำรายการเครื่องจักรถือว่ามีส่วนสำคัญในการสำรวจตรวจวัด การที่จะได้ข้อมูลถูกต้องครบถ้วนต้องอาศัยข้อมูลของเครื่องจักรที่ถูกต้องครบถ้วนด้วยเช่นกัน เพื่อที่จะทราบจำนวนเครื่องจักรทั้งหมดที่ต้องการทำการตรวจวัด ใช้ในการวางแผนการตรวจวัด ข้อมูลพื้นฐานของเครื่องจักรช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องของการวัด การวิเคราะห์การใช้พลังงานและการวิเคราะห์มาตรการการอนุรักษ์พลังงาน การจัดทำรายการเครื่องจักรยังเป็นส่วนประกอบสำคัญในการดำเนินมาตรการบำรุงรักษาเครื่องจักร การวางแผน ตรวจสอบการบำรุงรักษาเครื่องจักร อีกทั้งช่วยในการตรวจติดตามผลการดำเนินมาตรการการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย

การรวบรวมข้อมูลสำหรับจัดทำรายการเครื่องจักรต่างๆ ควรจัดทำเป็นรายละเอียดข้อมูลประวัติเครื่องจักร รูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรมาให้ละเอียดที่สุด เพื่อประโยชน์ในการดำเนินงานต่อไป จะได้ไม่ต้องไปค้นหารายละเอียดที่อื่นอีกให้เสียเวลา หากเป็นไปได้รายละเอียดข้อมูลประวัติเครื่องจักรนี้ควรจะเป็นการ์ดแข็งเพื่อประโยชน์ในการดำเนินการบำรุงรักษาเครื่องจักร

การตั้งรหัสเครื่องจักรเป็นประโยชน์ในการจัดเก็บข้อมูลประวัติและค้นหาข้อมูลเหล่านี้ ดังในตัวอย่างนี้ตั้งรหัส 6 ตัว (0010-01) 4 ตัวแรกคือ 0010 จะเป็นการกำหนดตัวเครื่องจักร เช่น คอมเพรสเซอร์ ส่วน 2 ตัวท้ายเป็นการกำหนดเฉพาะตัวในกรณีที่เครื่องจักรนั้นมีใช้หลายเครื่อง เช่น คอมเพรสเซอร์มี 5 เครื่อง ก็จะกำหนดแต่ละตัวเป็น 01 ถึง 05 เป็นต้น

รายละเอียดข้อมูลประวัติเครื่องจักร (เครื่องอัดอากาศ)

ข้อมูลทั่วไป

ชื่อเครื่องจักร เครื่องอัดอากาศ 1..... เลขทะเบียน 0010-01.....
รุ่น ..... หมายเลขเครื่อง .....
สถานที่ติดตั้ง .....
ผู้ผลิต .....ที่อยู่ .....
.....
ผู้ขาย ..... ที่อยู่ .....
.....
วันเริ่มใช้งาน ..... ชั่วโมงการทำงาน/วัน .....
ข้อมูลเพิ่มเติม .....
.....
.....

พิกัดติดตั้งเครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศชนิด .....
จำนวนชั้นการอัด ..... อัตราการอัดอากาศ (ลิตร/นาที) .....
ความดันใช้งาน ..... ระบบระบายความร้อน .....
เครื่องจักรต้นกำลัง ..... ขนาดเครื่องจักรต้นกำลัง (HP) .....
ความเร็วรอบการหมุน (รอบ/นาที) .....
กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) ..... จำนวนเฟส .....
แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) ..... กระแสไฟฟ้า (แอมป์) .....
ค่าตัวประกอบกำลัง .....
ข้อมูลเพิ่มเติม .....
.....
.....

รายการอะไหล่ที่ควรเก็บสต๊อก

ลำดับที่	อะไหล่	Part No.		ที่เก็บในสโตร์	จำนวน
		ผู้ผลิต	สโตร์		
1	Shaft seal assy	0962086	AC-001	BIN 0010	2
2					
3					
4					

จัดทำโดย..... ตรวจสอบโดย..... อนุมัติโดย .....
(.....) (.....) (.....)
วันที่ ...../...../..... วันที่ ...../...../..... วันที่ ...../...../.....

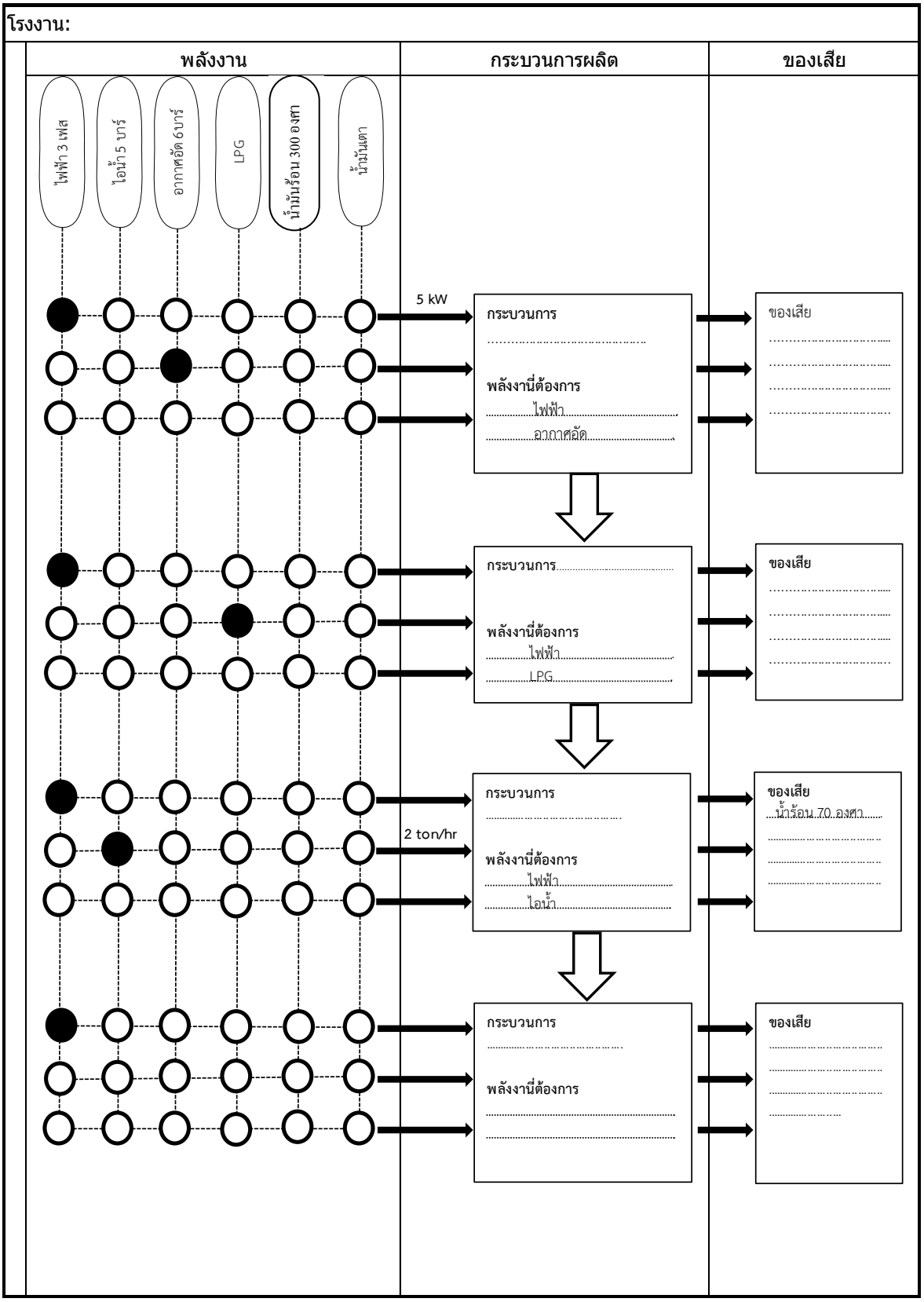
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างแบบฟอร์มรายละเอียดข้อมูลประวัติเครื่องจักร

4.5 การศึกษาการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

พลังงานถูกนำไปใช้เป็นทรัพยากรในการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมอันเนื่องมาจากความต้องการในการกระบวนการผลิต ดังนั้นในขั้นตอนแรกก่อนที่จะตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม เราต้องเริ่มจากการทำความเข้าใจและพิจารณาแผนผังกระบวนการผลิต (Processing Flow Chart) โดยการพิจารณาจากจุดเริ่มต้นที่วัตถุดิบ (Raw material) ถูกนำเข้าไปผ่านกระบวนการต่างๆ ในแต่ละขั้นตอน จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายออกมาเพื่อที่เมื่อทำการตรวจวัดเก็บข้อมูลและวิเคราะห์การใช้พลังงานสามารถที่จะสังเกตทำความเข้าใจและทราบได้ว่าในการผลิตแต่ละขั้นตอนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งแหล่งพลังงานที่ต้องการใช้งานมีอะไรบ้าง พลังงานถูกนำไปใช้เพื่ออะไร ใช้อย่างไร ซึ่งจะทำให้เราสามารถทราบและเข้าใจถึงการใช้พลังงาน (Energy Flow) ได้ ช่วยให้เกิดความรู้ความเข้าใจ เกิดความสะดวกในการวิเคราะห์การใช้พลังงานได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นเมื่อผู้ดำเนินการตรวจวัดรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของโรงงานได้แล้ว สิ่งที่ต้องดำเนินการต่อไปคือ พยายามทำความเข้าใจกับกระบวนการผลิตของโรงงานให้มากที่สุด ซึ่งผู้ดำเนินการตรวจวัดสามารถทำความเข้าใจกระบวนการผลิตใน 2 ช่วงด้วยกัน

- ช่วงแรก คือ ช่วงก่อนเข้าไปทำการตรวจวัดพลังงานในโรงงาน โดยอาศัยข้อมูลเบื้องต้น
- ช่วงที่ 2 คือ ขณะที่ทำการตรวจวัดในโรงงาน โดยหลังจากที่ผู้ทำการตรวจวัดได้ทำความเข้าใจข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานแล้ว การพูดคุยสอบถามการทำงานกับพนักงานในระดับปฏิบัติงานจะทำให้เข้าใจการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตของโรงงานในอีกระดับหนึ่ง

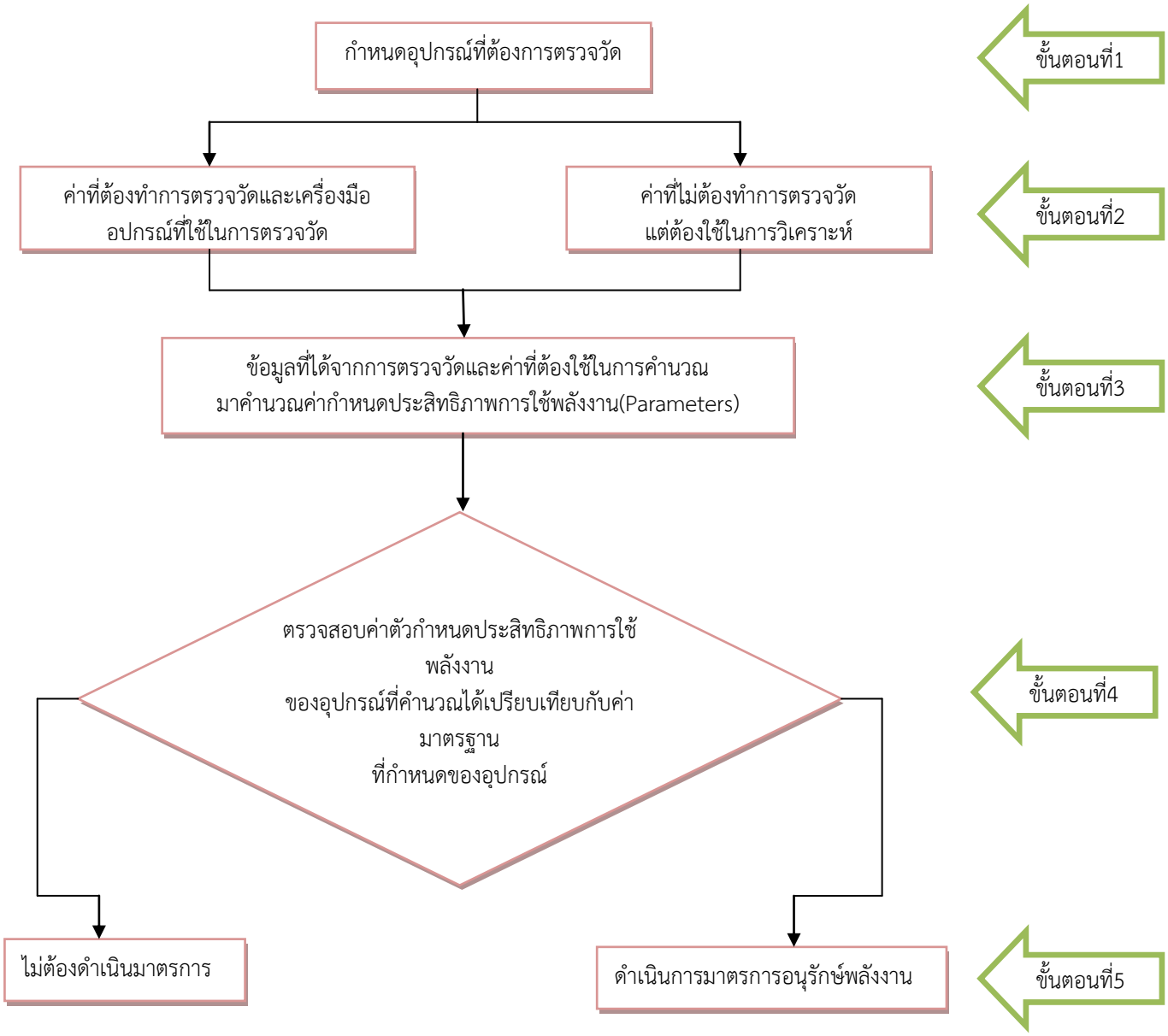
เครื่องมือที่สามารถช่วยให้วิศวกรหรือผู้ดำเนินการตรวจวัดเข้าใจกระบวนการผลิตได้มากคือ การทำแผนผังการใช้พลังงานของแต่ละกระบวนการผลิต (Energy Flow Diagram: EFD) การทำแผนผังการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต (EFD) จะทำให้ทราบระดับพลังงานที่ต้องการของแต่ละกระบวนการทั้งหมดในโรงงาน ตัวอย่าง Energy Flow Diagram แสดงดังรูปที่ 4.2 นอกจากนี้ผู้ดำเนินการตรวจวัดวิเคราะห์สามารถใช้ Process Mapping ช่วยตรวจสอบความสอดคล้องของการผลิตและการใช้พลังงาน ทั้งนี้การทำ Energy Flow Diagram และ Process Mapping ก่อนทำการตรวจวัดจะไม่สามารถระบุข้อมูลได้ครบสมบูรณ์ ข้อมูลที่ขาดหายไปนั่นหมายถึง ข้อมูลที่ต้องตรวจวัดและเก็บเพิ่มเติม



รูปที่ 4.2 แผนผังการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต (Energy Flow Diagram: EFD)

4.6 การตรวจวัดระบบที่ใช้พลังงาน

ในทางปฏิบัติการดำเนินการตรวจวัดที่เหมาะสม เพื่อนำไปสู่การประเมินสัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงาน ประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรอุปกรณ์นั้นสามารถสรุปเป็นขั้นตอนทั้งหมด 5 ขั้นตอน แสดงดังแผนผังในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

การตรวจวัดการใช้พลังงานที่ดี มีการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นอย่างละเอียด มีการวางแผนอย่างเป็นระบบ และทำการตรวจวัดได้ค่าที่ถูกต้องจะทำให้การวิเคราะห์แนวทางการประหยัดพลังงานเป็นไปอย่างชัดเจน ถูกต้อง และรวดเร็ว การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการลงทุนมีความถูกต้องแม่นยำ ทำให้การตัดสินใจดำเนินแนวทางการประหยัดพลังงานของโรงงานสามารถทำได้อย่างมั่นใจ

กรณีศึกษา: การตรวจวัดการใช้พลังงานที่ดี

โรงงานแห่งหนึ่งมีเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ขนาด 300 ตันอยู่ 1 เครื่อง ผลการตรวจวัดสภาพการทำงานเทียบกับข้อมูลติดตั้ง (Specification) เป็นไปตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลพิกัดติดตั้งและการตรวจวัดของเครื่องทำน้ำเย็น

จุดตรวจวัด	ตัวแปร	เครื่องทำน้ำเย็น	
		ค่าจากการตรวจวัด	ค่าจากข้อมูลติดตั้ง
น้ำเย็น	อุณหภูมิการเข้า (°C)	12.10	12.00
	อุณหภูมิการออก (°C)	8.22	7.00
	อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	48.30	45.40
น้ำหล่อเย็น	อุณหภูมิการเข้า (°C)	31.37	32.50
	อุณหภูมิการออก (°C)	36.11	38.00
	อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	47.40	57.00
สารทำความเย็น	อุณหภูมิอีแวปเปอเรเตอร์ (°C)	4.17	-
	อุณหภูมิคอนเดนเซอร์ (°C)	40.56	-
	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	171.00	177.00
ภาระการทำความเย็น (ตันความเย็น)		222.95	300.00
สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น (กิโลวัตต์/ตันความเย็น)		0.77	0.59

หมายเหตุ: 1) ชั่วโมงการใช้งาน 10.5 ชั่วโมง/วัน และ 365 วัน/ปี
2) ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยของโรงงาน 2.10 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ข้อมูลติดตั้งของเครื่องทำน้ำเย็นเครื่องนี้กำหนดว่า ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์และน้ำหล่อเย็นขาออกไม่ควรเกิน 1.5 °C แต่จากการตรวจวัดพบว่ามีค่าสูงถึง 4.45 °C ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำลงเนื่องจากการเกิดตะกรันหรือการอุดตันภายในท่อของคอนเดนเซอร์

จากประสบการณ์ที่ผ่านมาของวิศวกรประจำโรงงานและที่ปรึกษาด้านพลังงานพบว่าการล้างทำความสะอาดคอนเดนเซอร์จะสามารถปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นชุดนี้ได้จนมีค่าประมาณ 0.70 กิโลวัตต์/ตันความเย็น

การวิเคราะห์ผลประหยัด

พลังงานไฟฟ้าปัจจุบัน/ปี = สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น x ภาระการทำความเย็น x ชั่วโมงการใช้งาน/ปี
= 0.77 กิโลวัตต์/ตันความเย็น x 222.95 ตันความเย็น x (10.5 x 365 ชั่วโมง/ปี)
= 657,931 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

ค่าไฟฟ้า/ปี = พลังงานไฟฟ้า/ปี x ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย
= 657,931 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี x 3.10 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
= 2,039,586.10 บาท/ปี

หลังการล้างคอนเดนเซอร์

พลังงานไฟฟ้า/ปี = 0.70 กิโลวัตต์/ตันความเย็น x 222.95 ตันความเย็น x (10.5 x 365 ชั่วโมง/ปี)
= 598,119กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

ค่าไฟฟ้า/ปี = พลังงานไฟฟ้า/ปี x ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย
= 598,119 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี x 3.10 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
= 1,854,168.90 บาท/ปี

ผลการประหยัด

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 657,931 – 598,119 = 59,812 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ =2,039,586.10 - 1,854,168.90= 185,412.20บาท/ปี

การลงทุน

ค่าล้างคอนเดนเซอร์ = 60,000 บาท

ผลตอบแทนการลงทุน

ระยะเวลาการคืนทุน = ค่าลงทุน / ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปี
= 60,000 / 185,412.20
= 0.32ปี

จะเห็นได้ว่า จากการตรวจวัดและรวบรวมข้อมูลที่ละเอียด ครบถ้วน และถูกต้อง ทำให้โรงงานแห่งนี้สามารถวิเคราะห์ศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้อย่างชัดเจนแม่นยำ โดยการล้างทำความสะอาดคอนเดนเซอร์จะช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้ถึง 125,605 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุนรวดเร็วภายในเวลาประมาณครึ่งปีเท่านั้น

เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานในโรงงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและระบบที่ใช้พลังงานความร้อน ซึ่งรายละเอียดโดยสังเขปของการตรวจวัดเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักของทั้ง 2 ระบบมีดังนี้

4.6.1 ระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

1) ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

ระบบส่งจ่าย หมายถึง ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าตั้งแต่จุดที่ออกจากหม้อแปลง จนถึงตู้ส่งจ่าย หรือตู้ MDB (Main Distribution Breaker) ที่แต่ละจุดภายในโรงงาน

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) กระแสไฟฟ้า (แอมป์) กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ซึ่งเรียกโดยรวมว่าค่าทางไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของระบบ เช่น ลักษณะการใช้ไฟฟ้า เวลาที่มีความ

ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อจัดโหลดหลีกเลี่ยงช่วง Peak ของค่าไฟฟ้า ความสมดุลของแรงดันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสเพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ศักยภาพในปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าซึ่งควรจะสูงกว่า 0.90 ฯลฯ

เครื่องมือตรวจวัดมีทั้งชนิดที่วัดค่าทางไฟฟ้าแบบชั่วขณะ เช่น แอมป์มิเตอร์หรือพาวเวอร์มิเตอร์แบบคล้องวัด มิเตอร์วัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และเครื่องมือตรวจวัดชนิดที่วัดและบันทึกค่าแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 4.2 การตรวจวัดระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า	• แรงดันไฟฟ้า • กระแสไฟฟ้า • กำลังไฟฟ้า • ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	• เพาเวอร์มิเตอร์แบบคล้องวัด • เครื่องวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง

รูปที่ 4.4 หม้อแปลงไฟฟ้า

รูปที่ 4.5 ตู้ส่งจ่ายไฟฟ้า (ตู้ MDB)

รูปที่ 4.6 การตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าที่ตู้ MDB

2) ระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียว

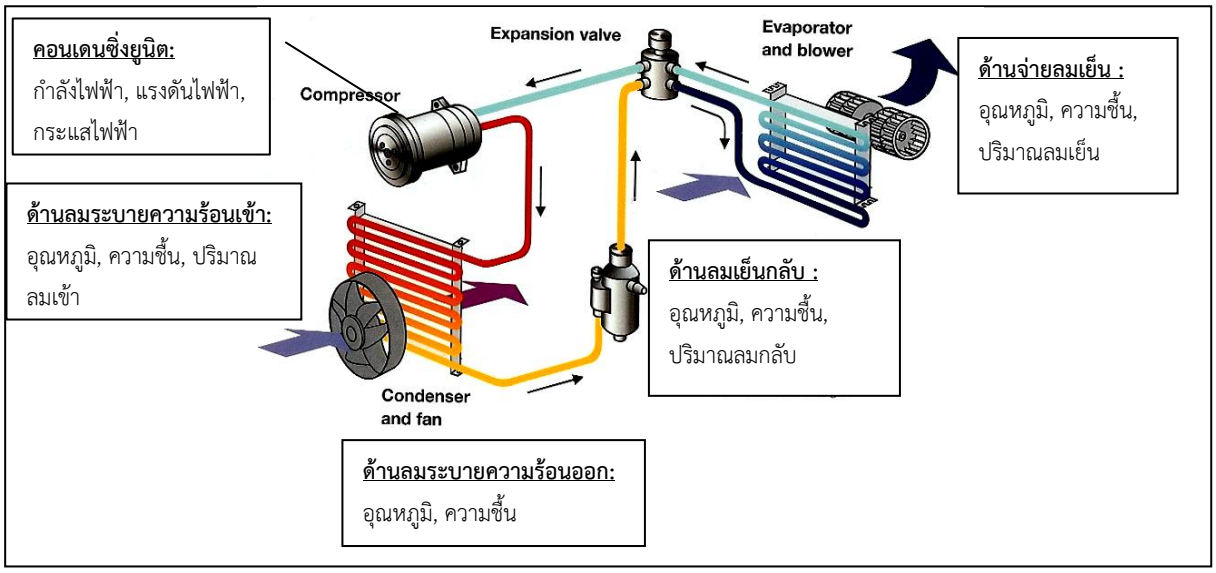
ระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียวหมายถึง เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split-type) เครื่องปรับอากาศแบบติดหน้าต่าง (Window-type) และเครื่องปรับอากาศแบบเป็นชุด (Packaged Unit)

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้ารวมทั้งช่วงเวลาการตัดต่อของคอมเพรสเซอร์ เพื่อตรวจสอบสภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายและลมกลับรวมทั้งปริมาณลมจ่ายเพื่อคำนวณภาระการทำความเย็นและสมรรถนะการทำงานของระบบปรับอากาศซึ่งไม่ควรจะใช้พลังงานเกิน 1.61 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น และค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าคอนเดนเซอร์และอากาศแวดล้อมภายนอก นอกจากนี้ยังมีข้อมูลประกอบอื่นๆ ที่จำเป็น เช่น ชนิดของเทอร์โมสตัท สภาพของแผงกรองอากาศเวลาใช้งาน

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็นได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดความเร็ว

ตารางที่ 4.3 การตรวจวัดระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียว

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียว	• ค่าทางไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ • อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย • อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับ • ความเร็วลมและพื้นที่ช่องจ่ายลมเย็น • อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าคอนเดนเซอร์ • อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมภายนอก	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า • เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ • เครื่องวัดความเร็วลม



รูปที่ 4.7 ตำแหน่งการตรวจวัดระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียว

3) ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central System) มักจะประกอบด้วยเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ที่ติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องศูนย์กลาง ทำหน้าที่ส่งจ่ายน้ำเย็นไปยังเครื่องส่งลมเย็น (AHU, Air Handling Unit และ FCU, Fan Coil Unit) ซึ่งจะติดตั้งกระจายอยู่ตามพื้นที่ปรับอากาศต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดการตรวจวัดดังนี้

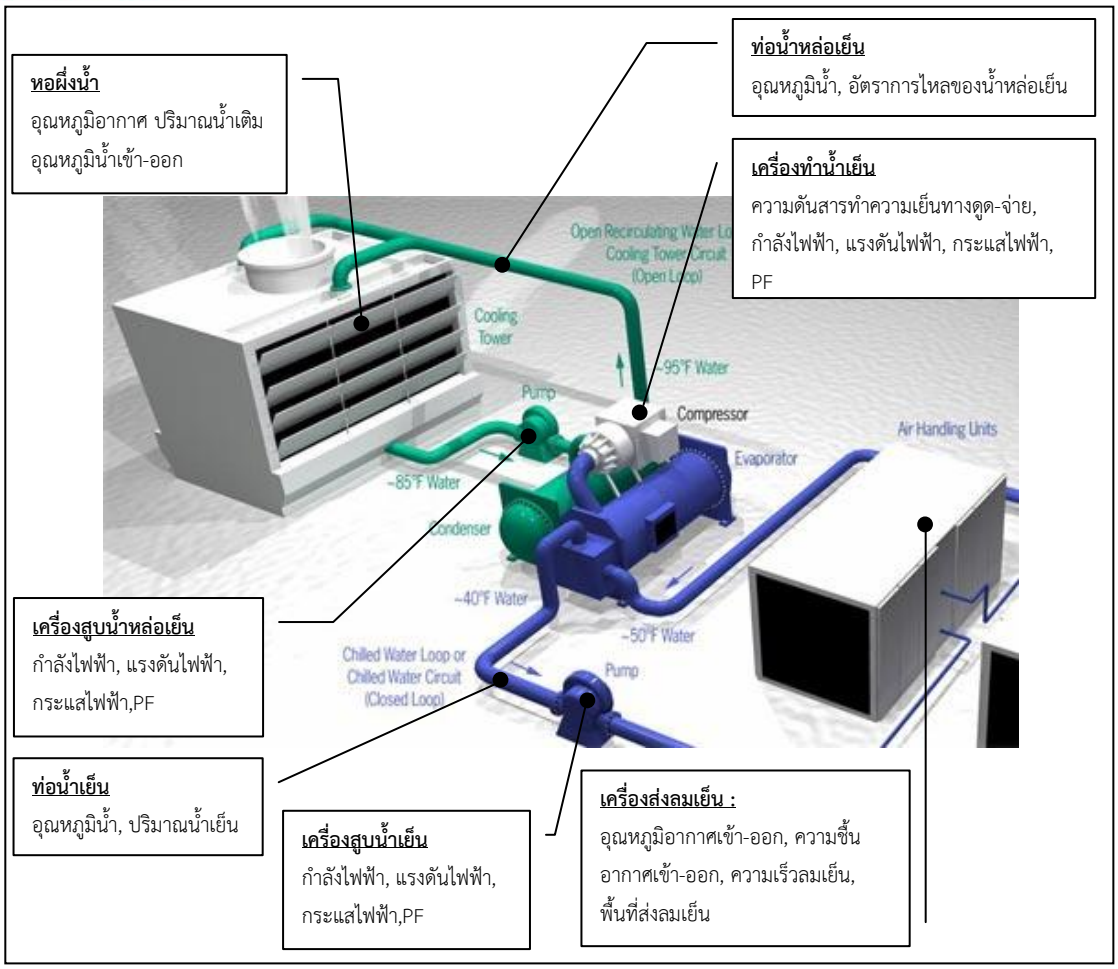
- **เครื่องส่งลมเย็น**

  ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัดสำหรับเครื่องส่งลมเย็น ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย (Supply Air) และลมกลับ (Return Air) รวมทั้งปริมาณลมจ่ายเพื่อคำนวณภาระการทำความเย็น ค่าทางไฟฟ้าของพัดลมของเครื่องส่งลมเย็น ความดันตกคร่อมแผงกรองอากาศเพื่อตรวจสอบสภาพการใช้งานด้านลมจ่าย และความดันตกคร่อมและอัตราการไหลในท่อน้ำเย็นเพื่อตรวจสอบสมดุลน้ำ นอกจากนี้ยังต้องรวบรวมข้อมูลประกอบอื่นๆ ที่จำเป็นเช่นเดียวกับระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียว เช่น ชนิดของเทอร์โมสตัท สภาพของแผงกรองอากาศและเวลาใช้งาน

  เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดความเร็วลม และเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ

ตารางที่ 4.4 การตรวจวัดเครื่องส่งลมเย็น

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
เครื่องส่งลมเย็น	• อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย • อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับ • ความเร็วลมและพื้นที่ช่องจ่ายลมเย็น • ค่าทางไฟฟ้าของพัดลม • ความดันตกคร่อมแผงกรองอากาศ • ความดันตกคร่อมท่อน้ำเย็น • อัตราการไหลของน้ำเย็น	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า • เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ • เครื่องวัดความเร็วลม • เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ • เกจวัดความดัน



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์

- **เครื่องทำน้ำเย็น**

เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ใช้สำหรับผลิตน้ำเย็น ทั้งเพื่อใช้ในระบบปรับอากาศและใช้ในกระบวนการผลิต

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจสำหรับเครื่องทำน้ำเย็น ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำเย็นและอุณหภูมิน้ำเย็นด้านเข้าและด้านออก เพื่อคำนวณภาระการทำความเย็น อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นด้านเข้าและด้านออก เพื่อคำนวณอัตราการระบายความร้อนทิ้งค่าทางไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์เพื่อใช้ประกอบกับภาระการทำความเย็นในการประเมินสมรรถนะการทำงานของระบบซึ่งไม่ควรใช้พลังงานเกิน 0.7 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็นสำหรับระบบที่ระบายความร้อนด้วยน้ำและ 1.2 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็นสำหรับระบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศตลอดจนการสำรวจเวลาใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็น

นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลประกอบอื่นๆ ที่ควรจรวจวัดด้วย เช่น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่ปั๊มน้ำเย็นและปั๊มหล่อเย็น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่พัดลมระบายความร้อนทั้งที่คอนเดนเซอร์กรณีระบายความร้อนด้วยอากาศและที่หอผึ่งน้ำกรณีระบายความร้อนด้วยน้ำ

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

ตารางที่ 4.5 การตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็น

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
เครื่องทำน้ำเย็น	• ค่าทางไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ • อัตราการไหลของน้ำเย็น • อุณหภูมิน้ำเย็นด้านเข้าและด้านออก • อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น • อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นด้านเข้าและด้านออก • ค่าทางไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นและเครื่องน้ำหล่อเย็น • ค่าทางไฟฟ้าของพัดลมระบายความร้อน	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า • เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส • เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ

4) ระบบแสงสว่าง

ค่าที่จำเป็นต้องสำรวจและตรวจวัดสำหรับระบบแสงสว่าง ได้แก่ ชนิดและจำนวนของหลอดไฟและโคมไฟในแต่ละพื้นที่ตลอดจนค่าทางไฟฟ้าเพื่อคำนวณดัชนีการใช้แสงสว่างซึ่งไม่ควรเกิน 16 วัตต์ต่อตารางเมตรสำหรับพื้นที่สำนักงานทั่วไปและ 23 วัตต์ต่อตารางเมตรสำหรับพื้นที่ทำงานที่ต้องการความสว่างมากขึ้น เช่น พื้นที่ตรวจสอบชิ้นงาน ค่าความส่องสว่าง (Lux) เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนและตำแหน่งของหลอดไฟและโคมไฟเมื่อเทียบกับลักษณะการใช้งานของแต่ละพื้นที่ ซึ่งจำเป็นต้องวัดค่าความสว่างในระดับความสูงเดียวกับพื้นที่ใช้งานจริง เช่น บนโต๊ะทำงาน หรือบนพื้นทางเดินภายในโรงงาน นอกจากนี้ยังต้องสำรวจเวลาใช้งานระบบแสงสว่างในแต่ละพื้นที่อีกด้วย

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและเครื่องวัดค่าความส่องสว่าง(Lux Meter)

ตารางที่ 4.6 การตรวจวัดระบบแสงสว่าง

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบแสงสว่าง	• ค่าทางไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง • ค่าความส่องสว่าง • ขนาดพื้นที่ของแต่ละส่วน	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า • เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Lux Meter)

รูปที่ 4.9 เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Lux Meter)

5) ระบบอากาศอัด

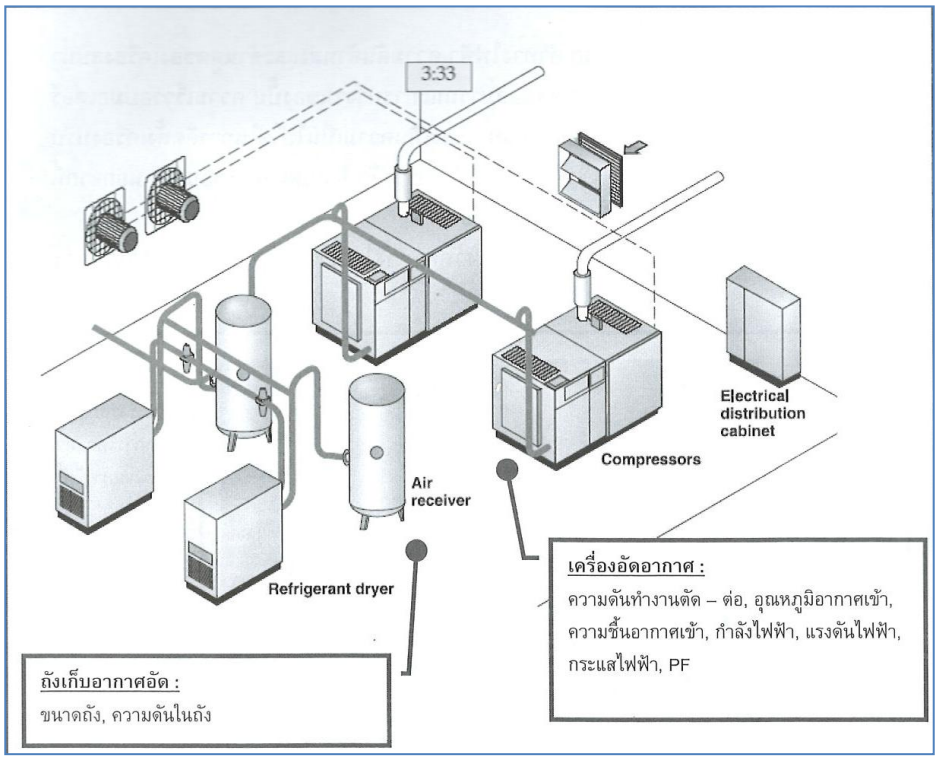
ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัดสำหรับระบบอัดอากาศ ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้า ความดันของอากาศอัด อัตราการไหลของอากาศเข้า รวมทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเข้า เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดอากาศทั้งที่เป็นอัตราการผลิตอากาศอัดที่ทำได้ (Free Air Delivery) และเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่ออากาศอัดที่ผลิตได้ซึ่งไม่ควรเกิน 0.111 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ต้องมีการสำรวจจุดรั่วไหลของระบบส่งจ่ายอากาศอัดภายในโรงงาน และสำรวจเวลาการใช้งานเครื่องอัดอากาศ

สำหรับโรงงานที่มีช่วงเวลาที่สามารถหยุดระบบอัดอากาศได้ จะทำให้การตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศและการตรวจวัดปริมาณอากาศรั่วไหลในระบบทำได้อย่างแม่นยำขึ้น โดยการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศสามารถทำได้โดยการจับเวลาที่ใช้ในการอัดอากาศเข้าถังเก็บอากาศจากถังเปล่าจนกระทั่งมีความดันเท่ากับค่าที่กำหนดร่วมกับการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ ส่วนการตรวจวัดปริมาณอากาศรั่วไหลในระบบสามารถทำได้โดยการจับเวลาที่เครื่องเดินและหยุดระหว่างความดันสองระดับที่ตั้งไว้ร่วมกับการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า

เครื่องมือที่ตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น และนาฬิกาจับเวลา

ตารางที่ 4.7 การตรวจวัดระบบอากาศอัด

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบอากาศอัด	• ค่าทางไฟฟ้าของเครื่องอากาศอัด • ความเร็วลมและพื้นที่ของช่องอากาศเข้า • อุณหภูมิและความชื้นของอากาศเข้า • ช่วงเวลาการตัดต่อของเครื่องอัดอากาศ	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า • เครื่องวัดความเร็วลม • เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ • นาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 4.10 ตำแหน่งการตรวจวัดระบบอัดอากาศ

6) ปั๊มน้ำ

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้า ความดันด้านส่งและด้านดูดของปั๊มน้ำเพื่อใช้ประเมินปริมาณพลังงานที่ใช้ ตรวจสอบสมรรถนะการทำงานของปั๊ม ความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อประเมินปริมาณพลังงานที่ใช้ ตรวจสอบสมรรถนะการทำงานของปั๊ม ความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ ตลอดจนการประเมินความเป็นไปได้ในการติดตั้งเครื่องปรับลดความเร็วรอบเพื่อประหยัดพลังงานซึ่งต้องใช้ค่าที่ต้องตรวจวัดทั้งหมดมาประกอบกัน นอกจากนี้ยังต้องสำรวจเวลาการทำงานของเครื่องสูบน้ำอีกด้วย

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดความเร็วรอบ และเกจวัดความดัน

รูปที่ 4.11ตำแหน่งการตรวจวัดระบบปั๊มน้ำ

ตารางที่ 4.8 การตรวจวัดปั๊มน้ำ

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ปั๊มน้ำ	• ค่าทางไฟฟ้าของปั๊ม • ความเร็วรอบมอเตอร์ • ความดันด้านส่งและด้านดูดของปั๊ม	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า • เครื่องวัดความเร็วรอบ • เกจวัดความดัน

7) **มอเตอร์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ**

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ และช่วงเวลาการทำงาน ตลอดจนความเร็วรอบในกรณีของมอเตอร์ที่ต้องการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ด้วย

เครื่องมือวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้าและเครื่องวัดความเร็วรอบ

รูปที่ 4.12 ตำแหน่งการตรวจวัดมอเตอร์

ตารางที่ 4.9 การตรวจวัดมอเตอร์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้า

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
มอเตอร์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้า	• ค่าทางไฟฟ้า • ความเร็วรอบกรณีเป็นมอเตอร์	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า • เครื่องวัดความเร็วรอบ

4.6.2 ระบบที่ใช้พลังงานความร้อน

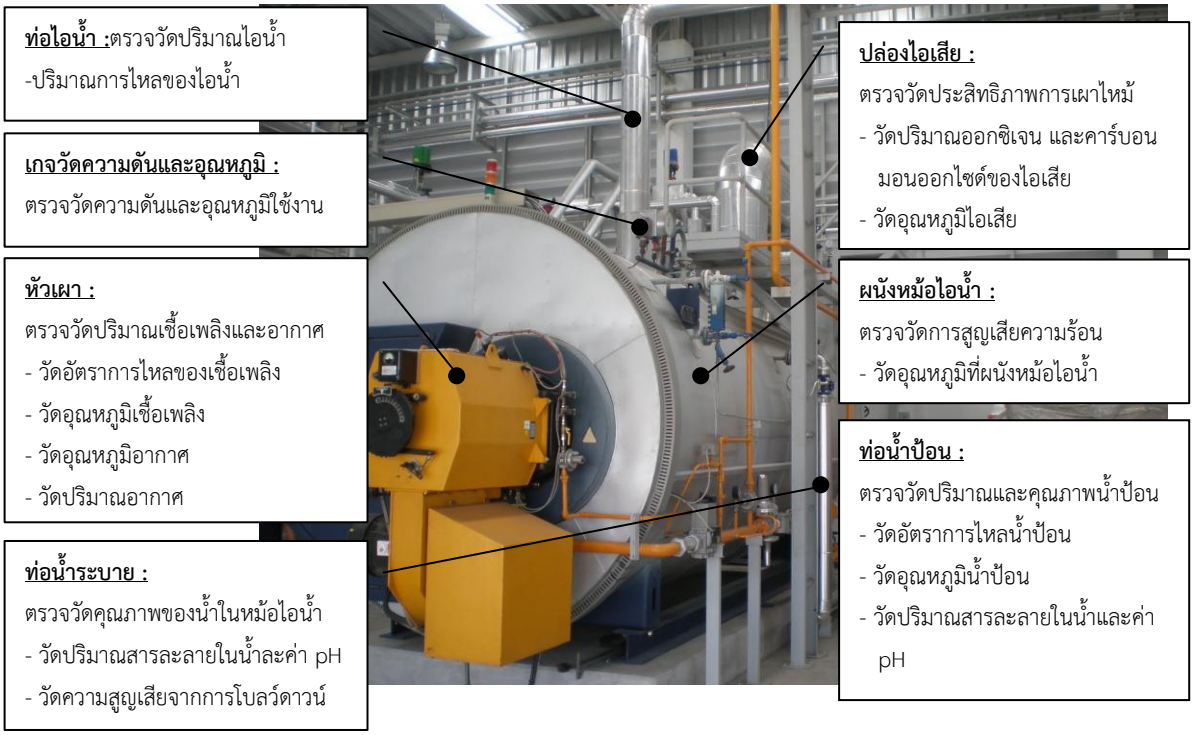
1) หม้อไอน้ำ

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนในก๊าซเสีย อุณหภูมิก๊าซเสียและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพื่อใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ อุณหภูมิผิวของหม้อไอน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม พื้นที่ผิว และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) เพื่อวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียทางผิวหนังหม้อไอน้ำ ตลอดจนอัตราการไหลและค่า TDS (Total Dissolved Solid) ของน้ำโบลว์ดาวน์และน้ำป้อนเพื่อใช้วิเคราะห์ความร้อนสูญเสียจากการโบลว์ดาวน์ นอกจากนี้ต้องสำรวจข้อมูลประกอบอื่นๆ เช่น อัตราการใช้และอุณหภูมิของเชื้อเพลิง อัตราการผลิตไอน้ำ อุณหภูมิและความดันของไอน้ำที่ผลิต อุณหภูมิของน้ำป้อน อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ สภาพฉนวน ระยะเวลาการใช้งาน ฯลฯ

เครื่องมือวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ เครื่องวิเคราะห์สภาพน้ำ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

ตารางที่ 4.10 การตรวจวัดหม้อไอน้ำ

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
หม้อไอน้ำ	• ปริมาณออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และอุณหภูมิของก๊าซเสีย • อุณหภูมิผิวผนังหม้อไอน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม และพื้นที่ผิว • อัตราการผลิต อุณหภูมิ และความดันของไอน้ำ • อัตราการใช้ และอุณหภูมิเชื้อเพลิง • อัตราการไหล และอุณหภูมิของน้ำป้อน • อัตราการไหล และอุณหภูมิของอากาศป้อน • อัตราการโบลว์ดาวน์ • ค่า TDS ของน้ำโบลว์ดาวน์และน้ำป้อน • อุณหภูมิแวดล้อม	• เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ • เครื่องวิเคราะห์สภาพน้ำ • เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ • เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

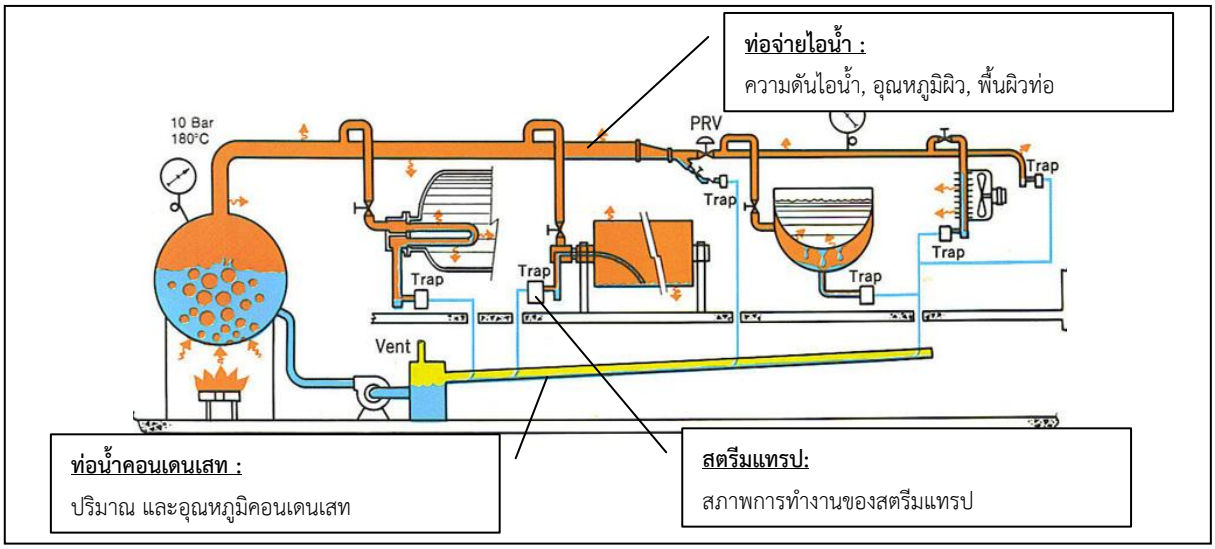


รูปที่ 4.12 ตำแหน่งการตรวจวัดหม้อน้ำ

2) ระบบส่งจ่ายไอน้ำ

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของท่อส่งจ่าย วาล์วและหน้าแปลน อุณหภูมิแวดล้อมและค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ของพื้นผิว ตลอดจนสภาพของฉนวน ซึ่งค่าทั้งหมดจะใช้ในการประเมินความร้อนสูญเสียของระบบส่งจ่ายไอน้ำ

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งการตรวจวัดระบบไอน้ำ

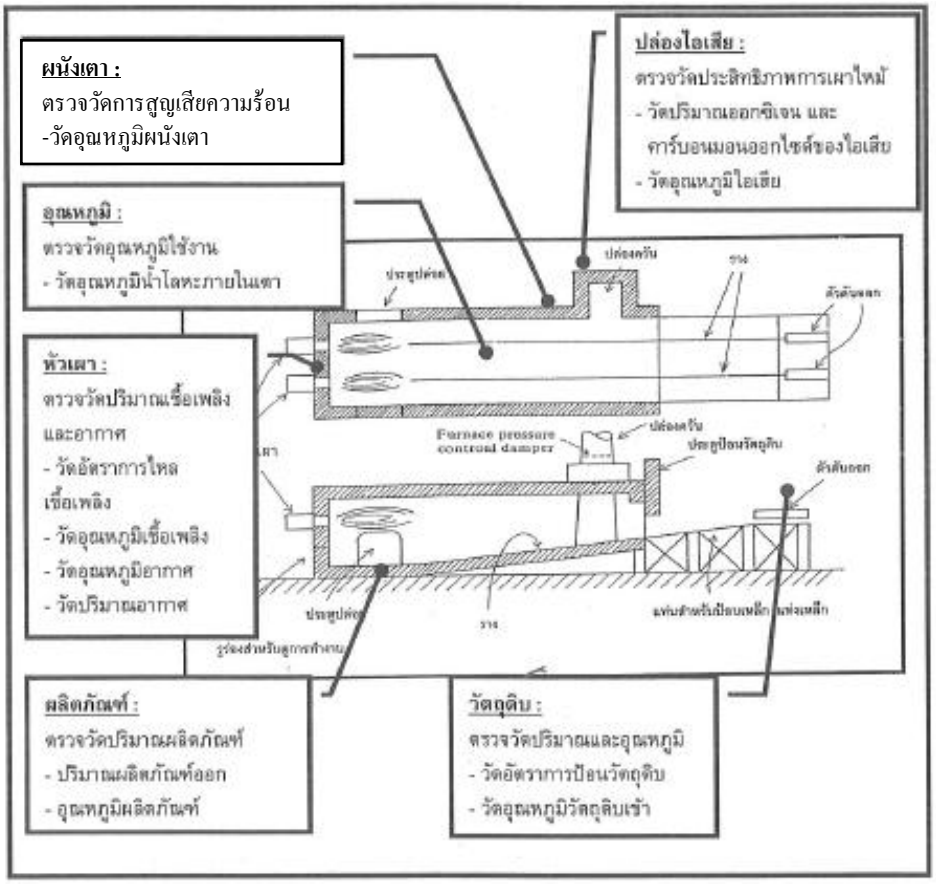
ตารางที่ 4.11 การตรวจวัดระบบส่งจ่ายระบบไอน้ำ

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบส่งจ่ายไอน้ำ	• อุณหภูมิผิวและพื้นที่ของท่อวาล์ว และหน้าแปลน • อุณหภูมิแวดล้อม • ตรวจสอบการทำงานของสตรีมแทรป • การรั่วของไอน้ำ • ปริมาณคอนเดนเสท • ความดันไอน้ำ	• เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ • เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส • เครื่องวัดการทำงานของสตรีมแทรป

3) เตาอุตสาหกรรม

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนในก๊าซเสีย อุณหภูมิก๊าซเสีย และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพื่อใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเตาและความร้อนสูญจากการเผาไหม้อุณหภูมิผิวของเตา อุณหภูมิแวดล้อม พื้นที่ผิว และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) เพื่อวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียทางผิวผนังเตา ตลอดจนอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นเพื่อใช้วิเคราะห์ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำหล่อเย็น อัตราการป้อนวัตถุดิบ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิของวัตถุดิบ ค่าความร้อนที่เกิดจากการ Oxidizing และ Scale เพื่อใช้วิเคราะห์ความร้อนที่เกิดจากวัตถุดิบนอกจากนี้ต้องสำรวจข้อมูลประกอบอื่นๆเช่น อัตราการใช้และอุณหภูมิขิงเชื้อเพลิง อัตราการผลิต อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ สภาพฉนวน ระยะเวลาการใช้งาน ฯลฯ

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ เครื่องวิเคราะห์สภาพน้ำ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบ Pyrometer



รูปที่ 4.15 ตำแหน่งการตรวจวัดเตาอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4.12 การตรวจวัดเตาอุตสาหกรรม

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
เตาอุตสาหกรรม	• ปริมาณออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และอุณหภูมิของก๊าซเสีย • อุณหภูมิผิวผนังเตา อุณหภูมิแวดล้อมและพื้นที่ผิว • อัตราการป้อนวัตถุดิบและอุณหภูมิของวัตถุดิบ • อัตราการผลิต และอุณหภูมิของวัตถุดิบ • อัตราการใช้และอุณหภูมิเชื้อเพลิง • อัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น • อัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศป้อน	• เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ • เครื่องวัดอัตราการไหล • เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ • เครื่องวัดอุณหภูมิแบบ Pyrometer

4.7 การวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงาน

หลังจากที่ได้ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่าง ๆ ของโรงงานตามแนวทางทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำข้อมูลทั้งหมดทั้งที่ได้จากการตรวจวัด และข้อมูลที่รวบรวมได้ในช่วงการเตรียมความพร้อมเพื่อตรวจวัดมาวิเคราะห์เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ของพลังงานและการผลิตมากขึ้น ให้ทราบถึงปริมาณพลังงานที่ในแต่ละกระบวนการผลิต ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต ซึ่งการวิเคราะห์ทั้งหมดจะนำไปสู่แนวทางและมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน

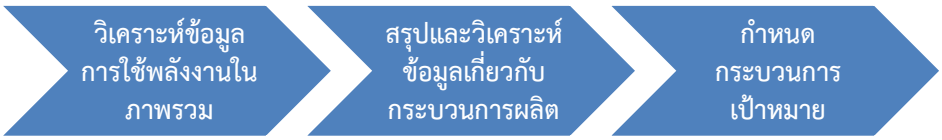
ขั้นตอนในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตแบ่งเป็นขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 เข้าใจในภาพรวมการใช้พลังงานและกระบวนการผลิตของทั้งโรงงาน
ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อกำหนดมาตรการ
ขั้นที่ 3 การวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน

4.7.1 การทำความเข้าใจในภาพรวมการใช้พลังงานและกระบวนการผลิตของทั้งโรงงาน

การทำความเข้าใจในภาพรวมการใช้พลังงานและกระบวนการผลิตของทั้งโรงงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะได้ทราบว่าผลิตภัณฑ์ออกมาได้อย่างไร ชนิดของพลังงานที่ต้องการใช้ทรัพยากรการผลิตที่เป็นปัจจัยสำคัญ ขั้นตอนไหนของกระบวนการผลิตที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน หรือขั้นตอนไหนที่กำลังจะเกิดปัญหาอุปสรรคต่อกำลังการผลิตของโรงงาน เพื่อเป็นการตีกรอบและชี้ให้เห็นได้ว่าจุดหรือประเด็นที่น่าสนใจควรสืบค้นต่อไปคือจุดใด ทำให้สามารถกำหนดเป้าหมายที่จะวิเคราะห์ให้ละเอียดเป็นพิเศษได้ วิธีการทำความเข้าใจในภาพรวมการใช้พลังงานและกระบวนการผลิตนั้นพอจะแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ***วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในภาพรวม***
2. ***สรุปและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิต***
3. ***กำหนดกระบวนการเป้าหมาย***



รูปที่ 4.16 แผนผังวิธีศึกษาทำความเข้าใจการใช้พลังงานและกระบวนการผลิต

1) วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในภาพรวม

ข้อมูลแรกที่ต้องทำการพิจารณาคือ ค่าใช้จ่ายของพลังงาน และสาธารณูปโภคทุกอย่างที่นำเข้าสู่โรงงาน เช่น ไฟฟ้า เชื้อเพลิง น้ำ ฯลฯ เพื่อชี้ให้ได้ว่าพลังงานประเภทใดหรือทรัพยากรใดเป็นค่าใช้จ่ายหลักของโรงงาน เมื่อเราดำเนินตรวจวัดเก็บข้อมูลไปในแต่ละกระบวนการผลิตย่อยจะสามารถเน้นไปที่ส่วนที่เกี่ยวข้องกับพลังงานหรือทรัพยากรหลักดังกล่าว เช่น โรงงานแห่งหนึ่งเมื่อสรุปข้อมูลค่าใช้จ่าย ได้ดังตาราง 4.13 จะเห็นได้ว่า ค่าเชื้อเพลิงน้ำมันเตามีสัดส่วนที่สูงสุดและค่าพลังงานไฟฟ้ารองลงมา ดังนั้นควรเน้นข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง เป็นต้น

ตารางที่ 4.13 สรุปข้อมูลค่าใช้จ่ายของโรงงาน

ลำดับที่	ค่าใช้จ่ายพลังงาน/สาธารณูปโภค	มูลค่า (ล้านบาท/ปี)	อันดับที่
1	ค่าไฟฟ้า	1.6	2
2	ค่าน้ำมันเตา	3.6	1
3	ค่า LPG	0.4	3
4	ค่าน้ำ	0.3	4

นอกจากการสรุปข้อมูลค่าใช้จ่ายแยกประเภทของพลังงานแล้ว การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในภาพรวมนั้นจำเป็นต้องวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานในช่วงเดือนต่างๆ โดยการจัดทำแผนภูมิการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายพลังงานรายเดือน รวมถึงการวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานรวมของการผลิตเป็นรายเดือน

- **แผนภูมิการใช้พลังงานรวมรายเดือน**

  แผนภูมินี้จะทำให้เห็นภาพการใช้พลังงานรวมทุกชนิดที่โรงงานใช้ในแต่ละเดือนว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และมีความผิดปกติจากเดือนเดียวกันของปีก่อนๆ หรือไม่ ถ้าสูงขึ้นกว่าปีก่อนๆ ควรหาสาเหตุว่าเกิดจากอะไร ถ้าเกิดจากปริมาณการผลิตที่มากขึ้นกว่าเดือนเดียวกันในปีก่อนก็ไม่เป็นปัญหานัก แต่ถ้าผลผลิตเท่ากันหรือน้อยกว่าปีก่อนจะต้องไปตรวจสอบการใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ว่าผิดปกติเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งจะต้องไปหาสาเหตุในรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานนั้นๆ

- **แผนภูมิค่าใช้จ่ายพลังงานรวมรายเดือน**

  ค่าใช้จ่ายพลังงานความร้อนรายเดือนอาจมีการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานที่ใช้ถ้าราคาพลังงานชนิดใดชนิดหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นถ้าเส้นกราฟของเดือนใดผิดปกติจากการใช้พลังงานของเดือนนั้นให้ไปตรวจสอบราคาพลังงานแต่ละชนิดว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่

- **แผนภูมิดัชนีการใช้พลังงานรวมรายเดือน**

แผนภูมินี้จะทำให้ภาพต้นทุนพลังงานต่อผลผลิตที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และมีความผิดปกติจากเดือนเดียวกันของปีก่อนๆ หรือไม่ นอกจากนั้นโดยทั่วไปจะใช้เป็นเป้าหมายว่าในแต่ละเดือนลดลงจากค่าเฉลี่ยของปีก่อนๆ เท่าใด ถ้าไม่ได้ตามเป้าหมายจะต้องหาสาเหตุและแก้ไขปัญหาต่อไป ซึ่งดัชนีการใช้พลังงานอาจใช้ปริมาณพลังงานที่ใช้หารด้วยปริมาณ หรือน้ำหนักผลผลิตหรือวัตถุดิบ หรืออาจใช้มูลค่าการผลผลิต

- **แผนภูมิดัชนีค่าใช้จ่ายพลังงานรวมรายเดือน**

แผนภูมินี้จะสัมพันธ์กับแผนภูมิดัชนีการใช้พลังงานรมรายเดือน นอกเสียจากราคาพลังงานมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นแผนภูมินี้จะนำไปใช้เพื่อหาค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนพลังงานของแต่ละเดือนในภาพรวมได้ เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งในการปรับราคาผลผลิตที่จำหน่าย

- **แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานรวมกับปริมาณการผลิต**

แผนภูมินี้จะทำให้เห็นภาพความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานรวมที่ใช้กับปริมาณการผลิตหรือวัตถุดิบหรือราคาผลิตภัณฑ์ โดยถามีความสัมพันธ์เป็นอย่างดี ค่า R^2ควรจะมากกว่า 0.8 และแนวโน้มการใช้พลังงานจะต้องสูงขึ้นตามปริมาณการผลิตที่มากขึ้น เนื่องจากมีการผลิตมากก็จะต้องใช้พลังงานมาก ในกรณีที่สมการที่ได้มีค่า R^2 มากกว่า 0.8 แสดงว่าวิธีการวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานที่ได้ถูกต้องและมีการควบคุมการใช้พลังงานได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นสมการที่ได้สามารถนำไปทำนายการใช้พลังงานรวมที่ปริมาณการผลิตต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ แต่ถ้าค่า R^2 ต่ำ จะต้องไปตรวจสอบว่าผลผลิตที่นำมาใช้วิเคราะห์ถูกต้องหรือไม่ หรือมีการใช้พลังงานหรือการผลิตที่ไม่สม่ำเสมอหรือไม่ นอกจากนั้นเมื่อลากเส้นแนวโน้มลงมาตัดกับแกนตั้งของแผนภูมิ จะได้ค่าปริมาณการใช้พลังงานคงที่ (Fixed Standing Consumption) หมายความว่าไม่มีการผลิตเลยก็จะมีการใช้พลังงานปริมาณเท่านั้น นอกจากนั้นถ้าเป็นกราฟที่มีความชันมากจะบอกให้ทราบว่าเมื่อมีการผลิตมากขึ้นเพียงเล็กน้อย

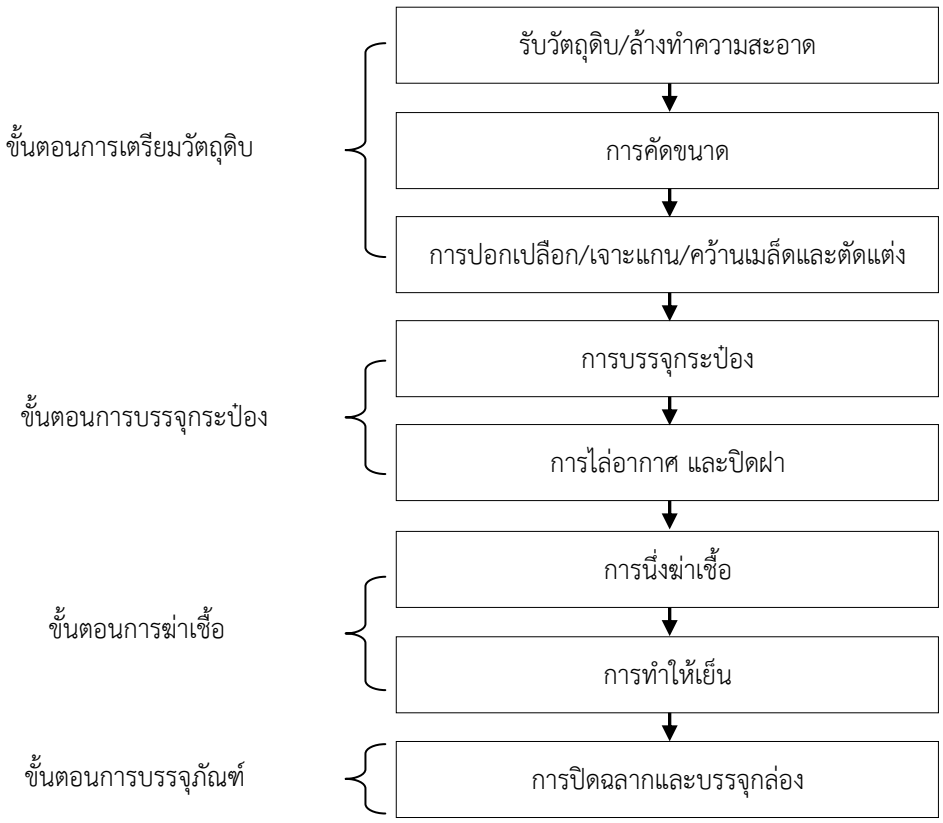
- **แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการใช้พลังงานรวมกับปริมาณการผลิต**

แผนภูมินี้จะทำให้เห็นภาพความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการใช้พลังงานรวมกับปริมาณการผลิตหรือวัตถุดิบ หรือราคาผลิตภัณฑ์ โดยถ้ามีความสัมพันธ์อย่างดี R^2 ควรจะมากกว่า 0.8 และแนวโน้มดัชนีการใช้พลังงานจะต้องลดลงตามปริมาณการผลิตที่สูงขึ้น เนื่องจากสัดส่วนระหว่างพลังงานคงที่ (Fixed Consumption) กับพลังงานแปรเปลี่ยน (Variable of Marginal Consumption) ลดต่ำลงตามปริมาณการผลิตที่สูงขึ้น นอกจากนั้นสมการที่ได้สามารถนำไปทำนายดัชนีการใช้พลังงานรวมที่ปริมาณการผลิตต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ ถ้า R^2 มากกว่า 0.8 แต่ถ้า R^2 มีค่าต่ำจะต้องไป

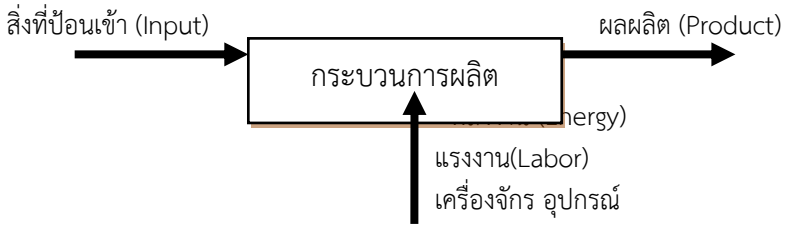
ตรวจสอบว่าปริมาณผลผลิตและพลังงานที่นำมาวิเคราะห์ถูกต้องหรือไม่ นอกจากนั้น ถ้าเส้นกราฟมีความชันมากจะบอกให้ทราบว่าเมื่อมีการเพิ่มผลผลิตเพียงเล็กน้อยจะส่งผลให้ดัชนีการใช้พลังงานลดลงได้มาก

2) การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตและการใช้พลังงานเบื้องต้นของแต่ละกระบวนการ

ระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมก็คือ กระบวนการผลิตที่ดำเนินการเพื่อแปรรูปสิ่งที่ป้อนเข้า (Input) ในรูปของทรัพยากรในการผลิตหลากหลายรูปแบบผ่านกรรมวิธีต่างๆ เพื่อให้ได้ผลผลิต หรือการบริการตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ระบบการผลิตของโรงงานจะประกอบด้วย กระบวนการย่อยๆ หลายกระบวนการเชื่อมต่อกัน ดังที่ยกตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 กระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง

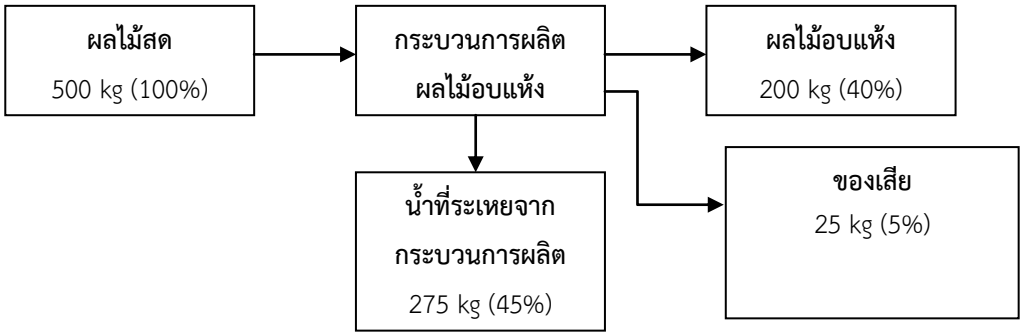


รูปที่ 4.18 กระบวนการผลิต

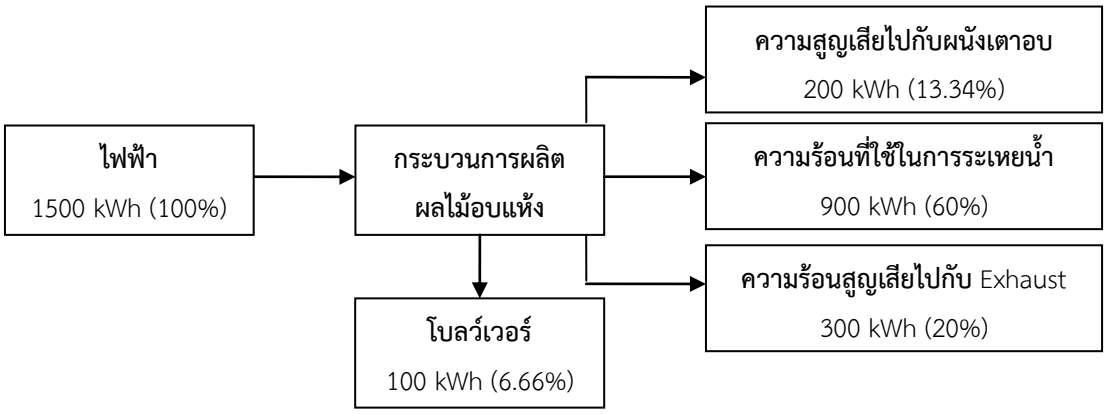
การพิจารณากระบวนการผลิตต้องพิจารณาทำความเข้าใจวิเคราะห์ปริมาณต่างๆ ทั้งหมดที่เข้า และออกกระบวนการ เปรียบเทียบปริมาณที่เข้าและออก พิจารณาการเข้าและออกว่าอยู่ในส่วนไหนบ้าง ขั้นตอนนี้เรียกว่าการทำสมดุล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. *การทำสมดุลวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์*
2. *การทำสมดุลพลังงาน*

การทำสมดุลวัตถุดิบและสมดุลพลังงานจะต้องพิจารณากระบวนการผลิตทั้งหมดก่อนเพื่อให้ได้ภาพรวมของกระบวนการแล้วจึงเข้าไปพิจารณากระบวนการผลิตย่อยทีละกระบวนการแล้วนำกระบวนการย่อยมาเรียงต่อกันเป็นกระบวนการผลิตทั้งหมด



รูปที่ 4.19 ตัวอย่างแผนภูมิแสดงสมดุลวัตถุดิบของกระบวนการอบแห้งผลไม้



รูปที่ 4.19 ตัวอย่างแผนภูมิแสดงสมดุลพลังงานของกระบวนการอบแห้งผลไม้

3) กำหนดกระบวนการผลิตเป้าหมาย

เนื่องจากในโรงงานจะมีอุปกรณ์ใช้พลังงานอยู่เป็นจำนวนมาก การตรวจสอบทุกอุปกรณ์หรือทุกกระบวนการจะใช้เวลามาก เสียค่าใช้จ่ายมากและมักพบศักยภาพเพียงบางจุดเท่านั้น ดังนั้นผู้ตรวจวิเคราะห์ควรเพ่งเล็งที่จะปรับปรุงส่วนที่สำคัญมากที่สุดก่อน แล้วค่อยขยายออกไปส่วนที่รองๆ ลงไป ทั้งนี้เราจะรู้ได้อย่างไรว่ากระบวนการผลิตใดที่ควรตั้งเป้าหมายที่จะพิจารณาก่อน จึงมีการแนะนำแนวทางหรือประเด็นที่พอจะบ่งชี้ได้ดังนี้

1. พิจารณาจากข้อมูลค่าใช้จ่ายพลังงานของโรงงานที่ทำการพิจารณาในข้อที่ 1และข้อมูลจากข้อ2 ที่ได้จัดทำ Energy Flow Diagram ซึ่งพอจะบอกเราได้ว่ากระบวนการใดที่มีการใช้พลังงานมากและเป็นประเภทใด ทั้งนี้เพื่อให้การกำหนดเป้าหมายที่ได้ถูกต้องมากที่สุด จึงควรพิจารณาที่สัดส่วน การใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายพลังงาน
2. พิจารณาจากกระบวนการที่มีการสูญเสียมากๆ ทั้งการสูญเสียในส่วนของวัตถุดิบและการสูญเสียในรูปพลังงาน
3. พิจารณาจากปัญหาเกิดขึ้นในการผลิตที่ส่งผลต่อปริมาณและประสิทธิภาพการผลิต ซึ่งข้อมูลอาจได้มาจากการเดินสำรวจในโรงงาน หรือจากากรสอบถามจากฝ่ายผลิต รวมไปถึงการสอบถามจากพนักงานที่ควบคุมเครื่องจักรนั้นๆ

ดังนั้นการกำหนดเป้าหมายที่จะวิเคราะห์กระบวนการผลิตและการใช้พลังงานอย่างละเอียดนั้นต้องทำการวิเคราะห์หาสัดส่วนการใช้พลังงาน และสัดส่วนค่าใช้จ่ายพลังงานก่อนเพื่อใช้พิจารณาเปรียบเทียบกำหนดกระบวนการเป้าหมายการวิเคราะห์หาสัดส่วนการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายพลังงานอาจใช้เทคนิคการทำแผนภูมิของพาเรโต มาช่วยในการจัดทำสัดส่วนและเรียงลำดับการใช้พลังงาน มีวิธีและลำดับขั้นตอนดังนี้

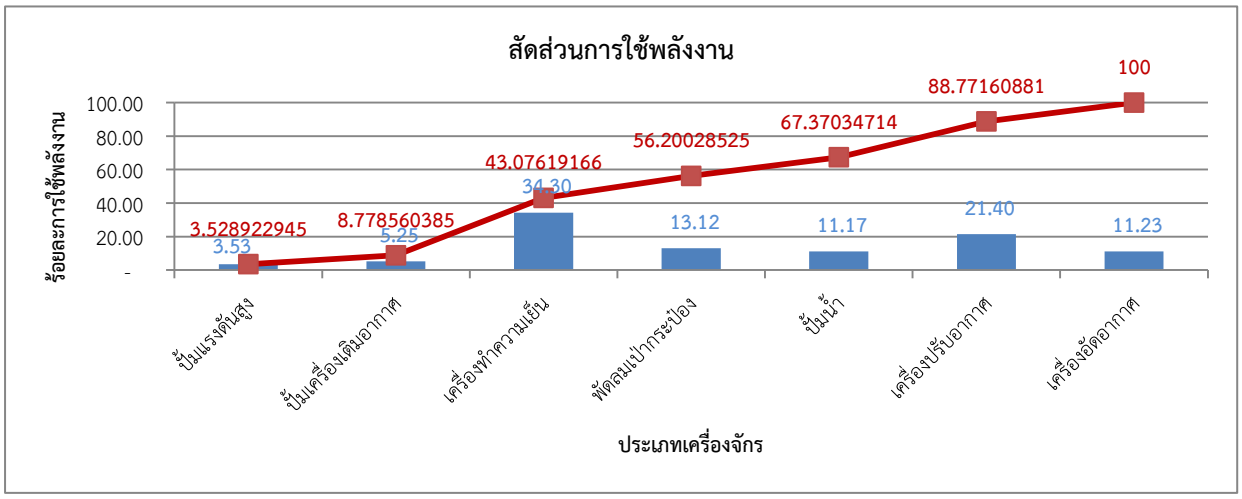
1) ทำการวิเคราะห์หาค่าพลังงานที่ใช้ของแต่ละอุปกรณ์ โดยแบ่งตามประเภทพลังงาน เช่น พลังงานไฟฟ้า นำค่ากำลังไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์คูณด้วยจำนวนอุปกรณ์ประเภทเดียวกัน แล้วคูณด้วยระยะเวลาเป็นชั่วโมงทำงานในหนึ่งปี
2) ทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพลังงานโดยการคูณราคาพลังงานต่อหน่วยกับค่าพลังงานที่ใช้ทำการจัดกลุ่มประเภทเครื่องจักร
3) เรียงลำดับจากน้อยไปมาก
4) คำนวณหาร้อยละของการใช้พลังงานและร้อยละสะสม
5) เขียนกราฟแท่งระหว่างประเภทกลุ่มเครื่องจักรกับค่าพลังงานที่ใช้และค่าใช้จ่ายพลังงาน

ตารางที่ 4.14 ตารางข้อมูลเครื่องจักรและการใช้พลังงานของโรงงานอาหารแปรรูป

ลำดับ	ประเภทเครื่องจักร	ค่ากำลังไฟฟ้า (kW)	จำนวน (เครื่อง)
1	ปั๊มแรงดันสูงเครื่อง RO	22.0	1
2	ปั๊มเครื่องเติมอากาศบ่อน้ำเสีย	7.5	2
3	ปั๊ม Centrifugal	10.5	14
4	พัดลมเป่าทำแห้งกระป๋อง	7.5	5
5	เครื่องทำความเย็นชิดลูกสูบระบายด้วยอากาศ	22.0	2
6	เครื่องทำความเย็นชิดลูกสูบระบายด้วยอากาศ	7.5	1
7	เครื่องทำความเย็นชิดลูกสูบระบายด้วยอากาศ	22.0	1
8	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	12	18
9	เครื่องอัดอากาศแบบสกรู	55	1

ตารางที่ 4.15 ตารางการวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงาน

ลำดับ	ประเภทเครื่องจักร	ค่ากำลังไฟฟ้า (kW)	จำนวน (เครื่อง)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
1	ปั๊มแรงดันสูงเครื่อง RO	22.0	1	88,300.00	3.53	3.53
2	ปั๊มเครื่องเติมอากาศ	7.5	2	131,400.00	5.25	8.78
3	เครื่องทำความเย็น	10.5	14	858,480.00	34.30	43.08
4	พัดลมเป่าทำแห้งกระป๋อง	7.5	5	328,500.00	13.12	56.20
5	ปั๊ม Centrifugal	7.5 , 22	4	279,590.00	11.17	67.37
6	เครื่องปรับอากาศ	12	18	535,680.00	21.40	88.77
7	เครื่องอัดอากาศ	55	1	281,050.00	11.23	100.00



รูปที่ 4.20 ตัวอย่างแผนภูมิของพาเรโต

การกำหนดกระบวนการเป้าหมาย ผู้วิเคราะห์ควรสรุปข้อมูลเปรียบเทียบในรูปของตาราง ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ตารางสรุปข้อมูลเปรียบเทียบเพื่อกำหนดกระบวนการเป้าหมาย

ลำดับ	กระบวนการผลิตตามการใช้พลังงาน	กระบวนการผลิตที่มีพลังงานเหลือทิ้ง
1	ห้องแช่แข็ง (เครื่องทำความเย็น)	กระบวนการล้าง
2	ระบบปรับอากาศ	
3	ปั๊มน้ำ	
4		
5		
6		

ประเด็นปัญหาในกระบวนการผลิต
1. มีน้ำเสียทิ้งจากโรงงานในปริมาณมาก
2. มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นจากปีที่ผ่านมา 10%

เมื่อสรุปตารางเปรียบก็สามารถพิจารณากำหนดกระบวนการเป้าหมายได้ เช่น กำหนดกระบวนการห้องแช่แข็งเป็นเป้าหมายแรก เพราะมีการใช้พลังงานสูงสุดและน่าทำให้เกิดปัญหาการมาขึ้นของปริมาณไฟฟ้าของโรงงาน เป็นต้น

เมื่อเลือกกำหนดกระบวนการเป้าหมายได้แล้ว ควรทำความเข้าใจกระบวนการผลิตเป้าหมายโดยละเอียดให้เข้าใจกระบวนการอย่างลึกซึ้งเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์มาตรการการอนุรักษ์พลังงาน สิ่งหนึ่งที่เป็นอุปสรรคสำหรับวิศวกรผู้ดำเนินการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานที่มีประสบการณ์น้อยก็คือ ความรู้สึกสับสน หวั่นเกรงไม่แน่ใจในความรู้สึกสามารถของตนเอง (Cold feet when look into the process) เมื่อพบเห็นเครื่องจักรที่ใช้งานในกระบวนการผลิตที่มีรูปลักษณะภายนอกที่อาจดูแล้วซับซ้อนยุ่งยาก ทำให้เกิดความไม่มั่นใจ

ว่าจะสามารถวิเคราะห์หรือแก้ปัญหา หาคำตอบวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรนั้นๆ ได้หรือไม่ ซึ่งหากเราพิจารณากระบวนการผลิตในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้กับกระบวนการผลิตเราก็จะสามารถที่จะทำความเข้าใจได้ ไม่ว่ารูปแบบของเครื่องจักรที่ใช้งานในแต่ละขั้นตอนการผลิตจะมีรูปร่างที่แตกต่างกันอย่างไร หากเราพยายามพิจารณาการใช้พลังงานในลักษณะการรับ-ถ่ายเทพลังงาน เพื่อที่จะวิเคราะห์การกระบวนการผลิตย่อยและเครื่องจักรในกระบวนการนั้นๆ จะส่งผลให้เราสามารถเข้าใจกระบวนการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ เหล่านั้นได้มากขึ้นดังนั้นหากเราพยายามพิจารณากระบวนการผลิต หรือเครื่องจักรอุปกรณ์ในรูปของความสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ และรูปแบบของการใช้หรือการเปลี่ยนรูปของพลังงาน โดยพยายามที่จะวิเคราะห์ในรูปแบบของการวิเคราะห์กระบวนการผลิตย่อยแล้ว ขั้นตอนการผลิตหรือกระบวนการผลิตต่างๆ ภายใต้เครื่องจักรที่มีรูปร่างหน้าตาที่ต่างๆ กันนั้น เราสามารถที่จะทำความเข้าใจถึงกระบวนการทำงานของมันได้ จะช่วยให้เราเริ่มเข้าใจและมองเห็นแนวทางในการปรับปรุงได้ และสามารถที่จะวิเคราะห์หาศักยภาพในการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้

4.7.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานซึ่งเป็นขั้นตอนต่อจากที่สามารถทำความเข้าใจกระบวนการผลิตและวิเคราะห์กระบวนการผลิตได้แล้วนั้น คือ การสามารถที่จะบ่งชี้จุดบกพร่องหรือที่ไม่มีประสิทธิภาพของการใช้พลังงานได้ หลักการพื้นฐานในการวิเคราะห์ คือ การทำสมดุลพลังงานของแต่กระบวนการย่อยเพื่อให้ทราบว่าพลังงานที่เข้าได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์มากน้อยเพียงใด และมีการสูญเสียไปทางไหนบ้างมากน้อยเพียงใด เพื่อที่จะนำไปหาทางเพิ่มประสิทธิภาพโดยการลดพลังงานที่สูญเสีย ดังนั้นการวัดผลโดยทั่วไปอาจจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลงหรือปริมาณพลังงานที่สูญเสียลดลงก็ได้

พลังงานเข้า = พลังงานที่ใช้ประโยชน์ + พลังงานที่สูญเสีย

ประสิทธิภาพ = (พลังงานที่ใช้ประโยชน์/พลังงานเข้า) x 100

จากสมการหลักเบื้องต้นจะเห็นว่า ผู้ประเมินศักยภาพจะต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากากรตรวจวัดเพื่อหาค่าพลังงานเข้า และหาพลังงานที่ใช้ประโยชน์ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า พลังงานจากเชื้อเพลิง พลังงานความร้อนหรือพลังงานกล อีกทั้งต้องหาพลังงานที่สูญเสียที่มากที่สุดเพื่อที่จะหามาตรการดำเนินการให้ลดลงเหลือน้อยที่สุด นอกจากการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยตรงแล้วยังสามารถที่จะพิจารณาหรือวิเคราะห์ในทางตรงกันข้ามคือ หาส่วนที่ไม่มีประสิทธิภาพเพื่อที่จะบ่งชี้ว่ากระบวนการนั้นๆ ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ซึ่งในภาพรวมการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการและการบ่งชี้ส่วนที่ไม่มีประสิทธิภาพสามารถที่จะพิจารณาได้ 6 วิธีดังนี้

1) **การเปรียบเทียบสภาวะปัจจุบันกับค่าอ้างอิง**

อันดับแรก ผู้ตรวจวิเคราะห์ต้องพยายามหาว่ามีเกณฑ์การอ้างอิงใดหรือไม่ของการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตเป้าหมาย เช่น ค่า Benchmark, ค่ามาตรฐานหรือ Specification ของผู้ผลิตหรือระดับเกณฑ์อ้างอิงเดิมที่เครื่องเคยทำได้ หรือค่าการใช้งานที่ดี

ในอดีตก็อาจเป็นค่าอ้างอิงได้ จุดเหล่านี้จะนำไปสู่การสืบค้นต่อไปว่าจุดใดที่ไม่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

2) การพิจารณาปริมาณพลังงานที่เหมาะสม ณ ที่จุดใช้งาน

พิจารณาว่ากระบวนการต้องการพลังงานและทรัพยากรเท่าใดลดลงได้หรือไม่ จุดแรกที่ควรเน้นพิจารณาก็คือ พลังงานทำหน้าที่อะไรหรือถูกใช้ประโยชน์อย่างไรในกระบวนการผลิต และ ณ จุดนั้นที่แท้จริงแล้ว กระบวนการต้องการพลังงานเท่าใดต้องการทรัพยากรอื่นๆ เท่าใดที่ใช้อยู่เกินความจำเป็นหรือไม่ ถ้ามีการใช้พลังงานหรือทรัพยากรเกินความจำเป็นแสดงว่าเกิดการใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพขึ้นในกระบวนการผลิตนั้นๆ ตัวอย่างที่พบเห็นได้บ่อย เช่น การเติมอากาศให้กับบ่อบำบัดน้ำเสียมากเกินไป เครื่องจักรในกระบวนการผลิตที่มีการผลิตต่ำกว่ากำลังการผลิตพิกัดและไม่ได้มีการปรับแต่งองค์ประกอบอื่นๆ ให้ลดลงตามไปด้วย เป็นต้น กระบวนการผลิตหรือการปฏิบัติการทางอุตสาหกรรมนั้น ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตหรือสิ่งของที่ป้อนเข้า (Input) นอกจากพลังงาน (Energy) แล้ว ยังหมายถึงวัตถุดิบ (Material) อื่นๆ เช่น น้ำ สารเคมี และแรงงาน (Labor) ซึ่งต้นทุนการผลิตด้านพลังงานเมื่อเทียบกับต้นทุนด้านอื่นๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมอาจเป็นสัดส่วนไม่สูงมาก ด้วยสาเหตุนี้ในบางครั้งเป้าหมายด้านการประหยัดพลังงานหรือแผนการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานจึงเป็นสิ่งที่เจ้าของโรงงานให้ความสนใจไม่มากหรือหากต้องเลือกจัดลำดับความสำคัญของแผนงานที่จะดำเนินการปรับปรุง แผนการด้านพลังงานอาจเป็นสิ่งที่จะดำเนินการในภายหลังจากการปรับปรุงเทคโนโลยี หรือลงทุนกับอุปกรณ์เครื่องจักรใหม่ในการขยายสายการผลิตได้ ดังนั้นหากต้องการจูงใจเจ้าของโรงงานให้สนับสนุนหรือเห็นชอบในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดการใช้พลังงาน ควรพยายามมุ่งประเด็นไปที่การลดปัจจัยการผลิตที่มีความสำคัญเป็นปัจจัยที่เป็นต้นทุนหลักในการผลิตของโรงงาน หรือเป็นทรัพยากรที่อาจก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบอื่นๆ ต่อโรงงาน อาทิเช่น ปัญหาด้านของเสียที่ต้องจำกัด หรือปัญหาด้านเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในบางครั้งแนวทางในการปรับปรุงเป้าหมายในตอนแรกอาจจะไม่ได้เริ่มจากพลังงานเป็นหลัก จุดประสงค์ในการปรับปรุงอาจจะมุ่งลดทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตอื่นๆ หรือลดปริมาณของเสียที่ต้องจำกัด แต่อาจแฝงไปด้วยเป้าหมายทางอ้อมเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานก็ได้ นั่นคือสุดท้ายแล้วหากสามารถลดปริมาณปัจจัยการผลิตที่ใช้ต่อหน่วยผลผลิตลงได้ย่อมจะก่อให้เกิดผลการประหยัดพลังงานได้ด้วยเช่นกัน

3) การพิจารณาการสูญเสียพลังงานของกระบวนการ

วิธีการนี้จะพิจารณาจุดสูญเสียพลังงานของกระบวนการผลิตเป้าหมาย ว่ามีการสูญเสียหรือไม่ ถ้ามีการสูญเสียแสดงว่าการใช้พลังงานอาจอยู่ในตำแหน่งที่ไม่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด การพิจารณาควรมุ่งความสนใจที่ตำแหน่งใช้งานแล้วมองย้อนกลับไปต้นทางของพลังงาน ผู้ตรวจวิเคราะห์ต้องพิจารณาว่าพลังงานถูกใช้ประโยชน์อย่างไรในการผลิต จุดที่พลังงานถูกใช้ประโยชน์นี้เอง มักจะเป็นจุดสิ้นเปลืองและมีการสูญเสีย ต้องพิจารณาว่ามีพลังงานที่สูญเสียไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้หรือไม่ สูญเสียอย่างไรบ้าง ปริมาณเท่าใด จากนั้นเน้นจุดที่มีความสำคัญและพิจารณาว่าสามารถป้องกันหรือลดการสูญเสียเหล่านั้นได้อย่างไร หากเรา

สามารถลดปริมาณพลังงานที่สูญเสียจากจุดที่ใช้งาน หรือพยายามลดปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตลง 1 เปอร์เซ็นต์จะส่งผลให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่า 1เปอร์เซ็นต์ ที่ต้นทาง เนื่องจากจะช่วยลดปริมาณความร้อนที่สูญเสียได้ตั้งแต่ต้น ดังนั้นการดำเนินการตรวจสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพควรเริ่มต้นที่จุดที่มีการใช้พลังงาน (End Use)

4) การพิจารณาพลังงานหรือผลผลิตที่เหลือทิ้งกลับมาใช้

การนำพลังงานหรือผลผลิตที่เหลือทิ้งกลับมาใช้เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่ต้องพิจารณา เพราะการทิ้งพลังงานไปอย่างเปล่าประโยชน์ทั้งที่ยังมีศักยภาพในการใช้งานอยู่ ถือเป็นการใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพอย่างยิ่ง ดังนั้นวิธีการที่มักจะให้ผลคุ้มค่าและประหยัดพลังงานได้ค่อนข้างมากก็คือ การนำพลังงานหรือผลผลิตที่เหลือทิ้งนำกลับมาใช้ใหม่ ผู้วิเคราะห์ควรพิจารณาว่ามีพลังงานหรือผลผลิตใดบ้างที่เหลือทิ้งจากกระบวนการ ทั้งนี้หากเราสามารถที่จะดึงเอาพลังงานที่เหลือทิ้งกลับมาได้ แต่หากไม่สามารถหาจุดหรือตำแหน่งที่เราจะนำพลังงานที่ได้นั้นไปใช้ประโยชน์ได้ มาตรการนั้นย่อมไม่เกิดประโยชน์อย่างใด จากจุดนี้เราควรคำนึงถึงตำแหน่งหรือวิธีการที่เราจะนำพลังงานที่ได้นี้กลับไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นผู้วิเคราะห์จึงควรหาข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตของโรงงานว่าในแต่ละกระบวนการมีเงื่อนไขหรือข้อจำกัดในการใช้พลังงานอย่างไรบ้าง เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หาตำแหน่งหรือกระบวนการที่สามารถรองรับพลังงานที่นำกลับมาใช้ได้

5) การพิจารณาวิธีการบริหารจัดการ

พิจารณาการบริหารจัดการในการผลิตและการบำรุงรักษา ว่ามีการบริหารจัดการที่ดีหรือไม่ สามารถที่พัฒนาเพิ่มระดับการจัดการให้สูงขึ้นได้หรือไม่ เนื่องจากการบริหารจัดการที่ดีจะส่งผลถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีด้วย ซึ่งวิธีการบริหารจัดการเป็นการปรับปรุงการสั่งการใช้งานเครื่องจักรจากคน ซึ่งได้แก่ ผู้ควบคุมหรือผู้บำรุงรักษาเป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายต่ำในบางครั้งสามารถก่อให้เกิดผลประหยัดที่สูงมาก วิธีการบริหารจัดการเครื่องจักรในกระบวนการผลิตประกอบด้วยการปรับตั้ง การควบคุมการใช้งาน การบำรุงรักษาอย่างเป็นระบบการขาดการบำรุงรักษาอย่างเป็นระบบจะทำให้ประสิทธิภาพพลังงานต่ำลง สิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ความเชื่อถือได้ของเครื่องจักรอุปกรณ์ลดลง การผลิตลดลง คุณภาพผลผลิตลดลง และนำไปสู่ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการหยุดการผลิต

6) เทคโนโลยี/วิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง

พิจารณาว่ากระบวนการผลิตเป้าหมายที่กำลังพิจารณาว่ามีเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าหรือไม่นั่นคือ ถ้ามีเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแสดงว่ากระบวนการผลิตที่กำลังพิจารณานั้นมีประสิทธิภาพที่ไม่ดีแล้วในปัจจุบัน จึงต้องทำการพิจารณาปรับเปลี่ยน ทั้งนี้การปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีนั้นส่วนใหญ่ใช้งบประมาณปรับปรุงมากจึงควรพิจารณาการคุ้มค่าการลงทุนอย่างระมัดระวัง

4.7.3 การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

หลังจากที่สามารถบ่งชี้หรือประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตเป้าหมายได้แล้ว จะดำเนินการประเมินศักยภาพหามาตรการแนวทางที่เป็นไปได้ โดยละเอียดถึงความคุ้มค่าในการลงทุนปรับปรุง โดยประเมินผลประหยัด เงินลงทุน และระยะเวลาคืนทุน

ศักยภาพในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงานทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต อาจกระทำได้ตั้งแต่วิธีการง่ายๆ ตั้งแต่การบริหารจัดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมที่ใช้ในการผลิตหรือวิธีการใช้งานหรือดูแลบำรุงรักษาเครื่อง ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีการลงทุนหรือลงทุนน้อย ไปจนถึงการลงทุนปรับปรุงเพิ่มเติมอุปกรณ์ควบคุมบางส่วน ซึ่งเป็นการลงทุนปานกลาง หรือจนกระทั่งทำการปรับปรุงปรับเปลี่ยนติดตั้งเครื่องจักรใหม่ที่มีเทคโนโลยีที่สูงขึ้น ใช้พลังงานน้อยลงแต่ต้องใช้เงินทุนที่สูง ซึ่งวิธีการปรับปรุงหรือมาตรการกรอนุรักษ์พลังงานสามารถกำหนดได้จากการพิจารณาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตทั้ง 6 วิธี ที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ผ่านมา ซึ่งเราสามารถจะหามาตรการที่มีศักยภาพได้อย่างเป็นระบบได้โดยใช้ตารางตรวจสอบในแต่ละกระบวนการที่วิเคราะห์ดังนี้

กระบวนการผลิต.....

ลำดับ	ประเด็นพิจารณาประสิทธิภาพ	ศักยภาพ	หมายเหตุ
1	เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง	☐ ได้ ☐ ไม่ได้	
2	ปริมาณพลังงานที่เหมาะสม	☐ ได้ ☐ ไม่ได้	
3	การสูญเสียพลังงานของกระบวนการผลิต	☐ ได้ ☐ ไม่ได้	
4	พลังงานหรือผลผลิตที่เหลือทิ้งกลับมาใช้	☐ ได้ ☐ ไม่ได้	
5	การบริหารจัดการ	☐ ได้ ☐ ไม่ได้	
6	เทคโนโลยี/วิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง	☐ ได้ ☐ ไม่ได้	

ทั้งนี้แนวทางและเทคนิคการสำรวจหาแนวทางอนุรักษ์พลังงานในรายอุปกรณ์โดยละเอียดจะนำเสนอในบทที่ 5 ต่อไป หลังจากที่สามารถหาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานได้แล้ว การกำหนดเป้ามาตรการอนุรักษ์พลังงานจะต้องวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ในมาตรการดำเนินการที่ไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตหรือถ้ามีต้องอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ความคุ้มค่าในการลงทุน ระยะเวลาคืนทุนในการดำเนินมาตรการนั้นๆ ในการวิเคราะห์ผลประหยัดของมาตรการจำเป็นต้องทำโดยวิศวกรที่ความเข้าใจในกระบวนการผลิต เพื่อที่จะประเมินผลประหยัดได้อย่างถูกต้องใกล้เคียงมากที่สุดหลักการพื้นฐานในการวิเคราะห์คือ การเปรียบเทียบผลต่างปริมาณพลังงาน ผลต่างของประสิทธิภาพหรือผลต่างดัชนีชี้วัดกระบวนการผลิตนั้นๆ แต่โดยทั่วไปอุปกรณ์หลักต่างๆ จะมีรูปแบบของประสิทธิภาพหรือดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพเฉพาะที่ใช้ในการเปรียบเทียบ เช่น เครื่องทำน้ำเย็น จะใช้ค่า kW/TR, เครื่องอัดอากาศจะใช้ kW/m^3/min, ปั๊มน้ำใช้ GPM/kW และพัดลมใช้ CFM/kW เป็นต้น ซึ่งการวิเคราะห์ผลประหยัดพอจะสรุปเป็นแนวทางตามประเด็นที่เกิดการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงและใช้ในการเปรียบเทียบผลต่างที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุง ได้แก่

1. *ประเมินศักยภาพจากการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์*
2. *การประเมินศักยภาพจากการสูญเสียพลังงาน*
3. *การประเมินศักยภาพจากการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต*

รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ประเมินศักยภาพการประหยัดพลังงาน

อุปกรณ์		ดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพ		พลังงานที่ประหยัด
1. การเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์หลัก	**เครื่องทำน้ำเย็น**	= กำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งระบบ (รวมทั้งปั๊ม คอมเพรสเซอร์ พัดลมระบายความร้อนและอื่นๆ)/ปริมาณความเย็นที่ผลิตทั้งหมด	= kW/TR	= (kW/TR เดิม –kW/TR ที่ประเมิน) x ตันความเย็นที่ใช้ (TR) x ชั่วโมงการใช้งานต่อปี (hr) x ตัวประกอบการใช้งาน (OF)
	เครื่องอัดอากาศ	= กำลังไฟฟ้าที่ใช้/อัตราการผลิตลมอัด	= kW/m^3/min	= (kW/m^3/minเดิม - kW/m^3/min ที่ประเมิน) x ชั่วโมงการใช้งานต่อปี (hr) x ตัว ประกอบการใช้งาน (OF)
	ปั๊มน้ำ	= อัตราการสูบน้ำ/กำลังไฟฟ้าที่ใช้	= GPM/kW	= (อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ (GPM)/(GPM/kW ที่ประเมิน - GPM/kW เดิม) x ชั่วโมงการใช้งานต่อปี (hr) x ตัวประกอบการใช้งาน (OF)
	พัดลม	= อัตราการไหลอากาศ/กำลังไฟฟ้าที่ใช้	= CFM/kW	= (อัตราการไหลที่ใช้ (CFM)/(CFM /kW ที่ประเมิน - CFM/kW เดิม) x ชั่วโมงการใช้งานต่อปี (hr) x ตัวประกอบการใช้งาน (OF)
	หม้อไอน้ำ	= ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ทั้งระบบ/ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งระบบ	= kg ไอน้ำ/ kg เชื้อเพลิง	= (ปริมาณไอน้ำที่ใช้ (ตัน)/((ปริมาณไอน้ำต่อเชื้อเพลิงประเมิน - ปริมาณไอน้ำต่อเชื้อเพลิงเดิม)) x ชั่วโมงการใช้งานต่อปี (hr) x ตัวประกอบการใช้งาน (OF)
2. การลดการสูญเสียพลังงาน	**การสูญเสียในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า**	ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์	= PF	= (กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ประเมิน - กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเดิม) x ชั่วโมงการใช้งานต่อปี (hr) x ตัวประกอบการใช้งาน (OF)
	การสูญเสียในระบบความร้อน	ปริมาณความร้อนไหลออกจากระบบ	= MJ/hr	= (ปริมาณความร้อนสูญเสียต่อชั่วโมงที่ประเมิน-ปริมาณความร้อนสูญเสียต่อชั่วโมงที่ประเมินเดิม) x ชั่วโมงการใช้งานต่อปี (hr) x ตัวประกอบการใช้งาน (OF) เมื่อ m = อัตราการไหลเชิงมวล kg/hr h_{fg} = ค่าความร้อนแฝงของสารทำงาน kJ/kg Cp = ความจุความร้อนจำเพาะ kJ/kg.K ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง K
	ความร้อนแฝง (Latent Heat)	= อัตราการไหลเชิงมวล (m) x ค่าความร้อนแฝงของสารทำงาน (h_{fg})	= MJ/hr	
	ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat)	= อัตราการไหลเชิงมวล (m) x ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Cp) x อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (ΔT)	= MJ/hr	
3. การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต	**กระบวนการผลิต (การเพิ่มผลผลิตพลังงานไฟฟ้า)**	= พลังงานไฟฟ้าที่ใช้/ปริมาณผลผลิตของกระบวนการนั้นๆ	= kWh/หน่วยผลิต	= (พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อหน่วยผลผลิตเดิม-พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อหน่วยผลผลิตใหม่) x จำนวนหน่วยผลผลิตทั้งปี x ตัวประกอบการทำงาน
	กระบวนการผลิต (การเพิ่มผลผลิตพลังงานความร้อน)	= พลังงานความร้อนที่ใช้/ปริมาณผลผลิตของกระบวนการนั้นๆ	= MJ/หน่วยผลิต	= (พลังงานความร้อนที่ใช้ต่อหน่วยผลผลิตเดิม-พลังงานความร้อนที่ใช้ต่อหน่วยผลผลิตใหม่) x จำนวนหน่วยผลผลิตทั้งปี x ตัวประกอบการทำงาน
	กระบวนการผลิต(การลดของเสียพลังงานไฟฟ้า)	= พลังงานไฟฟ้าที่ใช้/ปริมาณผลผลิตของกระบวนการนั้นๆ	= kWh/หน่วยผลิต	= จำนวนหรือปริมาณของเสียที่ลดลงต่อชั่วโมง x ดัชนีพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนกระบวนการนั้น x ชั่วโมงการผลิตต่อปี x ตัวประกอบการทำงาน
	กระบวนการผลิต (การลดของเสียพลังงานความร้อน)	= พลังงานความร้อนที่ใช้/ปริมาณผลผลิตของกระบวนการนั้นๆ	= MJ/หน่วยผลิต	= จำนวนหรือปริมาณของเสียที่ลดลงต่อชั่วโมง x ดัชนีพลังงานความร้อนที่ใช้ในขั้นตอนกระบวนการนั้น x ชั่วโมงการผลิตต่อปี x ตัวประกอบการทำงาน

หมายเหตุ OF = ตัวประกอบการใช้งาน Operating factor, GPM = แกลลอนต่อนาที, CFM = ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

4.8 การประเมินการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากผลการอนุรักษ์

วิธีการประเมินปริมาณ CO_2 ให้พิจารณาตามข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมของ IPCC โดยค่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะแยกตามชนิดของเชื้อเพลิงดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 คำนวณการปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แยกตามชนิดเชื้อเพลิง[1]

ชนิดเชื้อเพลิง	ปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อย (Mg CO_2/TJ)
น้ำมันดีเซล	74.07
น้ำมันดิบ	70.26
น้ำมันเตา	71.64
LPG	63.07
NG	56.10
ไม้	110.07
ถ่านไม้	110.44
แกลบข้าว	114.58
กากอ้อย	219.12
ไฟฟ้า	201.81

ตารางที่ 4.19 ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ[2]

ประเภท	ชนิด	หน่วย	ค่าความร้อนเฉลี่ย (MJ/หน่วย)
ไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า	กิโลวัตต์ - ชั่วโมง	3.60
ก๊าซ	ก๊าซธรรมชาติ	ล้านบีทียู/ลูกบาศก์ฟุต	10.55
	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	กิโลกรัม	50.23
	(LPG)	ลิตร	26.62
เชื้อเพลิงเหลว	น้ำมันเตา เกรด A	ลิตร	37.78
	นำมันเตา เกรด C	ลิตร	40.64
	น้ำมันดีเซล	ลิตร	36.42
เชื้อเพลิงแข็ง	ถ่านหินลิกไนท์	กิโลกรัม	10.47
	แกลบ	กิโลกรัม	14.4
	ชานอ้อย	กิโลกรัม	7.53
	ขี้เลื่อย	กิโลกรัม	10.88

หมายเหตุ เนื่องจากข้อกำหนดของ IPCC ระบุว่า เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นรูปแบบของพลังงานหมุนเวียน ซึ่งปลูกทดแทนได้และสามารถดูดซับ CO_2ที่ปล่อยออกมาได้ทั้งหมด ดังนั้น เมื่อมองถึงภาพโดยรวมแล้ว การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลจะถือว่าไม่มีผลต่อการปล่อยปริมาณ CO_2 ออกสู่บรรยากาศ ดังนั้น ในการพิจารณามาตรการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ได้กำหนดเป็นแนวทาง ดังนี้

กรณีที่ 1 การลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงชนิดชีวมวล จะไม่คิดถึงผลกระทบจากการลดการปลดปล่อยCO_2

กรณีที่ 2 การเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล จะคิดถึงผลกระทบจากการปลดปล่อยCO_2 จากเชื้อเพลิงฟอสซิลเท่านั้น

กรณีที่ 3 การเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล จะคิดถึงผลกระทบจากการปลดปล่อยCO_2 จากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีการใช้เพิ่มขึ้น

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 จากการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน

[1] ที่มา : IPCC Reference Approach for Estimating CO_2 Emission from Fossil Fuel Combustion

Mega (M) = 10^6 Mg = Megagrams

Tera (T) = 10^{12} TJ = TeraJoule

[2] ที่มาข้อมูล : ฐานข้อมูลอนุรักษ์พลังงาน 2545 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

แห่งหนึ่งทางโรงงานสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 100 kWh/ปี ลดการใช้น้ำมันเตา C ได้ 100 ลิตร/ปี พลังงานไฟฟ้า 100 kWh/ปี ลดการใช้แกลบข้าว 1,000 kg/ปี และเปลี่ยนจากเชื้อเพลิงขี้เลื่อยปริมาณ 100 kg/ปี เป็นน้ำมันเตา 30 ลิตร/ปี

ปริมาณ CO2 ที่ลดลงจากการลดการใช้ไฟฟ้า 100 kWh/ปี

1) ทำการแปลงหน่วยพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูป TJ =100 x 3.6 = 360 MJ = 360 x 10^{-6}TJ
2) CO_2 Emission Coefficient ของพลังงานไฟฟ้า = 201.81 Mg CO_2/TJ
3) ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ที่ลดลงจากพลังงานไฟฟ้า = 360 x 10^{-6}x 201.81
   = 72.65 kg CO_2/ปี

ปริมาณ CO2 ที่ลดลงจากการลดการใช้น้ำมันเตาC ได้100 ลิตร/ปี

1) ทำการแปลงหน่วยพลังงานให้อยู่ในรูป TJ = 100 x 40.64 = 4,064 MJ = 4,064 x 10^{-6}TJ
2) CO_2 Emission Coefficient ของน้ำมันเตา = 71.64 MgCO_2/TJ
3) ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ที่ลดลงจากน้ำมันเตา = 4,064 x 10^{-6}x 71.64
   = 291.14 kgCO_2/ปี

ปริมาณ CO2 ที่ลดลงจากปริมาณแกลบข้าวที่ลดลง1,000 kg/ปี

1) ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ที่ลดลง = 0 kgCO_2 /ปี

* ลดการใช้เชื้อเพลิงชนิดชีวมวล จะไม่คิดถึงผลกระทบจากการลดการปลดปล่อย CO_2 = 0 kgCO_2 /ปี

ปริมาณ CO2 ที่ลดลงจากปริมาณขี้เลื่อยที่ลดลง100 kg/ปี

2) ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ที่ลดลง = 0 kgCO_2 /ปี

* ลดการใช้เชื้อเพลิงชนิดชีวมวล จะไม่คิดถึงผลกระทบจากการลดการปลดปล่อย CO_2 = 0 kgCO_2 /ปี

ปริมาณ CO2 ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้น้ำมันเตาC ได้30 ลิตร/ปี

4) ทำการแปลงหน่วยพลังงานให้อยู่ในรูป TJ = 30 x 40.64 = 1,219.2 MJ = 1,219.2 x 10^{-6}TJ
5) CO_2 Emission Coefficient ของน้ำมันเตา = 71.64 MgCO_2/TJ
6) ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ที่ลดลงจากน้ำมันเตา = 1,219.2 x 10^{-6}x 71.64
   = 87.34kgCO_2/ปี

ดังนั้นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ที่ลดลงรวม = 72.65+ 291.14 + 0 + 0 - 87.34
= 276.45 kg CO_2/ปี

ตารางที่ 4.20 ตัวอย่างค่า Emission Factor ของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มอาหาร

ลำดับที่	ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟกเตอร์	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
อุตสาหกรรมอาหาร				
1	กระเทียม	kg	0.1660	ข้อมูลกรมวิชาการเกษตร
2	เกลือ	kg	3.2500	Ecoivent 2.0
3	ไก่	kg	1.8202	ฐานข้อมูล “Chicken” ของ LCA Food DK ใน SimaPro
4	ข่า	kg	0.1200	ข้อมูลกรมวิชาการเกษตร
5	แครอท	kg	0.1198	ฐานข้อมูล “Carrot, convention, washed and packed, from field” ของ LCA Food DK ใน SimaPro
6	น้ำกะทิ	kg	0.0109	ข้อมูลกรมวิชาการเกษตร, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี
7	น้ำตาล	kg	1.0800	วิทยา กันยา 2551, การประเมินชีวิตวัฏจักรน้ำตาลทรายแดง, มธ
8	ใบโหระพา	kg	0.0443	ข้อมูลกรมวิชาการเกษตร
9	ผงชูรส	kg	0.8690	Japanese databased
10	ผิวมะกรูด	kg	0.0812	ข้อมูลกรมวิชาการเกษตร
11	พริกชี้ฟ้าแดง	kg	0.1200	ข้อมูลกรมวิชาการเกษตร
12	พริกไทย	kg	0.0682	ข้อมูลกรมวิชาการเกษตร
13	มะเขือพวง	kg	0.4582	ฐานข้อมูล Tomato standard” ของ LCA Food DK ใน SimaPro
14	มะเขือพวง	kg	0.2460	ข้อมูลกรมวิชาการเกษตร
15	มันฝรั่ง	kg	0.1527	ฐานข้อมูล “Potato standard” ของ LCA Food DK ใน SimaPro
16	รากผักชี	kg	0.0868	ข้อมูลกรมวิชาการเกษตร
17	สับปะรดสด	kg	0.0990	คู่มือLCI/LCA แนวปฏิบัติในการจัดทำฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สับปะรดกระป๋อง กรมโรงงานอุตสาหกรรม
18	หอมแดง	kg	0.0437	ข้อมูลกรมวิชาการเกษตร
19	หอมใหญ่	kg	0.2653	ฐานข้อมูล “Onion dried and stored ” ของ LCA Food DK ใน SimaPro
อุตสาหกรรมพลังงาน				
1	LNG	kg	0.4826	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
2	LPG_{mix}	kg	0.4116	Thai LCI data
3	Naphtha (น้ำมันจำพวกปิโตรเลียม)	kg	0.3451	Thai LCI data
4	NGL	kg	0.4645	Thai LCI data
5	ก๊าซหุงต้ม(LPG) จากกระบวนการกลั่น	kg	0.3851	Thai LCI data
6	ก๊าซหุงต้ม (LPG) จากก๊าซธรรมชาติ	kg	0.4980	Thai LCI data
7	แก๊ศโซลีน (Gasoline)	kg	0.3409	Thai LCI data
8	เบนซิน – การเผาไหม้	L	2.1896	IPCC 2007 (use calorific value from DEDE)
9	ดีเซล (Diesel) น้ำมันโซลาร์	kg	0.3215	Thai LCI data
10	ดีเซล – การเผาไหม้	L	2.7080	IPCC 2007
11	ถ่านหิน (Cooking coal) การเผาไหม้	kg	2.6268	IPCC 2007
12	ถ่านหิน – การผลิต	kg	0.0243	JEMAI, coal (electricity, IDN)
13	น้ำมันก๊าซ (Kerosene)/Jet oil	kg	0.3119	Thai LCI data
14	น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel oil)	kg	0.3041	Thai LCI data
15	ไฟฟ้า	kWh	0.5610	TC common data

หมายเหตุ ค่า Emission Factor ของผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ และกิจกรรมเช่นสามารถค้นหาได้จาก http://www.thaieei.com/eei2009/pdf/article

4.9 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในการประเมินมาตรการการอนุรักษ์พลังงานที่มีการลงทุน มีความจำเป็นต้องใช้วิธีการทางการเงินเพื่อประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ที่จะได้จากการที่จะลงทุน เพื่อเป็นแนวทางในการจัดลำดับความสำคัญของมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน และใช้งบประมาณและทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดอย่างคุ้มค่า วิธีการทางการเงินที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินผลตอบแทนของมาตรการได้แก่

4.9.1 การคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period)

4.9.2 การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value)

4.9.3 การหาอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return)

4.9.1 การคำนวณระยะเวลาการคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period)

ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย หมายถึง ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการที่มาตรการจะให้มูลค่าผลตอบแทนคืนมูลค่าของการลงทุนที่ใช้ไป การคำนวณระยะเวลาการคืนทุนอย่างง่ายของมาตรการอนุรักษ์พลังงานจะใช้เป็นหน่วยของจำนวนปี โดยผลตอบแทนที่ได้คือ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปีนั่นเอง

ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย(ปี) = มูลค่าการลงทุน (บาท) / ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปี (บาท/ปี)

การคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย เป็นวิธีการที่ง่ายที่ทำให้คำนวณผลตอบแทนของโครงการได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งมักใช้ทั่วไปกับมาตรการการอนุรักษ์พลังงานที่มีเงินลงทุนไม่มากนัก ข้อเสียของการคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายคือ ไม่ได้พิจารณามูลค่าทางการเงินที่เปลี่ยนไปตามระยะเวลา ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราเงินเฟ้อต่างๆ ดังนั้นในมาตรการที่มีจำนวนเงินลงทุนสูงๆ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีทางการเงินอื่นๆประกอบด้วย

ระยะเวลาการคืนทุนของมาตรการ

- น้อยกว่า 3 ปีเป็นมาตรการที่มีผลตอบแทนสูงและจูงใจในการดำเนินการ
- ระหว่าง 3 ถึง 7 ปี เป็นมาตรการที่มีผลตอบแทนไม่สูงนัก แต่อยู่ในข่ายในการที่จะพิจารณาลงทุนได้โดยอาจจะต้องคำนึงถึงผลประโยชน์อื่นๆ ร่วมด้วย
- มากกว่า 7 ปี เป็นมาตรการที่มีผลตอบแทนต่ำ ซึ่งมักจะไม่ค่อยนำมาพิจารณาในการลงทุน ยกเว้นแต่ว่าโครงการนั้นมีความจำเป็นจริงๆ

4.9.2 การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value)

เนื่องจากมูลค่าของเงินเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการนำผลของช่วงเวลามาพิจารณา เพื่อประเมินมูลค่าหรือผลตอบแทนของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน วิธีคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิคือการแปลงมูลค่าเงินลงทุน ค่าใช้จ่ายต่างๆ รวมทั้งผลตอบแทนที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานมาเป็นมูลค่าของเงินในปัจจุบัน เพื่อเปรียบเทียบบนฐานเวลาเดียวกัน

การคำนวณจะใช้อัตราคิดลด (Discount factor) เพื่อแปลงมูลค่าทางการเงินที่ช่วงระยะเวลาต่างๆ มาเป็นมูลค่าในปัจจุบัน

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$$= \text{- มูลค่าการลงทุน} + \frac{(\text{ผลการประหยัด} - \text{ค่าใช้จ่าย})}{(1+\frac{i}{100})} + \frac{(\text{ผลการประหยัด} - \text{ค่าใช้จ่าย})}{(1+\frac{i}{100})^2} + \ldots + \frac{(\text{ผลการประหยัด} - \text{ค่าใช้จ่าย})}{(1+\frac{i}{100})^n}$$

โดยที่ i = อัตราคิดลด (%)
n = ระยะเวลามาตรการ (ปี)

โดยปกติ เราจะพิจารณาลงทุนเฉพาะมาตรการที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวกเท่านั้น โดยมาตรการที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวกมาก จะเป็นมาตรการที่มีผลตอบแทนในการลงทุนสูง

4.9.3 การหาอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return)

อัตราผลตอบแทนภายใน เป็นวิธีการทางการเงินที่อยู่บนพื้นฐานของการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ การหาอัตราผลตอบแทนภายในของมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ทำได้โดยการหาอัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของมาตรการที่มีค่าเท่ากับศูนย์ การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในจะต้องกำหนดระยะเวลาของมาตรการ ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดตามอายุการใช้งานของระบบหรืออุปกรณ์ที่ติดตั้ง อัตราผลตอบแทนภายในจะคำนวณได้จากสูตร

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = 0

$$0 = \text{- มูลค่าการลงทุน} + \frac{(\text{ผลการประหยัด} - \text{ค่าใช้จ่าย})}{(1+\frac{irr}{100})} + \frac{(\text{ผลการประหยัด} - \text{ค่าใช้จ่าย})}{(1+\frac{irr}{100})^2} + \ldots + \frac{(\text{ผลการประหยัด} - \text{ค่าใช้จ่าย})}{(1+\frac{irr}{100})^n}$$

โดยที่ irr = อัตราคิดลด Discount rate (%)
n = ระยะเวลามาตรการ (ปี)

เกณฑ์ในการใช้อัตราผลตอบแทนภายใน ในการประเมินมาตรการการอนุรักษ์พลังงานก็คือ มาตรการใดก็ตามที่มีอัตราผลตอบแทนภายในสูงกว่า อัตราผลตอบแทนที่องค์กรสามารถหาได้จากลงทุนประเภทอื่นๆ หรือเกณฑ์ต่ำสุดขององค์กร มาตรการนั้นก็ควรจะได้รับการพิจารณา

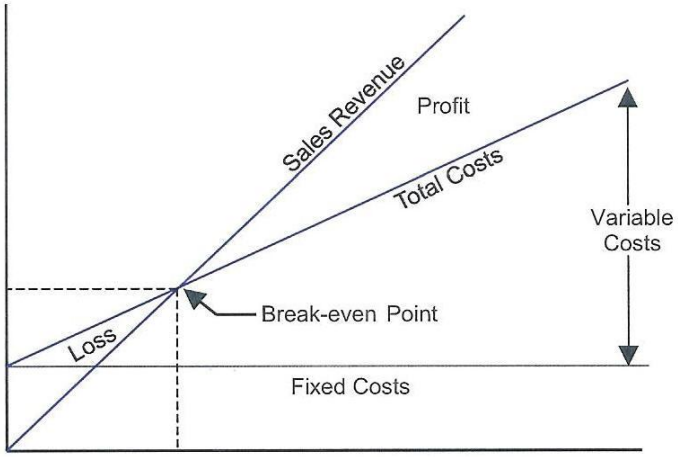
ตัวอย่างการพิจารณาง่ายๆ ก็คือ ถ้ามาตรการอนุรักษ์พลังงานมีอัตราผลตอบแทนภายในสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยที่ได้จากการนำเงินที่มีอยู่ไปฝากธนาคาร มาตรการนั้นก็ควรจะถูกพิจารณาในการลงทุน

ตัวอย่างการวิเคราะห์การลงทุนแบบต่างๆ

แบบที่ 1 การคำนวณระยะเวลาการคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period)

ระยะเวลาการคืนทุน คือ ระยะเวลาที่โครงการจะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาคุ้มกับค่าใช้จ่ายที่ลงทุนไป ตัวอย่างเช่น

- โครงการหนึ่งต้องการเงินลงทุน 100,000 บาท
- ผลประโยชน์ที่ได้ของโครงการมีมูลค่า 50,000 บาทต่อปี
- ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ ค่าใช้จ่ายที่ลงทุน/ผลตอบแทนต่อปี (หรือผลประหยัด)
- ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2 ปี



รูปที่ 4.22 การหาจุดคุ้มทุน

แบบที่ 2 การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value)

ขายสินค้า A โดยไม่มีการหักค่าเสื่อมราคา ให้คำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของเงินที่ท่านได้รับหลังจากขายสินค้า A ในอีก 4 ปีข้างหน้า

- สินค้าA ที่ต้องการขายเมื่ออายุการใช้งานครบ 4 ปี อัตราส่วนลดมีค่า 8% ถ้าท่านจะขายสินค้า A ใน อีก 4 ปีข้างหน้า
- จะได้รับเงินจากผู้ซื้อ = 160,000 บาท
- อัตราส่วนลด = 8%
- ค่าส่วนลด = $\frac{1}{(1+0.08)^4}$ = 0.735
- มูลค่าในอีก 4 ปีข้างหน้า คิดจาก 160,000 x 0.735 = 117,600 บาท

แบบที่ 3 การหาอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return)

สำหรับตัวอย่างการหุ้มฉนวน ถ้าหากค่าอัตราส่วนลดเพิ่มขึ้นมูลค่าปัจจุบันสุทธิจะเป็นอย่างไร พิจารณาจากตารางข้างล่าง

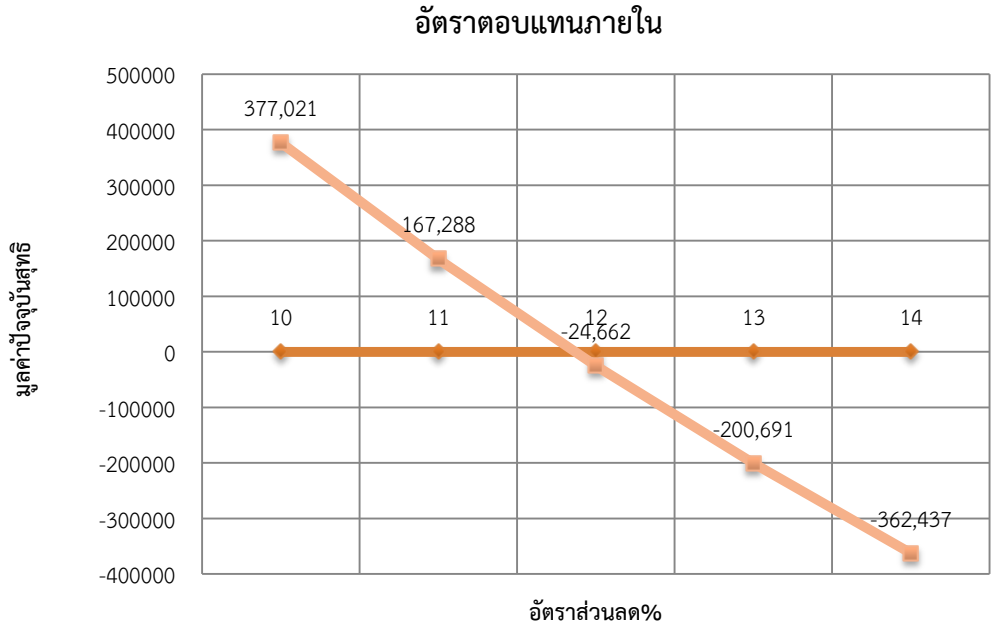
จากมาตรการประหยัดพลังงานของการหุ้มฉนวนเครื่อง Injection molding ตลอดอายุโครงการ ให้คำนวณค่าใช้จ่ายสุทธิโดย

- ค่าใช้จ่ายลงทุน = 3,456,000 บาท
- ผลประหยัดที่ได้ = 505,125 บาท/ปี
- อายุของฉนวน = 15 ปี
- อัตราส่วนลด = 11 %

ตารางที่ 4.21 แสดงสัดส่วนลดกับมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

อัตราส่วนลด	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
10	377,021
11	167,288
12	-24,662
13	-200,691
14	-362,437

การหาอัตราผลตอบแทนภายในที่แน่นอน (ตัวเลขที่กราฟตัดแกน x) สามารถเขียนกราฟได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.23 การแสดงสัดส่วนลดกับมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

จากกราฟ จะพบว่าค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 11.8 %

บทที่ 5
แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

5.1 การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต (Benchmarking energy use in processing)

การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะ (Benchmarking) เป็นกระบวนการในการประเมินและตั้งเป้าหมายเพื่อให้เกิดการปรับปรุงและผลสำเร็จ ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงการทำงานที่ผ่านการพิสูจน์มาแล้วในหลายธุรกิจและใช้ได้ผลดีเป็นอย่างยิ่งในการบริหารพลังงาน

การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะนั้นว่าด้วยการตั้งเป้าหมายขึ้นมาเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายและปรับปรุงการทำงาน โดยจะเป็นตัวผลักดันในการลดต้นทุน

การเริ่มต้นกระบวนการวัดเปรียบเทียบสมรรถนะจำเป็นต้องประมาณการถึงสภาพความเป็นไปของทั้งภาคอุตสาหกรรมและประมาณการถึงสถานภาพของบริษัทเมื่อเปรียบเทียบกับทั้งภาคอุตสาหกรรมเป็นการเปิดโอกาสให้บริษัทได้รับรู้ถึงสัดส่วนการใช้พลังงานของตนเองโดยเปรียบเทียบกันกับภายในภาคอุตสาหกรรมนั้น

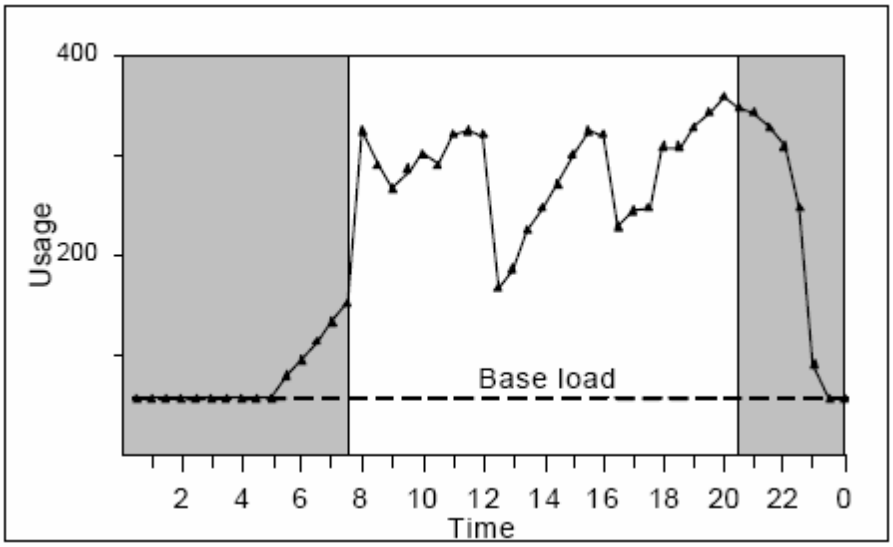
ในการบริหารพลังงานจะต้องมีการจัดตั้งโครงสร้างการบริหารพลังงานซึ่งจะนำไปใช้ตั้งเป้าหมายต่าง ๆ และนำโครงสร้างดังกล่าวไปใช้งานจริงกับโครงการต่าง ๆ เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายเหล่านั้นซึ่งในแง่ของการวัดเปรียบเทียบสมรรถนะแล้วจะเป็นเป้าหมายในการประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นตัวผลักดันในการลดต้นทุนนั่นเอง โดยสิ่งที่จะนำมาเป็นตัวชี้วัดนั้นจะต้องวัดได้ง่าย รวดเร็ว และแม่นยำ เพื่อความประหยัด ซึ่งจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

พลังงานทั้งหมดที่โรงงานใช้ประกอบด้วย (1) พลังงานส่วนกลางที่ระบบสนับสนุนการผลิตใช้ เช่น ระบบแสงสว่าง ระบบบริการกลางฯ พลังงานส่วนนี้ค่อนข้างคงที่แม้ผลผลิตจะเพิ่มหรือลดลง

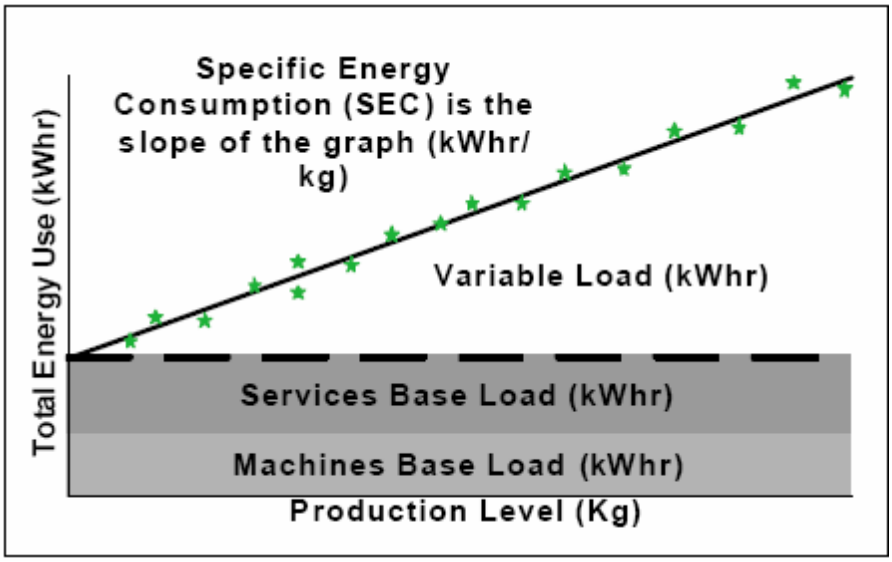
ต่อไปจะเรียกพลังงานส่วนนี้ว่า ภาระฐาน (Base load) และ (2) พลังงานส่วนผันแปรกับปริมาณผลผลิต ดังนั้นพลังงานที่โรงงานใช้แสดงได้ด้วยสมการ

พลังงานทั้งหมดที่ใช้ไป = ภาระฐาน + (ปริมาณการผลิต × ดัชนีการบริโภคพลังงานจำเพาะ) หรือ
The totals energy used = Base load + (Production volume × SEC)

โดยความหมายของภาระฐาน (Base load) และสมการข้างต้นนี้อธิบายได้ดังรูปที่ 5.1 และ รูปที่ 5.2 ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ ณ เวลาต่างๆ ซึ่งจะเพิ่มจากค่าภาระฐานขึ้นไปตามปริมาณการผลิต



รูปที่ 5.2 พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ซึ่งจะเพิ่มจากค่าภาระฐานขึ้นไปตามปริมาณการผลิต โดยความชันของเส้นกราฟนี้คือ ค่าดัชนีการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม

โดยกลยุทธ์ที่จะช่วยทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ก็คือ

1. การลดภาระฐาน (Base load) ซึ่งเป็นการลดต้นทุนคงที่ (fixed cost)
2. การลดค่าดัชนีการบริโภคพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption: SEC) ซึ่งเป็นการลดต้นทุนแปรผัน (Variable cost)

ค่าที่จะนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดในการวัดเปรียบเทียบสมรรถนะนั้นได้แก่ ภาระของโรงงาน (Site load) ซึ่งรวมภาระฐาน (Base load) และภาระแปรผัน (Variable load) ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิต และค่าดัชนีการบริโภคพลังงานจำเพาะของโรงงาน (site SEC) วิธีปฏิบัติที่จะใช้ต่อไป ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน หรือ SEC (Specific energy consumption) จะหมายความถึงพลังงานรวม (พลังงานใช้ที่ภาระฐานและใช้ที่ภาระผันแปร) หารด้วยผลผลิต

5.1.1 การวัดค่าตัวชี้วัดต่างๆ ที่สามารถทำได้โดยโรงงานเอง

สำหรับการหาค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน SEC ของโรงงานต้องอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณจัดซื้อวัตถุดิบ ผลผลิต และใบแจ้งปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยจะนำไปคำนวณหาค่าประมาณขั้นต้นของ SEC โดยรวมของโรงงาน (site SEC) ได้ ซึ่งค่านี้จะสูงกว่าค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของ SEC ของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เนื่องจากผลของการใช้พลังงานแปรผันไปกับการสร้างความร้อน แสงสว่าง และสิ่งอื่น ๆ ที่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิต

ค่าประมาณ SEC โดยรวมของโรงงานที่มีกระบวนการผลิตเดียวจะเท่ากับปริมาณพลังงานโดยรวมรายเดือน หรือรายปีที่โรงงานใช้หารด้วยผลผลิตของช่วงเวลาเดียวกับที่การใช้พลังงาน ในรายโรงงานที่มีหลายกระบวนการผลิตให้จำแนกปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตของแต่ละกระบวนการผลิต แล้วนำผลผลิตไปหารปริมาณพลังงานที่กระบวนการผลิตนั้นใช้ที่ระยะเวลาเดียวกัน จะได้ SEC ของกระบวนการผลิตนั้น

สำหรับการหาค่าสมรรถนะรายเครื่องจักรในกระบวนการฯ เช่น กระบวนการผลไม้กระป๋อง สามารถทำได้โดยใช้มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า (Power meter) เพื่อทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องจักรนั้นใช้ขณะกำลังผลิตอยู่ ภาระหรือกำลังไฟฟ้าของเครื่องในกระบวนการผลิตในขั้นตอน ต่าง ๆ การประมาณค่าภาระเฉลี่ยให้มีความแม่นยำนั้นจำเป็นต้องใช้ดุลยพินิจของพนักงานที่ควบคุมเครื่องจักรนั้น ในส่วนพลังงานที่ใช้ทำความร้อนจะมีค่าเปลี่ยนไปตามภาระของแต่ละกระบวนการ ซึ่งควบคุมโดยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat) ซึ่งอาจมีความแตกต่างกันบ้างแล้วแต่ความจำเป็นในความต้องการของแต่ละกระบวนการผลิต

5.1.2 ค่า Energy benchmarking ของอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

ในส่วนนี้ขอนำเสนอค่า Energy benchmarking เฉพาะในส่วนของอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป (ห้องเย็น การผลิตน้ำแข็ง และผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง) โรงงานที่ประสงค์จะทราบสถานภาพของตนเอง ให้ประเมิน Production rate ของโรงงานเอง และ SEC ของโรงงานแล้วเปรียบเทียบกับ SEC (Benchmarking) ถ้า SEC ของโรงงานใดสูงกว่า โรงงานนั้นใช้พลังงานเกินค่ามาตรฐาน สมควรดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน ในประเทศไทยเองกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้มีจัดทำโครงการสำรวจและตรวจวัดค่า SEC ในอุตสาหกรรมอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป (ห้องเย็น การผลิตน้ำแข็ง และผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง) มาแล้ว ซึ่งน่าจะยังคงสามารถใช้เป็นค่าเป้าหมาย (Energy benchmarking) ของอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) ของอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปประเภท ต่าง ๆ

ประเภทอุตสาหกรรม	SEC		
	ไฟฟ้า	ความร้อน	รวม
1. อุตสาหกรรมห้องเย็น และอาหารแปรรูปแช่เยือกแข็ง			
อาหารแปรรูปแช่เยือกแข็ง			
1.1 ผัก ผลไม้แปรรูปแช่แข็ง	1,760	1,040	2,800
1.2 เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์แปรรูปแช่เยือกแข็ง	1,200	580	1,780
1.3 สัตว์น้ำและอาหารทะเลแปรรูปแช่เยือกแข็ง	4,040	1,480	5,520
ห้องเย็น			
1.5 ห้องเย็นเก็บผักผลไม้	480	ไม่มี	480
1.6 ห้องเย็นเก็บสัตว์น้ำและอาหารทะเล	890	ไม่มี	890
1.7 ห้องเย็นเก็บเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์	525	ไม่มี	525
2. อุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็ง			
2.1 น้ำแข็งซอง	300	ไม่มี	300
2.2 น้ำแข็งหลอดก้อน	370	ไม่มี	370
3. อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง			
3.1 สัตว์น้ำและอาหารทะเลแปรรูปบรรจุกระป๋อง	480	2,420	2,900
3.2 ผัก ผลไม้และผลิตภัณฑ์จากผัก ผลไม้บรรจุกระป๋อง	1,000	6,500	7,500
3.3 เครื่องดื่มจากผัก ผลไม้ และผลิตภัณฑ์จากผัก ผลไม้บรรจุในภาชนะปิดผนึก	240	1,260	1,500
3.4 สับปะรด-น้ำสับปะรดบรรจุกระป๋อง	260	1,430	1,690

หมายเหตุ SEC ใช้หน่วย MJ/ตัน

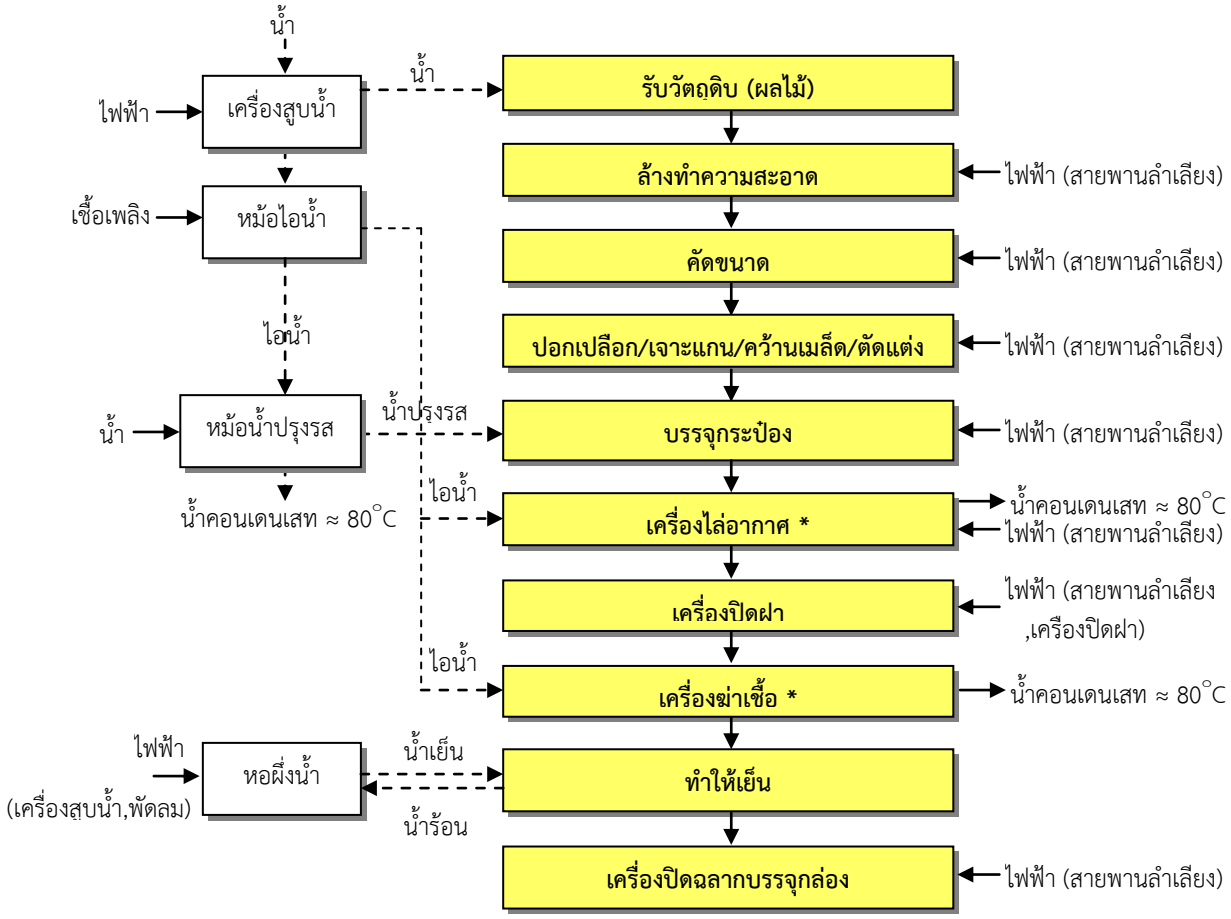
ที่มา : โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอาหาร (ห้องเย็น, การผลิตน้ำแข็ง และผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

5.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง

5.2.1 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง

ลักษณะการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมผลิตอาหารกระป๋อง สามารถพิจารณาได้จากขั้นตอนกระบวนการผลิตอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต และประเภทของพลังงานที่ต้องการสำหรับอุปกรณ์หลักที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต ซึ่งในแต่ละกระบวนการผลิตจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้

5.2.1.1 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง



หมายเหตุ * หมายถึง อุปกรณ์ในขั้นตอนกระบวนการผลิตที่มีการสูญเสียพลังงานความร้อนจากการผลิตและการใช้ไอน้ำ

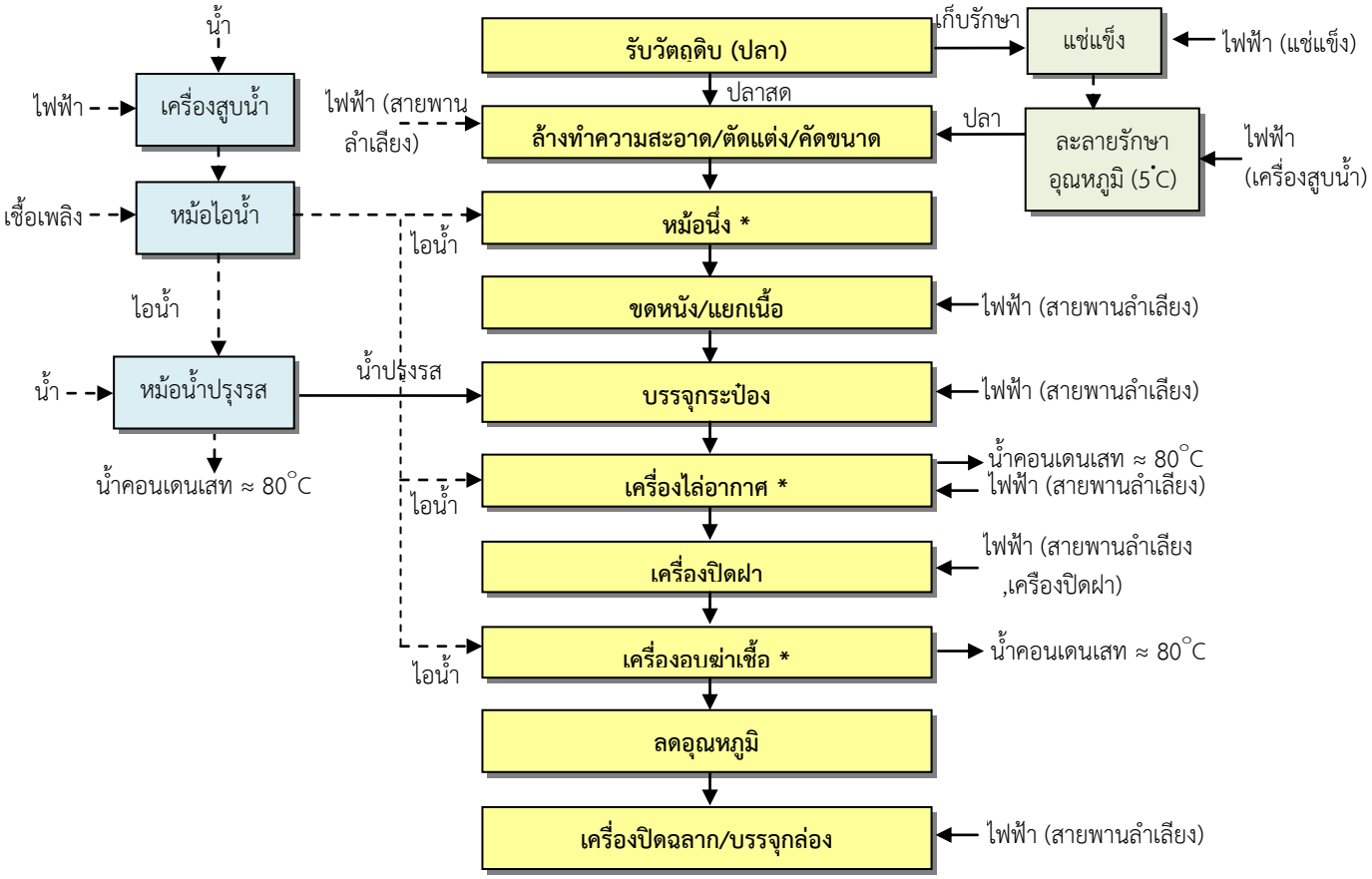
รูปที่ 5.3 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง

ในโรงงานผลิตผักและผลไม้กระป๋องจะมีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูงถึง 86% และการใช้พลังงานไฟฟ้ามีเพียง 14% เนื่องจากอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตใช้พลังงานจากไอน้ำเป็นหลัก อุปกรณ์หลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูงได้แก่ หม้อฆ่าเชื้อ และตู้ไล่อากาศ เนื่องจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เป็นระยะเวลานาน อุปกรณ์หลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงได้แก่ เครื่องเติมอากาศบ่อบำบัดน้ำเสีย และเครื่องสูบน้ำ

ตารางที่ 5.2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในการะบวนการผลิตผักและผลไม้กระป๋อง

กระบวนการ/เครื่องจักรหลัก	พลังงานไฟฟ้า	พลังงานความร้อน
หม้อต้ม Cooker	-	11%
ตู้ไล่อากาศ	-	28 %
หม้อฆ่าเชื้อ	-	61 %
เครื่องสูบน้ำ	20-25 %	-
ระบบสายพานลำเลียง	4-8 %	-
เครื่องบรรจุกระป๋อง	3-6 %	-
หอผึ่งน้ำ	5-8 %	-
ระบบอากาศอัด	7-10 %	-
หม้อไอน้ำ	5-8 %	-
ระบบบำบัดน้ำเสีย	15-20 %	-
ระบบปรับอากาศ แสงสว่าง และอื่น ๆ	15-20%	-

5.2.1.2 การใช้พลังงนในกระบวนการผลิตปลากระป๋อง



หมายเหตุ * หมายถึง อุปกรณ์ในขั้นตอนกระบวนการผลิตที่มีการสูญเสียพลังงานความร้อนจากการผลิตและการใช้ไอน้ำ

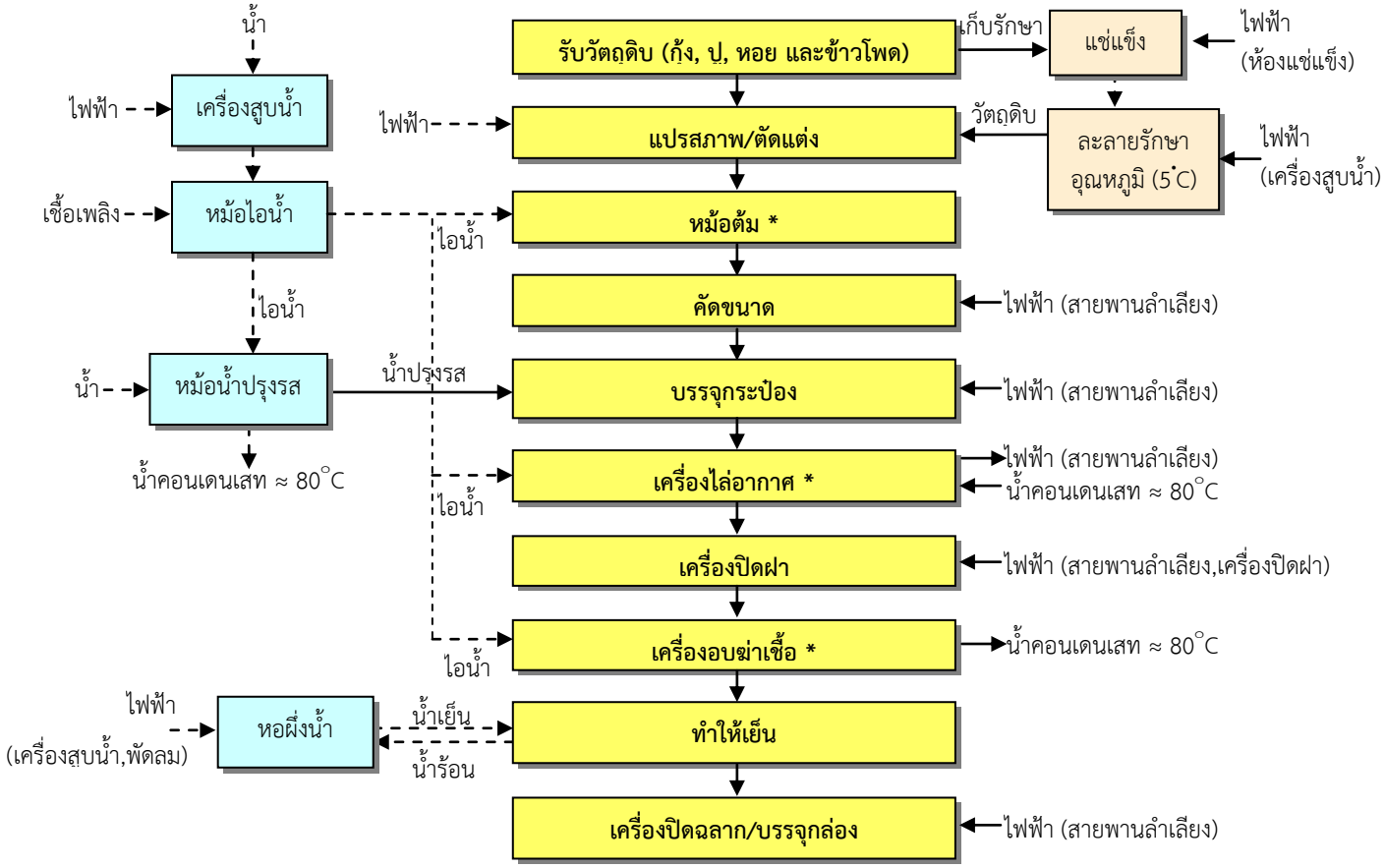
รูปที่ 5.4 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตปลากระป๋อง

โรงงานมีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูงถึง 95% และการใช้พลังงานไฟฟ้ามีเพียง 5% เนื่องจากอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต ใช้พลังงานจากไอน้ำเป็นหลัก โดยอุปกรณ์หลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูงได้แก่ หม้อฆ่าเชื้อ (Retort) และตู้ไล่อากาศเนื่องจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เป็นระยะเวลานาน อุปกรณ์หลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงได้แก่ ห้องเย็น หม้อไอน้ำและเครื่องสูบน้ำ

ตารางที่ 5.3 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในกระบวนการผลิตปลากระป๋อง

กระบวนการ/เครื่องจักรหลัก	พลังงานไฟฟ้า	พลังงานความร้อน
หม้อต้ม Cooker	-	16%
ตู้นึ่งปลา	-	8 %
หม้อน้ำปรุงรส		4 %
ตู้ไล่อากาศ	-	25 %
หม้อฆ่าเชื้อ	-	45 %
ระบบห้องเย็น	15-20 %	-
เครื่องสูบน้ำ	12-18 %	-
ระบบสายพานลำเลียง	4-8 %	-
เครื่องบรรจุกระป๋อง	3-6 %	-
หอผึ่งน้ำ	1-3 %	-
ระบบอากาศอัด	5-8 %	-
หม้อไอน้ำ	5-7 %	-
ระบบบำบัดน้ำเสีย	12-15 %	-
ระบบปรับอากาศ แสงสว่าง และอื่น ๆ	15-20%	-

5. 2.1.3 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารทะเลบรรจุกระป๋อง



หมายเหตุ * หมายถึง อุปกรณ์ในขั้นตอนกระบวนการผลิตที่มีการสูญเสียพลังงานความร้อนจากการผลิตและการใช้ไอน้ำ

รูปที่ 5.5 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารทะเลบรรจุกระป๋อง

โรงงานมีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูงถึง 73% และการใช้พลังงานไฟฟ้า 27% เนื่องจากอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต ใช้พลังงานจากไอน้ำเป็นหลัก โดยอุปกรณ์หลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูงได้แก่หม้อฆ่าเชื้อ และตู้ไล่อากาศเนื่องจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานาน อุปกรณ์หลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงได้แก่ ระบบทำความเย็นห้องเย็น

ตารางที่ 5.4 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง

กระบวนการ/เครื่องจักรหลัก	พลังงานไฟฟ้า	พลังงานความร้อน
หม้อต้ม,Cooker	-	6 %
หม้อนึ่ง	-	8 %
หม้อน้ำปรุงรส		5 %
ตู้ไล่อากาศ	-	28 %
หม้อฆ่าเชื้อ	-	53 %
ระบบห้องเย็น	68 %	-
กระบวนการผลิต	10-15 %	-
ระบบอากาศอัด	3-5 %	-
ระบบบำบัดน้ำเสีย	12-15 %	-
ระบบปรับอากาศ แสงสว่าง และอื่น ๆ	10-15%	-

5.2.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง

5.2.2.1 ภาพรวมของการใช้พลังงานและลักษณะการสูญเสียพลังงานของอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง

1) การใช้พลังงานความร้อน ในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋องโดยทั่วไปจะใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลัก โดยอุปกรณ์หลักที่ใช้ผลิตไอน้ำคือ หม้อไอน้ำ อุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตที่ใช้ไอน้ำได้แก่
   - **หม้อต้ม, หม้อนึ่ง, หม้อน้ำเชื่อมและหม้อปรุงรส** มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังหม้อและน้ำคอนเดนเสท

รูปที่ 5.6 แสดงการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อต้ม

- **เครื่องไล่อากาศ** มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางไอน้ำ

รูปที่ 5.7 แสดงการสูญเสียพลังงานความร้อนของเครื่องไล่อากาศ

- **หม้อฆ่าเชื้อ (Retort)** มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางน้ำคอนเดนเสทและความร้อนปล่อยทิ้ง

รูปที่ 5.8 แสดงการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อฆ่าเชื้อ (Retort)

2) การใช้พลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ได้แก่

- ระบบสายพานลำเลียงมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการ Slip ของสายพานและจากการหย่อนของสายพาน
- เครื่องสูบน้ำ มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ
- เครื่องอัดอากาศ มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการรั่วของอากาศอัดจากระบบอัดอากาศ
- เครื่องทำความเย็น มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากภาระการทำงานที่เพิ่มขึ้นของเครื่องคอมเพรสเซอร์
- หอผึ่งน้ำ มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น
- เครื่องปิดฉลาก

5.2.2.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง

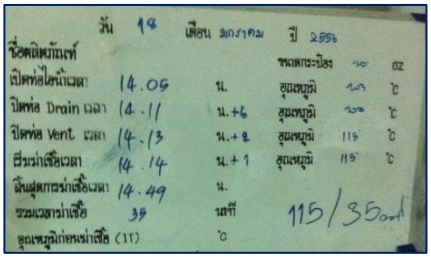
ตารางที่ 5.5 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
	1. กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ		
1.1	การเลือกใช้วัตถุดิบโดยพิจาณาเลือกซื้อจากแหล่งที่มีขนาด คุณภาพ ความสะอาด การปนเปื้อนต่างๆ เป็นไปตามมาตรฐานเพื่อลดปริมาณพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการความสะอาด/คัดเลือก/ตัดแต่ง		
1.2	มาตรการการจัดการวัตถุดิบในคลังให้เหมาะสมเพื่อช่วยลดปริมาณต้นทุนด้านพลังงานที่เกิดขึ้นจากการจัดเก็บลงไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ		
1.3	มาตรการด้านการปรับตั้งอุณหภูมิในห้องเก็บวัตถุดิบ Chilled room, Frozen room ให้เหมาะสมไม่ต่ำเกินไป		
1.4	ควรจัดให้มีวัตถุดิบเต็มสายพานลำเลียงอยู่เสมอเพื่อประหยัดเวลาและลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า, น้ำ (ขั้นตอนการล้างทำความสะอาด) ตัวอย่างการจัดเรียงวัตถุดิบในสายพานลำเลียง		
1.5	ปิดมอเตอร์ขับสายพานลำเลียงวัตถุดิบเมื่อไม่มีการใช้งาน		
1.7	แนวทางติดตั้งระบบควบคุมการทำงานโดยอัตโนมัติ เพื่อให้มีการลำเลียง (เดินสายพาน) เมื่อมีการผลิตและหยุดการลำเลียง เมื่อไม่มีการผลิต หรือการหยุดพักการผลิตชั่วขณะ และการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบสายพานลำเลียง ***หมายเหตุ*** *: แสดงกรณีตัวอย่างที่ประสบความเร็จใน กรณีศึกษาที่ 6.2*		
1.6	ตรวจสอบการใช้งานของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ เช่น หม้อต้ม หม้อนึ่ง Kettle ให้มีการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมกับโหลด (วัตถุดิบ)		
1.7	ขนาดของถังต้ม ถังนึ่งควรเหมาะสมโดยประเมินจากปริมาตรของน้ำและวัตถุดิบที่ต้องการต้มระยะของผิวน้ำกับท่อจ่ายไอน้ำควรลึกให้มากที่สุดเพื่อเท่าที่จะไม่มีผลเสีย เพื่อให้ไอน้ำมีเวลาในการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำได้นานที่สุด 		

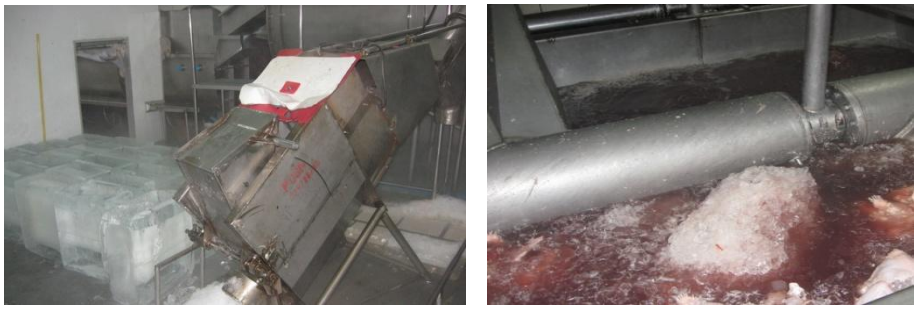
	ตัวอย่างถังต้มวัตถุดิบ		
ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
1. (ต่อ)		**ได้**	**ไม่ได้**
1.8	การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติแทนการปรับลิ้นไอน้ำด้วยมือ ***หมายเหตุ*** *: แสดงกรณีตัวอย่างที่ประสบความเร็จใน กรณีศึกษาที่ 6.12*		
1.9	ใช้ความดันของไอน้ำที่ใช้งานต่ำที่สุดเท่าที่ต้องการใช้งาน		
1.10	ตรวจสอบการปรับตั้งลิ้นไอน้ำ, ระดับแรงดันไอน้ำ, ของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ เช่น หม้อต้ม หม้อนึ่ง Kettle เป็นต้น ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมตลอดเวลา		
1.11	ตรวจสอบการทำงานของ Steam Trap อยู่เสมอ ควรติดตั้ง Steam trap ให้สามารถง่ายสอบตรวจสอบได้ ตัวอย่างการติดตั้ง Steam Trap ของ หม้อนึ่ง		
1.12	ตรวจสอบและทำความสะอาดท่อไอน้ำที่เจาะรูเล็กๆ ด้านล่างของถังต้ม (ให้ความร้อนโดยตรง) อยู่เสมอไม่ให้เกิดสิ่งอุดตันหรือความสกปรก		
1.13	ปิดฝาหม้อต้ม หม้อนึ่งขณะที่ไม่มีการใช้งานหรือตลอดเวลา ทั้งนี้ต้องไม่กระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์		
1.14	ลดการสูญเสียความร้อนทางด้านผนังหม้อต้ม หม้อนึ่ง โดยการติดตั้งฉนวน (ผ่านมาตรฐานความปลอดภัย) ตัวอย่างหม้อต้มที่มีการติดตั้งฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนแล้ว		
1.12	มาตรการการเลือกขนาด ประเภทของวัตถุดิบให้เหมาะสมกับขนาดของเครื่องบด, เครื่องปั่น, เครื่องผสมที่ใช้ในกระบวนการผลิต		
1.13	มาตรการการเลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์ที่ใช้อยู่ในเครื่องจักรสำหรับกระบวนการผลิต		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
	2. กระบวนการบรรจุกระป๋อง		
2.1	ลดช่องเปิดด้านเข้าและด้านออกของตู้ไล่อากาศให้น้อยที่สุด เพื่อลดการสูญเสียไอน้ำ ที่หนีออกไปกับช่องดังกล่าว โดยพิจารณาจากขนาดและจำนวนของกระป๋อง จะช่วยการลดการสูญเสียไอน้ำ ตัวอย่างตู้ไล่อากาศในกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง		
2.2	ตรวจสอบความดันไอน้ำ อุณหภูมิของตู้ไล่อากาศให้เหมาะสมกับปริมาณและชนิดของผลิตภัณฑ์		
2.3	ตรวจสอบระยะเวลาที่ใช้ในการไล่อากาศให้เหมาะสมกับปริมาณและชนิดของผลิตภัณฑ์		
2.4	การบรรจุน้ำปรุงรสหรือส่วนผสมที่ให้ความร้อนมาก่อนในระดับหนึ่งจะช่วยลดเวลาในการให้ความร้อนในการอบไล่อากาศของตู้ไล่อากาศ		
2.5	ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ เพื่อควบคุมปริมาณไอน้ำให้สอดคล้องกับอุณหภูมิน้ำที่ต้องการใช้งานแทนการปรับปริมาณไอน้ำด้วยมือ		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
	3. กระบวนการฆ่าเชื้อ		
3.1	การติดตั้งอุปกรณ์ไล่อากาศอัตโนมัติ		
3.2	การเลือกขนาดของหม้อฆ่าเชื้อให้เหมาะสมกับปริมาณผลิตภัณฑ์ ในการเริ่มต้นกระบวนการแต่ละครั้งจะมีการสูญเสียไอน้ำในหม้อฆ่าเชื้อจำนวนมาก การใช้หม้อฆ่าเชื้อที่มีขนาดไม่เหมาะสม เช่น เล็กเกินไป จะทำให้ต้องทำงานบ่อยครั้งมากขึ้น ซึ่งในแต่ละครั้งในการทำงานจะมีการสูญเสียดังกล่าว และในตอนท้ายของการทำงานจะมีการสูญเสียจากระบบหล่อเย็น ตัวอย่างตัวอย่างหม้อฆ่าเชื้อและการใช้งานที่เหมาะสม		
3.3	การพิจารณาหุ้มฉนวนหม้ออบฆ่าเชื้อ เพื่อช่วยลดการสูญเสียความร้อน และเป็นการรักษาความร้อนในหม้อฆ่าเชื้อ ให้อยู่ในจุดที่ต้องการ		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
	3.(ต่อ)	**ได้**	**ไม่ได้**
3.4	กำหนดเวลาและอุณหภูมิให้เหมาะสมกับขนาดของกระป๋อง ชนิดของส่วนผสม ซึ่งพบว่าแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์ แต่ละขนาดของกระป๋อง ต้องการอุณหภูมิและเวลาในการนึ่งฆ่าเชื้อที่ไม่เท่ากัน การเลือกใช้เวลาและอุณหภูมิให้เหมาะสมนั้นทำให้เกิดการประหยัดเวลา ประหยัดพลังงานในการฆ่าเชื้อ และยังทำให้คุณภาพของอาหารกระป๋องที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด  ตารางควบคุมเวลาในกระบวนการฆ่าเชื้อ		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	**ไม่ได้**
	4. ระบบน้ำใช้		
4.1	จัดการระบบจ่ายน้ำให้มีแรงดันพอสมควรไม่สูงเกินไป ซึ่งจะเป็นการลดภาระการทำงานของปั๊มน้ำลงได้		
4.2	ติดตั้งมิเตอร์วัดน้ำในจุดสำคัญที่ใช้น้ำมากๆ เพื่อควบคุมปริมาณการใช้น้ำให้คงที่ หรือลดลงในแต่ละวันโดยอาจเปรียบเทียบกับปริมาณวัตถุดิบ หรือผลิตภัณฑ์ และการใช้พลังงานอื่นๆ		
4.3	ตรวจตราให้ระบบลดความกระด้างของน้ำที่จะนำไปใช้ในระบบไอน้ำ หรือระบบระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา เพื่อป้องกันการเกิดตะกรันในพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของหม้อไอน้ำหรือระบบระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น		
4.4	กรณีที่ใช้น้ำเย็นในกระบวนการผลิตแหล่งน้ำที่นำมาใช้จะต้องลดอุณหภูมิลงให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ (อย่างน้อยเท่ากับอุณหภูมิของอากาศ) เพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นโดย - เก็บน้ำไว้ในบ่อเปิด (Open reservoir) เพื่อให้ลดอุณหภูมิ - ใช้ระบบหอผึ่งน้ำ (Cooling tower) เพื่อลดอุณหภูมิเบื้องต้น - ใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้ประโยชน์จากน้ำเย็นที่ทิ้งไป ภาพแสดงชุดแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น (Plat heat exchanger) ภาพแสดงชุดแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อ (Shell and tube heat exchanger) ***หมายเหตุ*** *: แสดงกรณีตัวอย่างที่ประสบความเร็จใน กรณีศึกษาที่ 6.1,6.8 และ 6.13*		

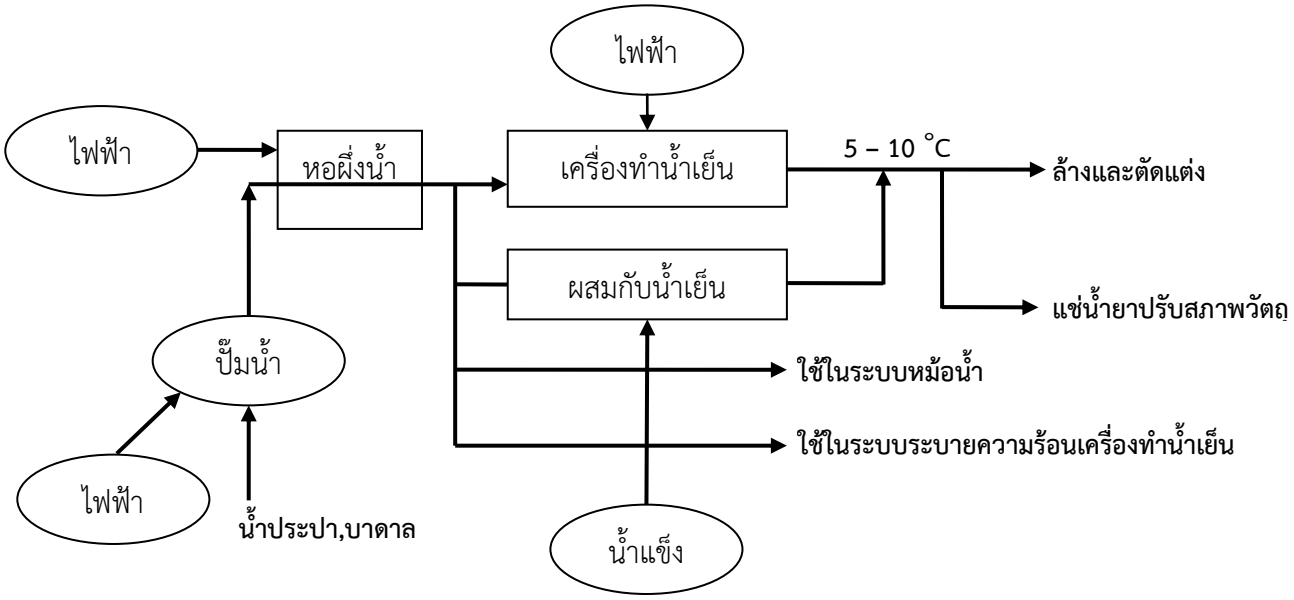
ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
	4.(ต่อ)	**ได้**	**ไม่ได้**
4.5	การใช้อุปกรณ์ในการล้างทำความสะอาดและแรงดันน้ำที่ถูกต้อง จะทำให้การใช้น้ำในการล้างทำความสะอาดลดปริมาณลง เช่น สายยางพร้อมหัวฉีดปรับได้, ปั๊มแรงดันสูงใช้เฉพาะงาน เป็นต้น ***หมายเหตุ*** *: แสดงกรณีตัวอย่างที่ประสบความเร็จใน กรณีศึกษาที่ 6.14*		
4.6	มาตรการลดน้ำใช้ให้มีการใช้อย่างประหยัดจะมีผลทำให้ลดค่าใช่จ่ายค่าน้ำ ลดการทำงานของปั๊มและลดการใช้งานของระบบบำบัดน้ำเสียลง		
4.7	เลือกประเภทน้ำแข็งให้เหมาะกับการใช้งานโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมห้องเย็นแช่แข็งปลาและเก็บอาหารทะเล ดังนี้ - น้ำแข็งก้อน ขนาดประมาณ 3 – 5 ซม. เหมาะสำหรับใช้ควบคุมอุณหภูมิของน้ำเย็นโดยใส่ในน้ำที่เย็นแล้วให้ลอยอยู่บนผิวน้ำ - น้ำแข็งป่นหรือน้ำแข็งเกล็ด ขนาดไม่ใหญ่กว่า 1 ซม. ใช้สำหรับละลายน้ำให้เย็นลงโดยเร็ว  ภาพแสดงการใช้น้ำแข็งในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ		
4.8	มาตรการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสีย และการควบคุมและลดการใช้พลังงานของระบบบำบัดน้ำเสียให้เหมาะสม ***หมายเหตุ*** *: แสดงกรณีตัวอย่างที่ประสบความเร็จใน กรณีศึกษาที่ 6.28*		

5.3 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมห้องเย็น

5.3.1 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมห้องเย็น

การตรวจสอบลักษณะการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมนี้ เราสามารถตรวจสอบตามขั้นตอนกระบวนการผลิต และอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนดังนี้

5.3.1.1 การใช้พลังงานในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ



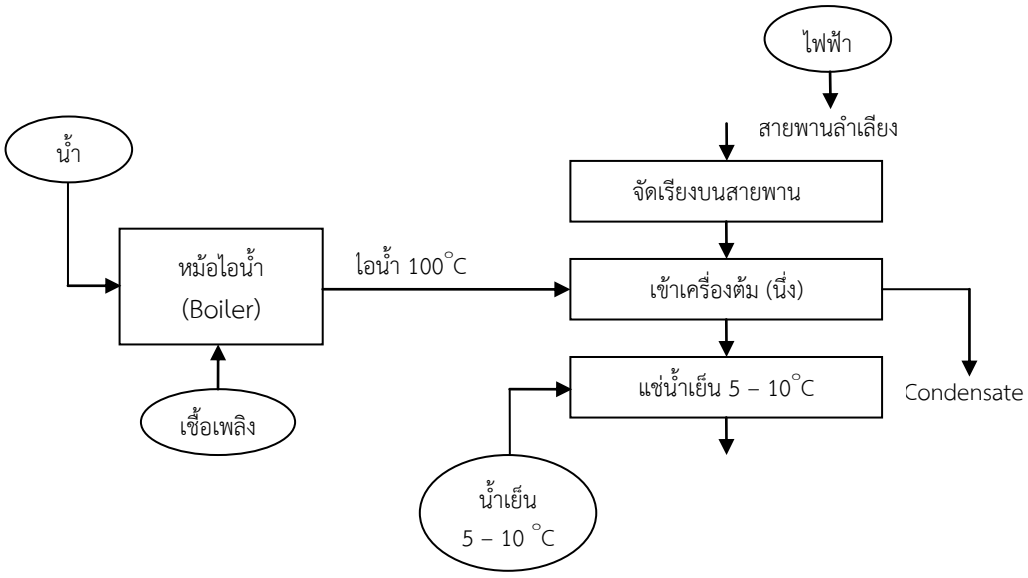
รูปที่ 5.9 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

ในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบจะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักในอุปกรณ์ ได้แก่ ปั๊มน้ำ หอผึ่งน้ำ (ในกรณีที่น้ำจากแหล่งน้ำบาดาลมีความร้อนสูง) และเครื่องทำน้ำเย็น

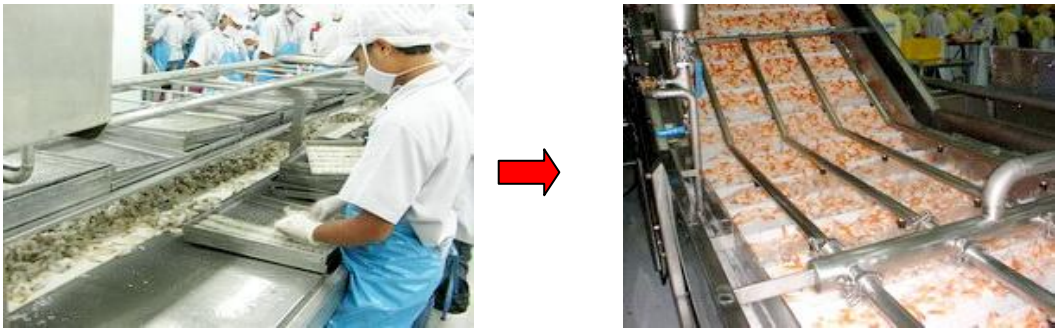
นอกจากนี้ยังมีการใช้ น้ำแข็ง เนื่องจากในกระบวนการล้าง ตัดแต่ง และแช่ในสารปรับสภาพต้องการใช้น้ำเย็น อุณหภูมิ 5-10°C เป็นจำนวนมาก การจัดการเรื่องน้ำและการลดอุณหภูมิของน้ำจึงเป็นการใช้พลังงานสูงสำหรับขั้นตอนนี้ มีการสูญเสียพลังงานและน้ำเป็นจำนวนมากจากน้ำเย็นหลังจากใช้ล้าง แช่สารแปรสภาพแล้ว ยังมีความเย็นอยู่ (ประมาณ 10°C) จะถูกทิ้งไปโดยไม่นำมาใช้ประโยชน์อีก และ การใช้น้ำเพื่อการชำระล้างบริเวณตลอดจนเครื่องมือและภาชนะต่างๆ

5.3.1.2 การใช้พลังงานในกระบวนการทำให้สุก นึ่ง ต้ม

กระบวนการทำให้สุก นึ่ง ต้มจะใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลักจาก Boiler โดยจะใช้ไอน้ำที่แรงดันต่ำ และเป็นไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam) การใช้ไอน้ำมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของผลิตภัณฑ์ และการตั้งเวลาที่ทำให้สุกอย่างถูกต้อง พลังงานอื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการนี้ได้แก่ ปั๊มน้ำเข้า Boiler และน้ำเย็นสำหรับแช่ผลิตภัณฑ์หลังจากทำให้สุกแล้ว เพื่อลดอุณหภูมิก่อนเข้ากระบวนการแช่แข็งในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 5.10 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการต้มและนึ่งให้สุก

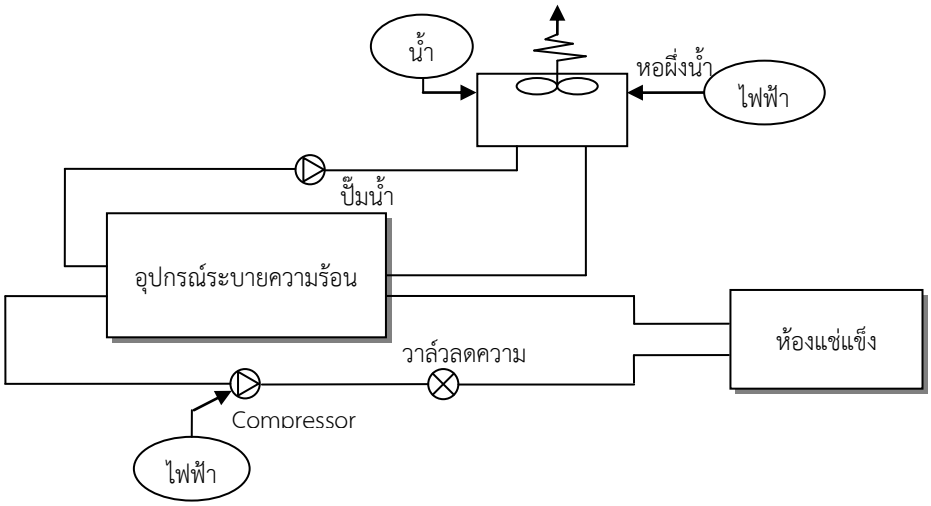


รูปที่ 5.11 แสดงกระบวนการต้มและนึ่งให้สุก

5.3.1.3 การใช้พลังงานในกระบวนการแช่แข็ง

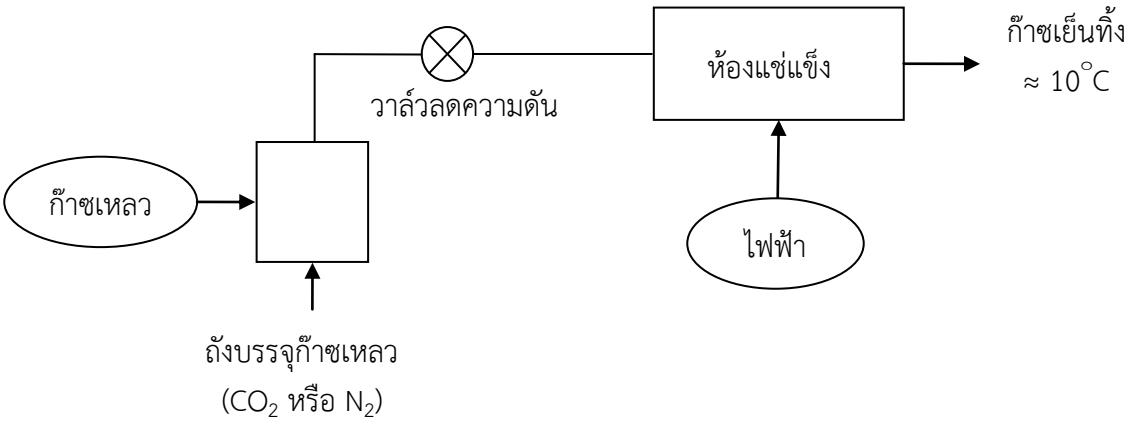
1) กระบวนแช่แข็งแบบใช้สารทำความเย็น

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการแช่แข็งแบบใช้สารทำความเย็นทั้งหมดเป็นพลังงานไฟฟ้า และเป็นขั้นตอนที่ใช้พลังงานมากที่สุดในทุกกระบวนการผลิต เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิลดต่ำลงจนถึง –18°C (หรือต่ำกว่านี้ตามความต้องการของลูกค้า)



รูปที่ 5.12 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการแช่แข็งแบบใช้สารทำความเย็น

2) กระบวนแช่แข็งแบบใช้สารทำความเย็น



รูปที่ 5.13 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการแช่แข็ง Cryogenic

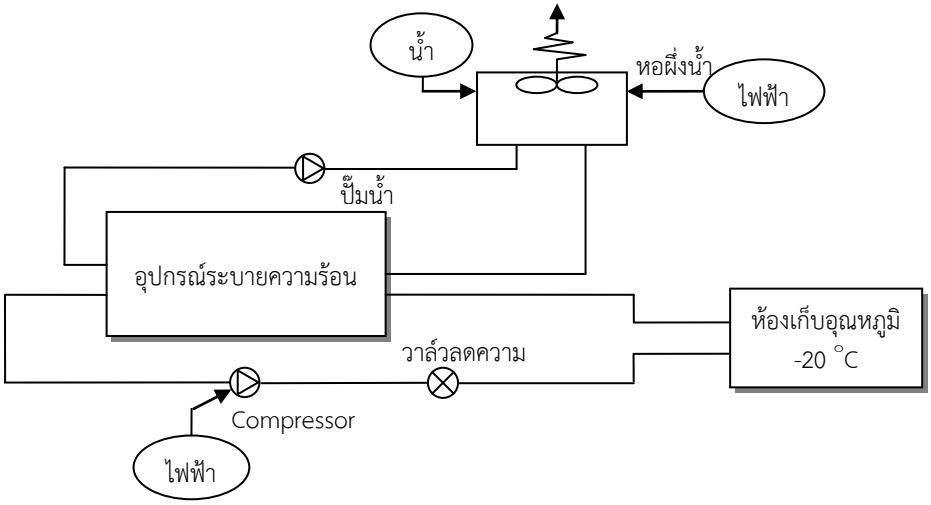
พลังงานที่ใช้ในกระบวนการแช่แข็ง Cryogenic ต้องรวมการใช้ก๊าซเหลวนับเป็นการใช้พลังงานด้วยเช่นเดียวกัน นอกจากนั้นแล้วยังมีการใช้พลังงานเล็กน้อยในระบบสายพาน และพัดลมหมุนเวียนอีกด้วย

เปรียบเทียบการใช้ระบบแช่แข็งแบบสารทำความเย็น (Refrigeration) และแบบก๊าซเหลว (Cryogenic)

- การลงทุนเครื่องจักรระบบ Refrigeration มีต้นทุนสูงกว่า
- ระบบ Refrigeration จุดคุ้มทุน ใช้ระยะเวลานาน (ประมาณ 3-5 ปี)
- ราคาค่าเดินเครื่องและค่าพลังงานระบบ Cryogenic สูงกว่ามาก
- ถ้าผลิตภัณฑ์มีลักษณะคงที่แน่นอน และระยะเวลาการผลิตต่อเนื่อง ใช้ระบบ Refrigeration จะเหมาะสมกว่า
- ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์อยู่บ่อยๆ การผลิตไม่ต่อเนื่อง การใช้ระบบ Cryogenic จะสามารถยืดหยุ่นได้มากกว่า

5.3.1.4 การใช้พลังงานในกระบวนการเก็บในห้องเย็น

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการเก็บในห้องเย็นทั้งหมดเป็นพลังงานไฟฟ้า ถึงแม้จะไม่สูงกว่ากระบวนการแช่แข็ง แต่เป็นการใช้งานอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง จึงควรจะมีการตรวจสอบการใช้พลังงานอย่างใกล้ชิด



รูปที่ 5.14 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการเก็บในห้องเย็น

สำหรับอุตสาหกรรมห้องเย็น เช่น โรงงานปลาทะเลแช่แข็ง โดยนำปลาจากเรือประมงมาทำความสะอาด คัดแยก นำเข้าแช่แข็ง แล้วนำเข้าเก็บในห้องเย็น โดยการใช้ระบบทำความเย็นแบบใช้สารทำความเย็นอย่างเดียว พลังงานที่ใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด โดยสามารถแยกตามระบบการใช้งานได้ดังนี้

ตารางที่ 5.6 สัดส่วนการใช้พลังงานในกระบวนการอุตสาหกรรมแช่แข็งปลาทะเล

กระบวนการ/เครื่องจักรหลัก	พลังงานไฟฟ้า
ระบบห้องแช่แข็ง	65 %
ระบบห้องเก็บ	25 %
ระบบระบายความร้อนเครื่องทำความเย็น	5 %
ระบบปรับอากาศ แสงสว่าง และอื่น ๆ	5%

ค่าใช้จ่ายอื่นๆ นอกเหนือจากพลังงานไฟฟ้าประมาณ 97% จะเป็นค่าใช้จ่ายด้านน้ำประปา 3% จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับห้องแช่แข็งมีสัดส่วนสูงมาก จึงควรจะได้รับการดูแลให้มีประสิทธิภาพสูงอยู่เสมอ เช่นเดียวกันกับกระบวนการเก็บในห้องเย็นซึ่งส่วนใหญ่จะทำงานอยู่ตลอด 24 ชั่วโมง จึงควรมีมาตรการประหยัดพลังงานด้วย โดยสรุปธุรกิจแช่แข็งและเก็บอาหารทะเลนี้การใช้พลังงานระบบทำความเย็นมีสูงกว่า 90% ดังนั้นจึงควรจะต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษซึ่งเริ่มต้นตั้งแต่การออกแบบ เลือกอุปกรณ์การเดินเครื่องและการบำรุงรักษา

สำหรับโรงงานอีกประเภทหนึ่ง ได้แก่ โรงงานแช่แข็งผลิตภัณฑ์กุ้งพร้อมแปรรูป โดยทำให้สุกเป็นบางส่วน โดยโรงงานประเภทนี้บางส่วนของกระบวนการแช่แข็งจะใช้แบบ Cryogenic โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลว ในกระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์ และการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลงหลังจากต้มสุก พลังงานไฟฟ้าประมาณ 35-55% พลังงานจากก๊าซเหลว 5-10% น้ำแข็ง 15-20% เชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการต้มสุก 15%

ตารางที่ 5.7 สัดส่วนการใช้พลังงานในกระบวนการอุตสาหกรรมแช่แข็งผลิตภัณฑ์กุ้งพร้อมแปรรูป

กระบวนการ/สัดส่วนการใช้พลังงาน	ประเภทพลังงาน
พลังงานไฟฟ้าสำหรับห้องเย็น	35-55 %
พลังงานจากก๊าซเหลว	5-10 %
น้ำแข็ง	15-20 %
ความร้อนในการต้มสุก	15 %

5.3.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมห้องเย็น

5.3.2.1 ภาพรวมของการใช้พลังงานและลักษณะการสูญเสียพลังงานของอุตสาหกรรมห้องเย็น

1) การใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมห้องเย็น เป็นการใช้ความร้อนจากไอน้ำในกระบวนการผลิตทำให้สุกโดยอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ คือ หม้อไอน้ำ (Boiler) และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต ได้แก่
   - เครื่องต้ม มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังหม้อต้ม และน้ำคอนเดนเสท
   - เครื่องนึ่ง มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังหม้อนึ่ง และน้ำคอนเดนเสท

2) การใช้พลังงานไฟฟ้าจะเป็นพลังงานหลักของอุตสาหกรรมห้องเย็น ประกอบด้วยอุปกรณ์
   - เครื่องทำความเย็น มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (COP) ที่ต่ำของระบบทำความเย็น การสูญเสียพลังงานจากการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณแวดล้อมเข้าสู่บริเวณทำความเย็น (Condensing Unit) ซึ่งเป็นผลทำให้ภาระการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้น
   - เครื่องสูบน้ำ มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ
   - หอผึ่งน้ำมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น

5.3.2.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมห้องเย็น

ตารางที่ 5.8 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารอุตสาหกรรมห้องเย็น

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
	กระบวนการแช่แข็ง/แช่เย็น		
1.1	การใช้ฉนวนบุห้องเย็นมีความเหมาะสมทั้งนี้ต้องมีความหนาเพียงพอที่จะช่วยลดการสูญเสียความเย็น ผนังทุกด้านของห้องเย็นต้องมีฉนวนที่หนาอย่างเพียงพอต่อการลดการสูญเสียความเย็นของห้องเย็น ภาพแสดงผนังภายในห้องเย็น		
1.2	หลังคาต้องมีแผ่นสะท้อนกันความร้อน (โดยทั่วไปจะเป็น Aluminum foil) บุด้านนอกห้องอีก 1 ชั้น ภายในห้องจะต้องปิดมิดชิด เพื่อกันอากาศร้อน และความชื้นภายนอก		
1.3	ออกแบบให้แนวทางลำเลียงวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องตามกระบวนการผลิต และอยู่ในบริเวณที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้		
1.4	การเลือกซื้ออุปกรณ์และการออกแบบระบบทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพ แสดงภาพเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนอากาศ แสดงภาพเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ***หมายเหตุ*** *: แสดงกรณีตัวอย่างที่ประสบความเร็จใน กรณีศึกษาที่ 6.7 และ 6.10*		
1.5	มาตรการบริหารจัดการเพื่อลดการจ่ายค่าไฟฟ้า โดยใช้วิธีลดอุณหภูมิให้ต่ำลงจากเดิมในแวลากลางคืน เพื่อให้มวลของห้องและมวลของผลิตภัณฑ์สามารถเก็บความเย็นไว้ในช่วงกลางคืน และจะค่อยๆ ระบายออกมาในช่วงกลางวัน ทำให้การทำงานของคอมเพรสเซอร์ในเวลากลางวันลดลง ซึ่ง		

	ทำให้ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ส่วนหนึ่ง		
ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	**ไม่ได้**
1.6	ควรตรวจสอบอุณหภูมิแช่แข็งที่กึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ (Core temperature) ให้เท่ากับ –18°C จะเป็นส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานได้มากการที่ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในห้องแช่แข็งนานเกินความจำเป็น จะเป็นผลให้การใช้พลังงานสูงกว่าปกติ ภาพแสดงห้องเย็นที่ต้องการอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (Core temperature) ให้เท่ากับ –18°C		
1.7	บริเวณหน้าห้องแช่แข็งและห้องเก็บควรจะมีห้องกักบริเวณทางเข้า (Anti-Room) โดยต้องออกแบบให้ลดความชื้น ทางเข้าห้องเย็นควรมีห้องกักบริเวณทางเข้า (Anti-Room) เพื่อความสะอาดและปลอดภัย (GMP) และผลทางด้านความชื้น และการอนุรักษ์พลังงาน ภาพแสดงทางเข้าของห้องเย็น		
1.8	บริเวณโดยทั่วไปจะต้องทำให้แห้งอยู่เสมอ เพื่อลดภาระของเครื่องทำความเย็น เนื่องจากความชื้นของบริเวณ พื้นห้องเย็นควรอยู่ในสภาพแห้งอยู่เสมอ		

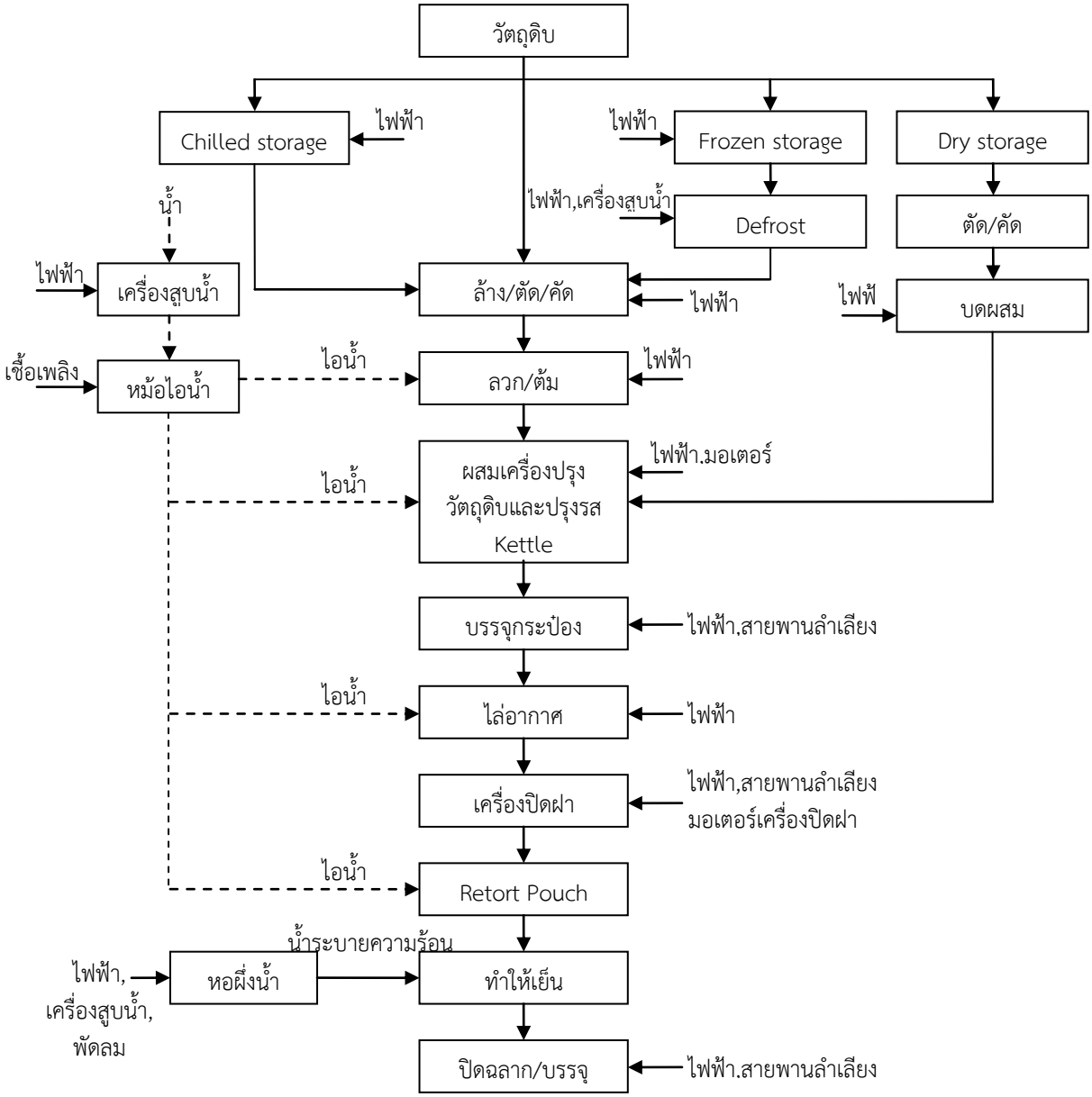
	ภาพแสดงสภาพภายในห้องเย็น		
ลำดับ	**แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน**	**การดำเนินการ**	
		ได้	**ไม่ได้**
1.9	การระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพของ คอนเดนเซอร์ ของเครื่องทำความเย็นมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็น ภาพแสดงชุดคอนเดนเซอร์ของเครื่องทำความเย็นที่มีการระบายความร้อนที่ดี ภาพแสดงหอผึ่งน้ำที่ระบายความชุดคอนเดนเซอร์ของเครื่องทำความเย็นโดยมีการติดตั้งชุด Heat recovery ด้วย ที่มา: www.patkol.com ***หมายเหตุ*** *: แสดงกรณีตัวอย่างที่ประสบความเร็จใน กรณีศึกษาที่ 6.7*		

5.4 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารพร้อมปรุงสำเร็จรูป

5.4.1 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุงสำเร็จรูป

การตรวจสอบลักษณะการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมนี้ เราสามารถตรวจสอบตามขั้นตอนกระบวนการผลิต และอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนดังนี้

5.4.1.2 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารพร้อมปรุงสำเร็จรูป (แกงกะทิ)



รูปที่ 5.15 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารพร้อมปรุงสำเร็จรูป (แกงกะทิ)

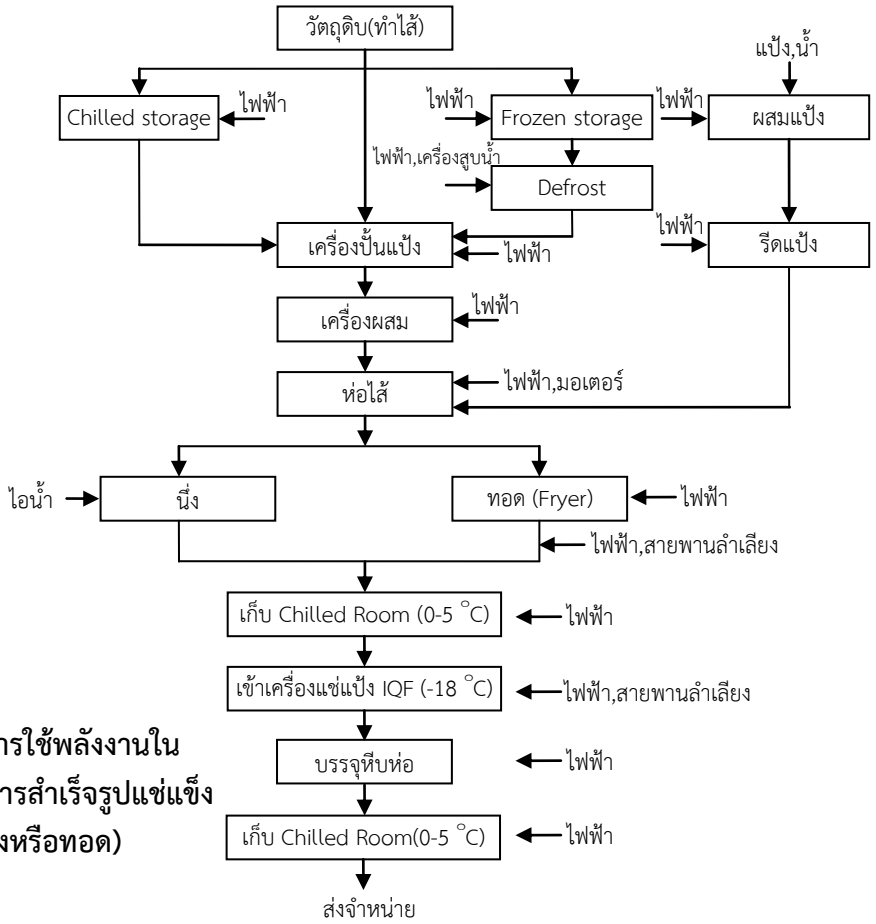
ภาพรวมของการใช้พลังงานและลักษณะการสูญเสียพลังงานของอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุงสำเร็จรูป (แกงกะทิ) จะพบว่ามีรูปแบบคล้ายกับอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง แตกต่างกันเพียงรายละเอียดในขั้นตอนการแปรรูปวัตถุดิบเป็นอาหารสำเร็จรูป

1) การใช้พลังงานความร้อน ในกระบวนการผลิตทั่วไปจะใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลัก โดยอุปกรณ์หลักที่ใช้ผลิตไอน้ำคือ หม้อไอน้ำ อุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตที่ใช้ไอน้ำได้แก่
   - หม้อต้ม มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังหม้อต้ม และน้ำคอนเดนเสท

- เครื่อง Kettle มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังหม้อและน้ำคอนเดนเสท
- หม้อฆ่าเชื้อ (Retort) มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางน้ำคอนเดนเสท
- เครื่องไล่อากาศ มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางไอน้ำ

2) การใช้พลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ได้แก่
- ระบบสายพานลำเลียงมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการ Slip ของสายพานและจากการหย่อนของสายพาน
- เครื่องสูบน้ำ มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ
- เครื่องอัดอากาศ มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการรั่วของอากาศอัดจากระบบอัดอากาศ
- เครื่องทำความเย็น มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากภาระการทำงานที่เพิ่มขึ้นของเครื่องคอมเพรสเซอร์
- หอผึ่งน้ำ มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น
- เครื่องปิดฉลาก

5.4.1.2 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารพร้อมปรุงสำเร็จรูปแช่แข็ง (อาหารว่างนึ่งหรือทอด



รูปที่ 5.16 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง (อาหารว่างนึ่งหรือทอด)

ภาพรวมของการใช้พลังงานและลักษณะการสูญเสียพลังงานของกระบวนการผลิตอาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง (อาหารว่างนึ่งหรือทอด) จะมีกระบวนการผลิตคล้ายกับอุตสาหกรรมห้องเย็นที่เป็นผลิตภัณฑ์สุก แตกต่างกันเพียงรายละเอียดในขั้นตอนการแปรรูปวัตถุดิบ

1. การใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการ เป็นการใช้ความร้อนจากไอน้ำในกระบวนการผลิตทำให้สุกโดยอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ คือ หม้อไอน้ำ (Boiler) และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต ได้แก่
   - เครื่องนึ่ง มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังหม้อนึ่ง และน้ำคอนเดนเสท
2. การใช้พลังงานไฟฟ้าจะเป็นพลังงานหลักของอุตสาหกรรมห้องเย็น ประกอบด้วยอุปกรณ์
   - เครื่องทำความเย็น มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (COP) ที่ต่ำของระบบทำความเย็น การสูญเสียพลังงานจากการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณแวดล้อมเข้าสู่บริเวณทำความเย็น (Condensing Unit) ซึ่งเป็นผลทำให้ภาระการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้น
   - เครื่องสูบน้ำ มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ
   - หอผึ่งน้ำ มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น
   - การใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนกระบวนการผลิตอาหารได้แก่ เครื่องทอด (Fryer) เครื่องผสมแป้งเครื่องรีดแป้ง เครื่องปั่นแห้ง และเครื่องอบแห้ง เป็นต้น
   - ระบบสายพานลำเลียงมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการ Slip ของสายพานและจากการหย่อนของสายพาน

5.4.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารพร้อมปรุงสำเร็จรูป

ตารางที่ 5.9 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุงสำเร็จรูป

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
	1. กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ		
1.1	การเลือกใช้วัตถุดิบโดยพิจาณาเลือกซื้อจากแหล่งที่มีขนาด คุณภาพ ความสะอาด การปนเปื้อนต่างๆ เป็นไปตามมาตรฐานเพื่อลดปริมาณพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการความสะอาด/คัดเลือก/ตัดแต่ง โดยเฉพาะการใช้น้ำ ภาพแสดงการเตรียมวัตถุดิบ โดยกระบวนการล้างเป็นกระบวนการที่ใช้น้ำมากที่สุด		
1.2	มาตรการการจัดการวัตถุดิบในคลังให้เหมาะสมเพื่อช่วยลดปริมาณต้นทุนด้านพลังงานที่เกิดขึ้นจากการจัดเก็บลงไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ		
1.3	มาตรการด้านการปรับตั้งอุณหภูมิในห้องเก็บวัตถุดิบ Chilled room, Frozen room ให้เหมาะสมไม่ต่ำเกินไป		
1.4	ควรจัดให้มีวัตถุดิบเต็มสายพานลำเลียงอยู่เสมอเพื่อประหยัดเวลาและลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า, น้ำ (ขั้นตอนการล้างทำความสะอาด)		
1.5	ปิดมอเตอร์ขับสายพานลำเลียงวัตถุดิบเมื่อไม่มีการใช้งาน		
1.7	แนวทางติดตั้งระบบควบคุมการทำงานโดยอัตโนมัติ เพื่อให้มีการลำเลียง (เดินสายพาน) เมื่อมีการผลิตและหยุดการลำเลียง เมื่อไม่มีการผลิต หรือการหยุดพักการผลิตชั่วขณะ		
1.6	ตรวจสอบการใช้งานของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ เช่น หม้อต้ม หม้อนึ่ง Kettle ให้มีการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมกับโหลด (วัตถุดิบ)		
1.7	ขนาดของถังต้ม ถังนึ่งควรเหมาะสมโดยประเมินจากปริมาตรของน้ำและวัตถุดิบที่ต้องการต้มระยะของผิวน้ำกับท่อจ่ายไอน้ำควรลึกให้มากที่สุดเพื่อเท่าที่จะไม่มีผลเสีย เพื่อให้ไอน้ำมีเวลาในการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำได้นานที่สุด		
1.8	การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติแทนการปรับลิ้นไอน้ำด้วยมือ		
1.9	ใช้ความดันของไอน้ำที่ใช้งานต่ำที่สุดเท่าที่ต้องการใช้งาน		
1.10	ตรวจสอบการปรับตั้งลิ้นไอน้ำ, ระดับแรงดันไอน้ำ, ของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ เช่น หม้อต้ม หม้อนึ่ง Kettle เป็นต้น ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมตลอดเวลา		
1.11	ตรวจสอบการทำงานของ Steam Trap อยู่เสมอ		
1.12	ตรวจสอบและทำความสะอาดท่อไอน้ำที่เจาะรูเล็กๆ ด้านล่างของถังต้ม (ให้ความร้อนโดยตรง) อยู่เสมอไม่ให้เกิดสิ่งอุดตันหรือความสกปรก		
1.13	ปิดฝาหม้อต้ม หม้อนึ่งขณะที่ไม่มีการใช้งานหรือตลอดเวลา ทั้งนี้ต้องไม่กระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
1.14	ลดการสูญเสียความร้อนทางด้านผนังหม้อต้ม หม้อนึ่ง โดยการติดตั้งฉนวน (ผ่านมาตรฐานความปลอดภัย)		
1.15	มาตรการการเลือกขนาด ประเภทของวัตถุดิบให้เหมาะสมกับขนาดของเครื่องบด, เครื่องปั่น, เครื่องผสมที่ใช้ในกระบวนการผลิต		
1.16	มาตรการการเลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์ที่ใช้อยู่ในเครื่องจักรสำหรับกระบวนการผลิต		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
	2. **ระบบน้ำใช้**		
2.1	จัดการระบบจ่ายน้ำให้มีแรงดันพอสมควรไม่สูงเกินไป ซึ่งจะเป็นการลดภาระการทำงานของปั๊มน้ำลงได้		
2.2	ติดตั้งมิเตอร์วัดน้ำในจุดสำคัญที่ใช้น้ำมากๆ เพื่อควบคุมปริมาณการใช้น้ำให้คงที่ หรือลดลงในแต่ละวันโดยอาจเปรียบเทียบกับปริมาณวัตถุดิบ หรือผลิตภัณฑ์ และการใช้พลังงานอื่นๆ		
2.3	ตรวจตราให้ระบบลดความกระด้างของน้ำที่จะนำไปใช้ในระบบไอน้ำ หรือระบบระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา เพื่อป้องกันการเกิดตะกรันในพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของหม้อไอน้ำหรือระบบระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น		
2.4	กรณีที่ใช้น้ำเย็นในกระบวนการผลิตแหล่งน้ำที่นำมาใช้จะต้องลดอุณหภูมิลงให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ (อย่างน้อยเท่ากับอุณหภูมิของอากาศ) เพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นโดย - เก็บน้ำไว้ในบ่อเปิด (Open reservoir) เพื่อให้ลดอุณหภูมิ - ใช้ระบบหอผึ่งน้ำ (Cooling tower) เพื่อลดอุณหภูมิเบื้องต้น - ใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้ประโยชน์จากน้ำเย็นที่ทิ้งไป		
2.5	การใช้อุปกรณ์ในการล้างทำความสะอาดและแรงดันน้ำที่ถูกต้อง จะทำให้การใช้น้ำในการล้างทำความสะอาดลดปริมาณลง เช่น สายยางพร้อมหัวฉีดปรับได้, ปั๊มแรงดันสูงใช้เฉพาะงาน เป็นต้น		
2.6	มาตรการลดน้ำใช้ให้มีการใช้อย่างประหยัดจะมีผลทำให้ลดค่าใช่จ่ายค่าน้ำ ลดการทำงานของปั๊มและลดการใช้งานของระบบบำบัดน้ำเสียลง ภาพแสดงปั๊มเติมอากาศในระบบบำบัดน้ำเสีย พิจารณาเดินปั๊มเติมอากาศให้เหมาะสมและสัมพันธ์กับปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแต่ละช่วงเวลา		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
	3. กระบวนการอบแห้ง		
3.1	ลดการใช้เชื้อเพลิงในการ Preheat Gas		
3.2	การปรับปรุงฉนวนข้างเครื่องอบแห้ง และการหุ้มฉนวนป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อน ภาพแสดงการตรวจวัดความร้อนสูญเสียจากผนังเตาอบ		
3.3	ลดเวลาการใช้งานเครื่องอบแห้ง		
3.4	การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิให้เหมาะสม		
3.5	การเลือกใช้วิธีการให้ความร้อนและตัวกลางที่เหมาะสม ***หมายเหตุ*** *: แสดงกรณีตัวอย่างที่ประสบความเร็จใน กรณีศึกษาที่ 6.3*		
3.6	การควบคุมภาระงานให้มีความเหมาะสม สามารถลดการใช้พลังงานลงได้อย่างมีนัยสำคัญ		
3.7	การปรับปรุงทิศทางการไหลของอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง		
3.8	การใช้พลังงานความร้อนส่วนเกินจากกระบวนการอุ่น ๆ นำกลับมาใช้ใหม่ในการอบแห้งโดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ภาพแสดงการตรวจวัดความร้อนสูญเสียจากปล่องของเตาอบ		

5.5 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบสนับสนุน

ตารางที่ 5.10 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบสนับสนุน

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
	1. ระบบไอน้ำ		
1.1	นำน้ำคอนเดนเสทกลับมาเป็นน้ำป้อน		
1.2	นำน้ำคอนเดนเสทกลับมาอุ่นน้ำป้อน		
1.3	นำน้ำคอนเดนเสทกลับมาอุ่นอากาศป้อน		
1.4	นำน้ำคอนเดนเสทไปใช้เป็นน้ำร้อนสำหรับงานอื่น		
1.5	นำน้ำโบลดาวน์กลับมาใช้งาน		
1.6	นำความร้อนทิ้งในไอเสียกลับมาอุ่นน้ำป้อน		
1.7	นำความร้อนทิ้งในไอเสียกลับมาอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อลดการฮีตเตอร์ไฟฟ้า		
1.8	นำความร้อนทิ้งในไอเสียกลับมาอุ่นอากาศป้อน		
1.9	นำความร้อนทิ้งจากแหล่งอื่นมาอุ่นน้ำป้อน		
1.10	นำความร้อนทิ้งจากแหล่งอื่นมาอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อลดการใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า		
1.11	นำความร้อนจากแสงอาทิตย์มาอุ่นน้ำป้อน เช่น สร้างถังน้ำป้อนโลหะวางไว้กลางแจ้ง		
1.12	ปรับสัดส่วนอากาศ-เชื้อเพลิงเพื่อให้ % O2 ในไอเสียไม่เกิน 3-4%		
1.13	ปรับลดปริมาณเชื้อเพลิงถ้าควันไอเสียมีสีดำ		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
	2. ระบบทำน้ำเย็น		
	เครื่องทำน้ำเย็นและระบบ		
2.1	การปรับอุณหภูมิน้ำเย็นให้สูงขึ้น		
2.2	การลดอุณหภูมิระบายความร้อนก่อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น		
2.3	การปรับอัตราการไหลน้ำเย็นเข้าเครื่องทำน้ำเย็นให้ได้ตามพิกัด		
2.4	การปรับอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนให้ได้ตามพิกัด		
2.5	การปรับภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นให้อยู่ 80-90%		
2.6	การทำความสะอาดคอนเดนเซอร์อย่างสม่ำเสมอ		
2.7	การจัดการใช้เครื่องทำน้ำเย็นชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก		
2.8	การเพิ่มอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศให้สูงขึ้น		
2.9	การจัดการใช้เครื่องทำน้ำเย็นในจำนวนที่เหมาะสมกับภาระ		
2.10	การจัดการใช้เครื่องทำน้ำเย็นชุดที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น		
2.11	การลดเวลาการใช้งานโดยเปิดให้ช้าลงและปิดเร็วขึ้น		
	เครื่องส่งจ่ายลมเย็น		
2.12	การสมดุลอากาศเย็นในพื้นที่ให้เหมาะสมกับภาระ		
2.13	การสมดุลน้ำเย็นในระบบให้เหมาะสมกับภาระ		
2.14	การทำความสะอาดขดท่อความเย็นอย่างสม่ำเสมอ		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
	2.(ต่อ)	**ได้**	**ไม่ได้**
2.15	การทำความสะอาดกรองอากาศเครื่องส่งลมเย็นอย่างสม่ำเสมอ		
2.16	การกั้นห้องเพื่อลดพื้นที่ปรับอากาศ		
2.17	การลดการนำอากาศภายนอกเข้าโดยการปิดหรือลดรอบพัดลม		
2.18	การเปลี่ยนขดท่อทำความเย็นใหม่		
2.19	การใช้ระบบปรับความเร็วรอบ (VSD) กับมอเตอร์พัดลม		
2.20	การใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศเย็นที่ปล่อยทิ้ง		
2.21	การปรับลดเวลาการใช้งานโดยเปิดช้าลงและปิดเร็วขึ้น		
2.22	การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงกับพัดลม		
2.23	การลดการรั่วไหลของอากาศเย็น		
2.24	การติดตั้งฟิล์มกันความร้อนที่กระจก		
2.25	การเปลี่ยนกระจกใหม่หรือการติดตั้งกันสาด		
2.26	การติดตั้งมู่ลี่ที่มีการสะท้อนความร้อนสูง		
	ปั๊มน้ำเย็นและปั๊มระบายความร้อน		
2.27	การปรับลดเวลาการใช้งานโดยเปิดช้าลงและปิดเร็วขึ้น		
2.28	การปรับลดปริมาณน้ำโดยการหรี่วาล์ว		
2.29	การปรับลดปริมาณน้ำโดยการลดขนาดใบพัด		
2.30	การปรับลดปริมาณน้ำโดยการเปลี่ยนใบพัด		
2.31	การปรับลดปริมาณน้ำโดยการลดรอบมอเตอร์		
2.32	การปรับลดปริมาณน้ำโดยการลดขนาดปั๊มน้ำ		
2.33	การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงในขนาดที่เหมาะสม		
2.34	การใช้งานปั๊มน้ำในจำนวนที่เหมาะสม		
2.35	การเลือกใช้งานปั๊มน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก		
2.36	การเลือกใช้งานกลุ่มปั๊มน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก		
2.37	การปรับปรุงการเชื่อมต่อท่อจากแบบตัวทีเป็นแบบตัววาย		
2.38	การเพิ่มขนาด Header		
2.39	การทำความสะอาด Straimer เป็นประจำ		
2.40	การเปลี่ยนแบริ่งและหล่อลื่นในระยะเวลาที่เหมาะสม		
2.41	การเปลี่ยนไปใช้ปั๊มน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น		
	หอผึ่งเย็น		
2.42	การใช้งานห่อผึ่งเย็นให้เหมาะสมดูจากอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ได้		
2.43	การเลือกใช้งานหอผึ่งเย็นชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก		
2.44	การปรับปรุงและทำความสะอาดหอผึ่งเย็นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ		
2.45	การเปลี่ยนใบพัดหอผึ่งเย็นจากโลหะเป็นไฟเบอร์		
2.46	การมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงที่มีขนาดเหมาะสม		
2.47	การลดการสูญเสียน้ำ		
2.48	การลดเวลาการใช้งานโดยเปิดให้ช้าลงและปิดเร็วขึ้น		
2.49	การเปลี่ยนหอผึ่งเย็นให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น		
2.50	การแก้ไขการลัดวงจร (ถูกดูดกลับ) ของอากาศร้อนชื้นที่ปล่อยทิ้ง		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
2.51	การลดปริมาณน้ำเพื่อให้ได้อุณหภูมิน้ำที่ต่ำสุด		
2.52	การเปลี่ยนรังผึ้งในระยะเวลาที่เหมาะสม		
2.53	การนำอากาศเย็นที่ระบายทิ้งเข้ามาระบายความร้อน		
2.54	การทำความสะอาดและซ่อมแซมหัวฉีดให้กระจายของน้ำได้ดี		
2.55	การใช้โอโซนกำจัดตะใคร่และตะกรัน		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
3. ระบบปั๊ม			
3.1	การใช้ปั๊มน้ำชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก		
3.2	การใช้กลุ่มปั๊มน้ำกลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก		
3.3	การลดการรั่วไหลของน้ำ		
3.4	การลดปริมาณการใช้น้ำโดยใช้อุปกรณ์ประหยัดน้ำ		
3.5	การใช้น้ำคุณภาพต่ำล้างพื้น		
3.6	การใช้ปั๊มแรงดันสูงเพื่อลดการใช้น้ำในการล้าง		
3.7	การลดการใช้มอเตอร์ที่ผ่านการไหม้ของขดลวด		
3.8	การลดอัตราการไหลของน้ำโดยการหรี่วาล์วน้ำ		
3.9	การลดอัตราการไหลของน้ำโดยการลดขนาดใบพัด		
3.10	การลดราการไหลของน้ำโดยการลดรอบมอเตอร์		
3.11	การลดขนาดของปั๊มน้ำ		
3.12	การลดขนาดของมอเตอร		
3.13	การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง		
3.14	การเพิ่มขนาดท่อ		
3.15	การเปลี่ยนการเชื่อมต่อท่อจากแบบทีเป็นแบบวาย		
3.16	การลดแรงดันในการส่งน้ำ		
3.17	การใช้ปั๊มประสิทธิภาพสูง		
3.18	การเปลี่ยนแบริ่งและหล่อลื่นในระยะเวลาที่เหมาะสม		
3.19	การทำความสะอาดหรือใบพัดในระยะเวลาที่เหมาะสม		
3.20	การเลือกใช้ปั๊มน้ำในชนิดที่เหมาะสมกับการใช้งาน		
3.21	การลดประสิทธิภาพน้ำที่ใช้กับอุปกรณ์		
3.22	การปิดวาล์วน้ำเข้าเครื่องจักรที่ไม่ใช้งาน		
3.23	การทำความสะอาด Strainer อย่างสม่ำเสมอ		
3.24	การปิดวาล์ว Bypass ของระบบน้ำทั้งหมด		
3.25	การลดขั้นตอนการส่งน้ำ		
3.26	การเลือกใช้คุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน		
3.27	การใช้ Booster กับอุปกรณ์กลุ่มน้อยที่ต้องการความดันสูง		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
	4. พัดลม		
4.1	การลดเวลาการเปิดใช้พัดลม		
4.2	การลดปริมาณลมโดยการหรี่วาล์ว		
4.3	การลดการใช้พัดลมที่มอเตอร์เคยไหม้		
4.4	การซ่อมรูรั่วของโครงพัดลม		
4.5	การลดขนาดใบพัดลม		
4.6	การใช้พัดลมขนาดเล็กลงและประสิทธิภาพสูง		
4.7	การลดรอบพัดลมโดยการเปลี่ยนพูเล่ย์		
4.8	การลดรอบพัดลมโดยการใช้ Invertor		
4.9	การใช้มอเตอร์ให้ขนาดเหมาะสมกับพัดลม		
4.10	การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง		
4.11	การเพิ่มประสิทธิภาพระบบส่งกำลัง		
4.12	การปิดปากทางดูดที่ไม่ได้ใช้งานของระบบดูดฝุ่นควัน		
4.13	การซ่อมรูรั่วของระบบท่อลมดูดหรือเป่า		
4.14	การเพิ่มขนาดท่อลมให้ใหญ่ขึ้น		
4.15	การลดความยาวและข้อต่อข้องอของระบบท่อลม		
4.16	การออกแบบปากท่อดูดฝุ่นควันและระยะห่างให้เหมาะสม		
4.17	การเปลี่ยนวิธีดูดลมร้อนทิ้งโดยใช้พัดลมติดผนังในโรงงานจำนวนมากเป็นการติดตั้งฝาชี (Hood) ครอบดูดเฉพาะจุดที่เกิดความร้อน		
4.18	การปรับความตึงของสายพานให้เหมาะสม		
4.19	การทำความสะอาดใบพัดลมอย่างสม่ำเสมอ		
4.20	การเปลี่ยนใบพัดลมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น		
4.21	การเปลี่ยนพัดลมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น		
4.22	การทำความสะอาดกรองอากาศอย่างสม่ำเสมอ		
4.23	การเลือกใช้ชนิดพัดลมให้เหใสกับการใช้งาน		
4.24	การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่มอเตอร์พัดลม		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
	5. อากาศอัด		
5.1	การทำความสะอาดกรองอากาศสม่ำเสมอ		
5.2	การลดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด		
5.3	การลดการรั่วไหลในระบบอากาศอัด		
5.4	การลดความดันใช้งานของอุปกรณ์ใช้อากาศอัด		
5.5	การลดความดันในการผลิตอากาศอัด		
5.6	การใช้หัวฉีดลมเพื่อลดการใช้อากาศอัด		
5.7	การเปลี่ยนอุปกรณ์ใช้อากาศอัดที่มีการสึกหรอ		
5.8	การลดเวลาการใช้งานเครื่องอัดอากาศ		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
5.9	การใช้เครื่องอัดชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก		
5.10	การเดินเครื่องอัดอากาศกลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก		
5.11	การใช้ Booster กับอุปกรณ์ส่วนน้อยที่ใช้แรงดันสูง		
5.12	การแยกระบบอากาศอัดเป็นความดันสูงและต่ำ		
5.13	การลดความยาวและข้อต่อข้องอในระบบท่อลม		
5.14	การเพิ่มขนาดท่อลมให้ใหญ่ขึ้นหรือเดินท่อเพิ่ม		
5.15	การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานเครื่องอัดอากาศ		
5.16	การเดินท่อลมแบบวงแหวน (Loop)		
5.17	การเปลี่ยนระบบควบคุมจาก Load-Unload เป็นการใช้ Inverter		
5.18	การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีขนาดเหมาะสม		
5.19	การเปลี่ยนไปใช้เครื่องอัดที่มีประสิทธิภาพสูง		
5.20	การปรับปรุงประสิทธิภาพของ Intercooler/After cooler		
5.21	การใช้อุปกรณ์ควบคุมความดันลมอัตโนมัติกับเครื่องอัดอากาศที่ทำงานพร้อมกันหลายชุด		
5.22	การเปลี่ยนแบริ่งของเครื่องอัดและมอเตอร์ในระยะเวลาที่เหมาะสม		
5.23	การเปลี่ยนชนิดสายพานที่มีประสิทธิภาพสูง		
5.24	การเปลี่ยนลิ้นของเครื่องอัดเมื่อเกิดการรั่ว		
5.25	การลดการใช้งาน Air Dryer ให้เหมาะสม		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
6. ระบบแสงสว่าง			
6.1	การลดจำนวนหลอดไฟฟ้าที่เกินความจำเป็น		
6.2	การเพิ่มสวิตซ์ไฟฟ้าเพื่อให้ปิดไฟบริเวณไม่ใช้งานได้		
6.3	การปิดไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ที่ไม่ใช้งาน		
6.4	การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แทนหลอดแสงจันทร์		
6.5	การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แทนหลอดอินแคนแดสเซนต์		
6.6	การใช้หลอดโซเดียมความดันสูงแทนหลอดแสงจันทร์		
6.7	การใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์แทนหลอดอินแคนแดสเซนต์		
6.8	การใช้หลอดเมทัลฮาไลด์แทนหลอดฮาโลเจน		
6.9	การใช้หลอดเมทัลฮาไลด์แทนหลอดแสงจันทร์		
6.10	การลดขนาดหลอดแสงจันทร์และหลอดอื่นๆ		
6.11	การใช้บัลลาสต์แกนเหล็กสูญเสียต่ำกับหลอดทุกชนิดที่ใช้บัลลาสต์		
6.12	การใช้บัลลาสต์อิเลคทรอนิกกับหลอดทุกชนิดที่ใช้บัลลาสต์		
6.13	การใช้โคมไฟประสิทธิภาพสูง		
6.14	การใช้แผ่นสะท้อนแสงแทนโคมเดิม		
6.15	การใช้อุปกรณ์หรี่แสงสว่างอัตโนมัติ		
6.16	การใช้โฟโต้สวิซ์กับหลอดภายนอกโรงงาน		
6.17	การใช้แสงธรรมชาติแทนแสงประดิษฐ์		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
6.18	การใช้โซล่าเซลล์กับระบบแสงสว่าง		
6.19	การเปลี่ยนวิธีการให้ความสว่างเฉพาะจุด		

ลำดับ	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน	การดำเนินการ	
		ได้	ไม่ได้
7. ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า			
7.1	การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่อุปกรณ์ไฟฟ้า		
7.2	การติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่ระบบรวม		
7.3	การลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม		
7.4	การลดจำนวนการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า		
7.5	การสมดุลกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส		
7.6	การใช้หม้อแปลงในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด		
7.7	การลดฮาร์โมนิกที่เกิดในระบบ		
7.8	การเลือกใช้หม้อแปลงในขนาดที่เหมาะสม		
7.9	การใช้อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ		

5.6 การจัดทำรายงานและวิธีการคำนวณการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิต

การจัดทำรายงานมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อเป็นการนำเสนอให้ผู้ที่เกี่ยวข้องรับทราบถึงผลการดำเนินมาตรการการอนุรักษ์พลังงานที่ได้ดำเนินการแล้ว หรือใช้ในการนำเสนอเพื่อพิจารณาศักยภาพของมาตรการและประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน โดยส่วนประกอบของรายงานมาตรการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละมาตรการ มีดังนี้

1. ชื่อมาตรการ
2. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน
   เป็นส่วนที่แสดงถึงสภาพการใช้งานก่อนการปรับปรุง ควรทำการระบุสภาวะเดิมของการทำงาน เช่น ชั่วโมงการทำงานต่อวัน วันทำงานต่อปี อุณหภูมิที่ต้องการใช้จริง อุณหภูมิที่กำหนดไว้ เป็นต้น รวมทั้งควรมีภาพถ่ายในการสภาวะการทำงานก่อนการปรับปรุงแสดงไว้
3. หลักการและเหตุผล
   อธิบายถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน รวมทั้งทฤษฎีที่สนับสนุน
4. แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง
   เสนอวิธีการปรับปรุงอย่างเป็นขั้นตอน โดยทั่วไปมี 5 ขั้นตอนดังนี้
   - 4.1 การสำรวจและตรวจวัดเพื่อเก็บข้อมูลของปัญหา
   - 4.2 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อกำหนดแนวทางการดำเนินการ
   - 4.3 วางแผนการดำเนินการและปฏิบัติตามแผน

4.4 เก็บข้อมูลหลังการดำเนินการ

4.5 ประเมินผลการดำเนินการและกำหนดเป็นวิธีการทำงาน

5. สภาพหลังการปรับปรุง

เป็นส่วนสรุปผลการดำเนินการ โดยควรระบุระยะเวลาการดำเนินการ ผลประหยัดที่ได้รับในหน่วยของพลังงานที่ลดลง มูลค่าของพลังงานที่ลดลง เงินลงทุนและระยะเวลาคืนทุน

6. วิธีคำนวณผลประหยัด

เพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ วิธีการวิเคราะห์ ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งสามารถนำไปปรับใช้ในส่วนอื่นๆ ของโรงงานได้ดังต่อไปนี้

บทที่ 6

มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ประสบความสำเร็จ อุตสาหกรรมอาหารแปรรูป

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงมาตรการการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป จากกรณีตัวอย่างที่ประสบความสำเร็จในโครงการต่างๆ ที่ผ่านมาของพพ. และสถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรมสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยโดยจะเป็นมาตรการในกระบวนการผลิตและมาตรการของระบบสนับสนุน โดยจะรวบรวมทั้งมาตรการด้านการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม(House Keeping measures) มาตรการด้านการปรับปรุงกระบวนการผลิต (Process Improvement Measures) และมาตรการเปลี่ยนเครื่องจักรและอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน (Machine Change Measures)

6.1 มาตรการที่เกี่ยวข้องกับระบบในกระบวนการผลิต

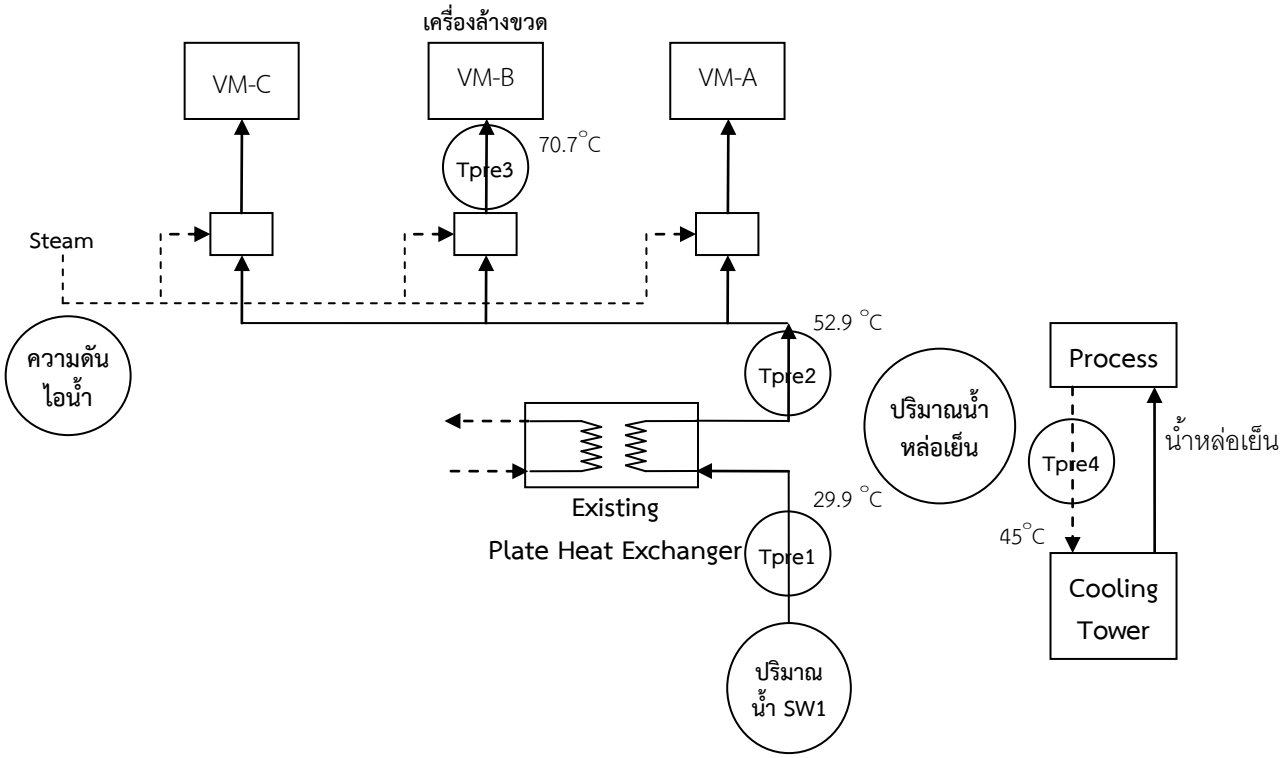
กรณีศึกษาที่ 6.1

การนำน้ำหล่อเย็นของเครื่องจักรมาใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำในกระบวนการผลิต

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท: บริษัท กรีนสปอต จำกัด
สถานที่ตั้ง: 2 ซอยรังสิต-นครนายก 46 ต.ประชาธิปัตย์
อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ปกติแล้วกระบวนการล้างขวดของโรงงาน จะใช้น้ำอุณหภูมิ 70^{o}C โดยใช้น้ำจากห้องกรองน้ำ (SW1) ที่อุณหภูมิปกติ ผ่าน Plate Heat Exchanger เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำคอนเดนเสทจากเตาอบ แล้วให้ความร้อนกับน้ำเพิ่มอีกโดยใช้ไอน้ำผสมเพื่อให้ได้อุณหภูมิสุดท้ายคือ 70 ^{o}C เพื่อจ่ายเครื่องล้างขวดต่อไป โดยจากการสำรวจอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเครื่องจักรของโรงงาน พบว่ามีอุณหภูมิ 45^{o}C มีศักยภาพในการอุ่นน้ำจากห้องกรองน้ำที่อุณหภูมิปกติ ก่อนเข้าสู่กระบวนการใช้ความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลักของกระบวนการทั้งนี้ระบบ แสดงดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ระบบน้ำในกระบวนการผลิตและจุดตรวจสอบข้อมูล

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

ในกรณีที่น้ำหล่อเย็นเครื่องจักรของกระบวนการผลิต มีอุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะนำไปให้ความร้อนสำหรับบางส่วนของกระบวนการผลิต การนำความร้อนทิ้งที่มีศักยภาพเหล่านี้กลับมาใช้ จะช่วยให้สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของโรงงานลงได้ อีกทั้งยังสามารถลดภาระการระบายความร้อนของหอผึ่งเย็น (Cooling Tower) ของโรงงานลงจนอาจลดการใช้หอผึ่งเย็นลงได้

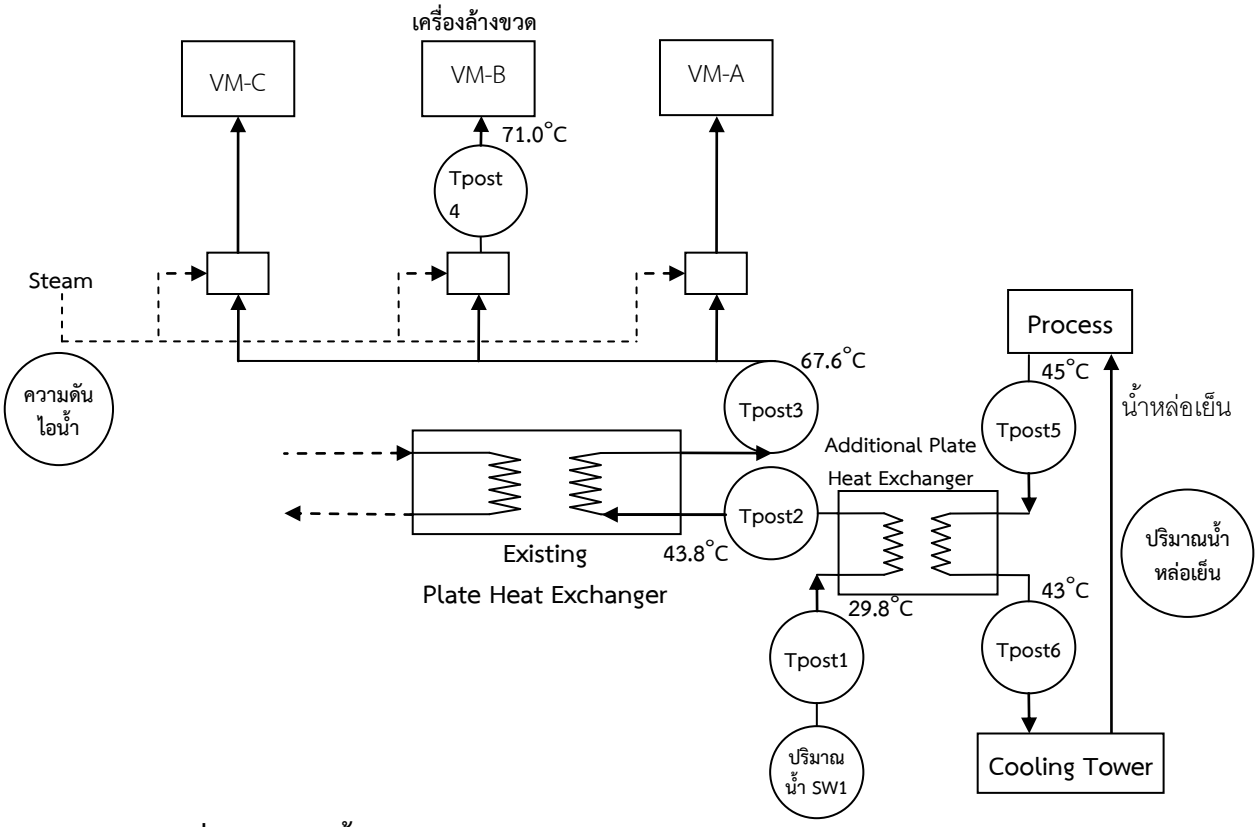
ทั้งนี้อุณหภูมิจะเป็นตัวบอกคุณภาพของความร้อนเหลือทิ้ง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับนี้

1. ความร้อนเหลือทิ้งคุณภาพสูง มีอุณหภูมิในช่วง 600-1,600 °C มักเป็นความร้อนทิ้งในรูปก๊าซไอเสียจากเตาเผา เหมาะที่จะนำไปใช้กับ ระบบผลิตกำลังระบบผลิตกำลังและความร้อนร่วม หรือนำไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง
2. ความร้อนเหลือทิ้งคุณภาพปานกลาง มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 200-600 °C มักเป็นความร้อนทิ้งในรูปก๊าซไอเสียจากหม้อไอน้ำ กังหันก๊าซ เครื่องยนต์และเตาขึ้นรูปโลหะเหมาะจะนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่ความดันปานกลางหรือนำไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง
3. ความร้อนเหลือทิ้งคุณภาพต่ำ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 35-200 °C มักเป็นความร้อนทิ้งในรูปคอนเดนเสด น้ำและของเหลวที่ระบายความร้อนและอากาศระบายความร้อน เหมาะที่จะนำไปใช้ในการให้ความร้อนขั้นต้น เช่น อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ อุ่นของเหลว อุ่นอากาศ และทำน้ำร้อนหรือนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

น้ำร้อนหรือของเหลวร้อนถือเป็นแหล่งพลังงานคุณภาพต่ำ ดังนั้นความคุ้มค่าในการลงทุนและเสถียรภาพในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ จึงควรพิจารณาในประเด็นต่าง ๆ ต่อไปนี้คือ ความต่อเนื่องของความร้อนที่ปล่อยทิ้ง ระดับอุณหภูมิของของเหลวที่ปล่อยทิ้ง ปริมาณความร้อนที่ปล่อยทิ้ง ความสะอาดและจุดที่จะนำมาใช้ประโยชน์

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

การปรับปรุงจะดำเนินการโดยใช้น้ำหล่อเย็นเครื่องจักรในกระบวนการผลิตที่ตามปกติแล้ว น้ำหล่อเย็นดังกล่าวมีอุณหภูมิ 45 °C จะถูกนำไประบายความร้อนที่ Cooling Tower แล้วหมุนเวียนกลับไประบายความร้อนจากเครื่องจักรในกระบวนการผลิตอีกครั้ง การปรับปรุงจะนำน้ำหล่อเย็นดังกล่าวผ่าน Plate Heat Exchanger ชุดใหม่เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำระบายความร้อนกับน้ำจากห้องกรองน้ำ (SW1) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิปกติสูงขึ้นประมาณ 40 °C แล้วจึงจ่ายให้กับ Plate Heat Exchanger เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกังน้ำคอนเดนเสทจากเตาอบต่อไป โดยระบบหลังการปรับปรุง จะแสดงดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ระบบน้ำในกระบวนการผลิตและจุดตรวจสอบข้อมูลหลังจากปรับปรุง

สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากดำเนินการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger) ระหว่างน้ำระบายความร้อนกับน้ำในกระบวนการผลิตส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้น

รูปที่ 6.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นที่ติดตั้งใหม่

นอกจากนี้ผลจากการนำความร้อนทิ้งจากน้ำหล่อเย็นเครื่องจักรกลับมาใช้ ไม่ทำให้อุณหภูมิน้ำในกระบวนการผลิตผิดปกติ อีกทั้งยังสามารถประหยัดพลังงานความร้อนในการผลิตไอน้ำของโรงงานลงได้ และยังลดภาระการระบายความร้อนของหอผึ่งเย็นลง ส่งผลให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้เป็นจำนวนมาก

วิธีการคำนวณผลประหยัด

ผลการประหยัดที่เกิดขึ้นจริง

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้นก่อนดำเนินการ				
1.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ SW1	T_{pre1}	°C	29.9	
1.2 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ SW1 , h_{pre2} = 221.43 kJ/kg	T_{pre2}	°C	52.9	
1.3 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ SW1	T_{pre3}	°C	70.7	
1.4 ปริมาณน้ำ SW1	m_{pre1}	m^3/hr	34.382	
1.5 ชั่วโมงการทำงาน	h	ชั่วโมง/ปี	5,408	
1.6 อัตราการใช้ก๊าซธรรมชาติ	m_f	MMBTU/kg-ไอน้ำ	0.002607	
1.7 ราคาก๊าซธรรมชาติ	C_f	บาท/ MMBTU	292.97	
2. ข้อมูลเบื้องต้นหลังดำเนินการปรับปรุง				
2.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ SW1	T_{post1}	°C	29.8	
2.2 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ SW1	T_{post2}	°C	43.8	
2.3 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ SW1, h_{post3} = 282.91 kJ/kg	T_{post3}	°C	67.6	
2.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ SW1	T_{post4}	°C	71.0	
2.5 เอนธัลปีของไอน้ำที่ความดัน 4 บาร์เกจ	h_g	kJ/kg	2,738.53	
2.6 ประเมินปริมาณการใช้ไอน้ำ = $[m_{pre1} \times 997\ (kg/m^3) \times (h_{post3} - h_{pre2})\ xh]/\ h_g$	m_s	kg-ไอน้ำ/ปี	4,161,782	
2.7 ปริมาณก๊าซธรรมชาติที่ประหยัดได้ = $m_s \times m_f$	m_{ngv}	MMBTU/ปี	10,849.77	
2.8 ค่าก๊าซธรรมชาติที่ลดลง = $m_{ngv} \times C_f$	S_c	บาท/ปี	3,178,655.89	
3. การวิเคราะห์ทางการเงิน				
3.1 ค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์รวมติดตั้ง	C	บาท	650,000	
3.2 ระยะเวลาคืนทุน = C / S_c	PB	ปี	0.204	

กรณีศึกษาที่ 6.2
การปรับปรุงสายพานลำเลียงเครื่อง Cooker

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท: บริษัท อาหารสยาม จำกัด (มหาชน)
สถานที่ตั้ง: 218 ม.8 ถ.สัตหีบ-ฉะเชิงเทรา ต.หนองอิรุณ
อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี 20170

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

กระบวนการผลิตอาหารกระป๋องของโรงงานมีการใช้เครื่อง Cooker ซึ่งเดิมทีการใช้งานจะใช้ 1 เครื่องต่อกระป๋อง 1 ขนาด โดยมีอัตราการใช้ไอน้ำที่ความดัน 4 บาร์เกจ ในอัตรา 1,500 kg/h จากการสำรวจพบว่าเครื่อง Cooker ยังใช้งานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากยังมีความสามารถในการใช้งานของเครื่องเหลืออยู่ อย่างไรก็ตามการที่เครื่อง Cooker มีสายพาน 1 เส้นต่อหนึ่งเครื่องทำให้ไม่สามารถส่งกระป๋องจากเครื่องปิดฝาสายพานหนึ่งข้ามเข้าสู่เครื่อง Cooker อีกสายพายหนึ่งได้ ทำให้ใช้งาน Cooker ไม่เต็มประสิทธิภาพของเครื่อง โรงงานจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงสายพานการผลิตเพื่อให้สามารถใช่งานเครื่อง Cooker ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รูปที่ 6.4 ระบบสายพานลำเลียงแบบเดิมของเครื่อง cooker

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

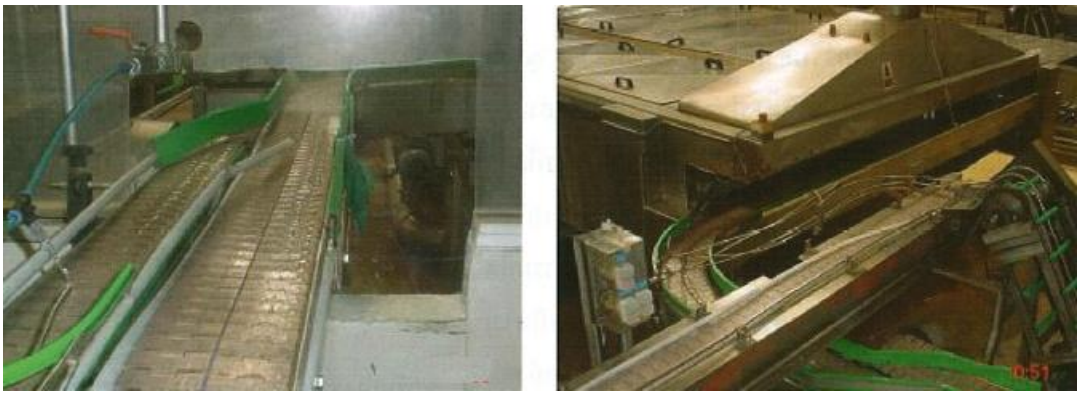
กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมอาหาร มีการใช้เครื่อง Cooker เพื่อให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ และปรุงอาหารไปพร้อมกันตามปกติแล้ว จะใช้หนึ่งเครื่องต่อหนึ่งสายการผลิต อย่างไรก็ตามในกรณีที่ใช้กำลังการผลิตในแต่ละ line การผลิตไม่เต็มที่ เครื่อง Cooker จะใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง การปรับปรุงสายการผลิตให้เครื่อง Cooker สามารถรับผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าหนึ่งชนิดในเวลาเดียวกัน ช่วยให้เครื่อง Cooker ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงาน

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการปรับปรุงสายพานที่ช่องทางเข้าและออกจากเครื่อง Cooker เพื่อให้สามารถนำกระป๋องขนาดอื่นๆเข้าสู่เครื่อง Cooker ได้พร้อม ๆ กัน ส่งผลให้สามารถลดจำนวนใช้งานเครื่อง Cooker ลงได้

สภาพหลังปรับปรุง

ผลจากการปรับปรุงสายพานการผลิต ส่งผลให้สามารถลดการใช้งานเครื่อง Cooker ลงได้หนึ่งเครื่อง และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง Cooker ที่ยังคงใช้งานอยู่ให้ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ส่งผลให้ประหยัดเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำสำหรับเครื่อง Cooker ลงได้ เนื่องจากประสิทธิภาพการใช้งานเครื่อง Cooker เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 6.5 สายพานลำเลียงในกระบวนการผลิตภายหลังดำเนินการปรับปรุง ทำให้เครื่อง Cooker สามารถรับผลิตภัณฑ์ได้ 2 สายพานการผลิต

วิธีการคำนวณผลประหยัด

จากการตรวจสอบพบข้อมูลที่สำคัญก่อนการดำเนินการตามมาตรการดังต่อไปนี้

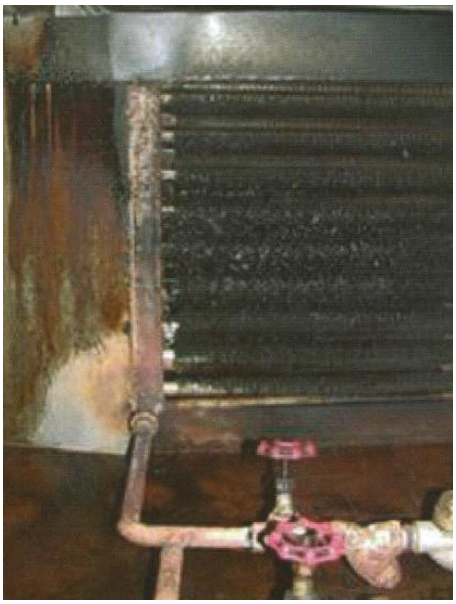
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. **ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง**				**ข้อมูลจากโรงงาน**
1.1 ความดันไอน้ำที่รางนึ่ง	P	Barg	4	
1.2 เอนทาลปีไอน้ำ	h_g	kJ/kg	2,749	
1.3 อัตราการใช้ไอน้ำเฉลี่ยของรางนึ่ง	m_s	kg/h	1,500	
1.4 อุณหภูมิน้ำป้อนเฉลี่ย	T_{in}	^oC	100	
1.5 เอนทาลปีน้ำป้อน	h_f	kJ/kg	419	
1.6 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	η_b	%	85	
1.7 Operating Factor	OF	%	50	
1.8 ชั่วโมงทำงานต่อวัน	h	ชั่วโมง/วัน	10	
1.9 จำนวนวันที่ทำงานต่อปี	d	วัน/ปี	130	
1.10 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง	LHV	MJ/ลิตร	39.77	
1.11 ราคาน้ำมันเตาเฉลี่ย	C_f	บาท/ลิตร	21	
2. ผลการวิเคราะห์				
2.1 ปริมาณความร้อนที่ลดลง = $m_s \times (h_g - h_f) \times OF / \eta_b$	Q_s	MJ/h	2,055.90	
2.2 ปริมาณน้ำมันเตาที่ลดลง = $Q_s \times h \times d / LHV$	m_{save}	ลิตร/ปี	67,203	
2.3 ค่าใช้จ่ายของน้ำมันเตาที่ลดลง = $m_{save} \times C_f$	S_c	บาท	1,411,260	
3. การวิเคราะห์ทางการเงิน				
3.1 ค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์รวมติดตั้ง	C	บาท	15,000	
3.2 ระยะเวลาคืนทุน = C / S_c	PB	ปี	0.01	

กรณีศึกษาที่ 6.3
การปรับปรุงคอยล์ร้อนเตาอบผลไม้

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท: บริษัท กุยบุรีผลไม้กระป๋อง จำกัด
สถานที่ตั้ง: 1 หมู่ 7 ถ.เพชรเกษม-ยางชุม ต.กุยบุรี
อ.กุยบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77150

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ในกระบวนการผลิตผลไม้อบแห้งของโรงงานจะทำการอบผลไม้ โดยเตาอบแห้งจะจ่ายใช้ไอน้ำผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งอยู่ภายในเตาอบแห้ง (คอยล์ร้อน) โดยใช้ความดันไอน้ำที่ 5 บาร์ ในอัตรา 150 kg/hr แต่จากการใช้งาน พบว่าการใช้ความดันไอน้ำของเตาอบค่อนข้างสูงเกินจำเป็น เนื่องจากอุณหภูมิในการอบที่ต้องการที่ 75-90 °C เท่านั้น ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของเตาอบให้ดีขึ้นทำให้สามารถลดความดันไอน้ำที่ใช้งานลงได้ โรงงานจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงคอยล์ร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 6.6 คอยล์ร้อนของเตาอบแห้งผลไม้ก่อนดำเนินการปรับปรุง

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

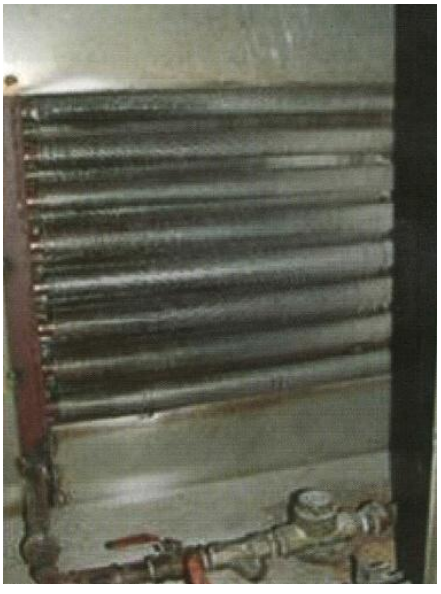
ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญของกระบวนการอบแห้ง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ประสิทธิภาพไม่ดีจะส่งผลให้การอบแห้งใช้พลังงานความร้อนในระดับที่มากกว่าปกติ การเปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ลดการใช้พลังงานความร้อนของกระบวนการผลิตลงได้

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการอบผลไม้ที่ปัจจุบันไอน้ำจะไหลผ่านท่อเพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับเตาอบเพียง 1 เที่ยว ดังนั้นโรงงานจึงดำเนินการปรับปรุง โดยเพิ่มไอน้ำไหลผ่านท่อได้ 3 เที่ยว เพื่อให้มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีขึ้น โดยหลังจากปรับปรุงจึงทดลองลดความดันไอน้ำ แล้วตรวจสอบการทำงานพบว่าหลังการปรับปรุงสามารถลดความดันไอน้ำลงเหลือ 1 บาร์ โดยยังสามารถทำงานได้ดีและไม่มีผลกระทบต่อผลผลิต จึงได้ทำการปรับปรุงเตาอบที่เหลืออีก 1 เตา เพื่อลดการใช้ไอน้ำในกระบวนการอบผลไม้

สภาพหลังปรับปรุง

ผลจากการปรับปรุงคอยล์ร้อนของเครื่องอบผลไม้ให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน สามารถช่วยให้เกิดผลประหยัดพลังงานเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยให้เครื่องอบสามารถทำความร้อนได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 6.7 คอยล์ร้อนของเตาอบแห้งผลไม้หลังดำเนินการปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลประหยัด

การปรับปรุงคอยล์ร้อนของเตาอบผลไม้ ทำให้ความดันและปริมาณการใช้ไอน้ำลดน้อยลง เกิดการประหยัดพลังงานความร้อนสามารถทำการประเมินได้ดังนี้

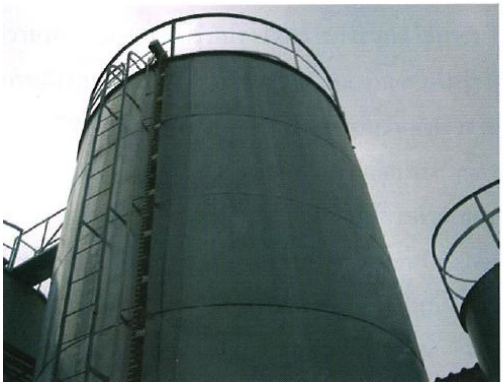
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. **ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง**				**ข้อมูลจากโรงงาน**
1.1 ความดันไอน้ำก่อนปรับปรุง	P_1	บาร์	5	
1.2 เอนทาลปีของไอน้ำเข้าก่อนปรับปรุง	$h_{g,1}$	kJ/kg	2,757	
1.3 เอนทาลปีของไอน้ำออกก่อนปรับปรุง	$h_{f,1}$	kJ/kg	670.5	
1.4 อัตราการใช้ไอน้ำเฉลี่ย	m_s	kg/hr	150	
1.5 อุณหภูมิน้ำป้อนเฉลี่ย ($h_{f,w}$ = 419)	T_i	^{o}C	100	
1.6 จำนวนเอบที่ปรับปรุง	n	เครื่อง	2	
1.7 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	LHV	MJ/ลิตร	39.77	
1.8 ระยะเวลาทำงาน	h	ชั่วโมง/วัน	12	
1.9 จำนวนวันทำงาน	d	วัน/ปี	300	
1.10 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	η_b	%	85	
1.11 ราคาน้ำมันเตาเฉลี่ย	C_f	บาท/ลิตร	12	
2. **ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง**				
2.1 ความดันไอน้ำหลังทำการปรับปรุง	P_2	บาร์	1	
2.2 เอนทาลปีของไอน้ำเข้าหลังปรับปรุง	$h_{g,2}$	kJ/kg	2,707	
2.3 เอนทาลปีของไอน้ำออกหลังปรับปรุง	$h_{f,2}$	kJ/kg	504.7	
3. ผลการวิเคราะห์				
3.1 พลังงานความร้อนที่ใช้ต่อเครื่องก่อนปรับปรุง = m_s x ($h_{g,1}$ - $h_{f,1}$)	Q_s	MJ/h	313	
3.2 ปริมาณไอน้ำที่ใช้หลังลดระดับความดัน = Q_s x 1,000/($h_{g,2}$ - $h_{f,2}$)	$m_{s,a}$	kg/hr	142	
3.3 ผลประหยัดต่อเครื่อง = [(m_s -$m_{s,a}$) x ($h_{g,1}$- $h_{f,w}$)	S_1	MJ/hr	18.7	
3.4 คิดเป็นพลังงานความร้อนจากไอน้ำที่ประหยัดได้ทั้งสิ้น = [S_1x n x h x d/(LHVxη_b)]/C_f	S_c	บาท/ปี	83,640.00	
4. การวิเคราะห์ทางการเงิน				
4.1 ค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์รวมติดตั้ง	C	บาท	54,000	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน = C / S_c	PB	ปี	0.65	

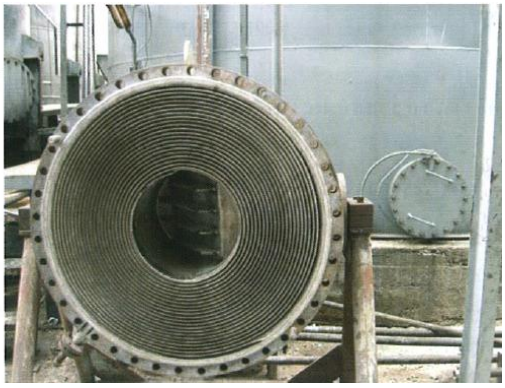
กรณีศึกษาที่ 6.4
การปรับปรุงกระบวนการอุ่นน้ำมันพืชเพื่อรอการจำหน่าย

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท: บริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด
สถานที่ตั้ง: 29/3 หมู่ 6 ถนนปทุมธานี-ลาดหลุมแก้ว ต.คูบางหลวงอ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี 12140

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

บริษัทฯ ได้ดำเนินการผลิตน้ำมันพืชเป็นหลัก พลังงานความร้อนที่ใช้งานภายในโรงงานมาจากหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินและน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ทั้งนี้เนื่องจากโรงงานมีถังเก็บน้ำมันพืชเพื่อสำรองน้ำมันพืชสำหรับกระบวนการผลิต และรอการจำหน่ายให้กับลูกค้าที่มารับซื้อหน้าโรงงาน โดยถังน้ำมันพืชสามารถบรรจุได้ 100 ตัน ตามปกติแล้วการเก็บรักษาน้ำมันพืชภายในถัง จะต้องอุ่นน้ำมันพืชไว้ที่อุณหภูมิ 70 °C(เพื่อป้องกันการเป็นไขของน้ำมันในถังเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 50 °C) เมื่อลูกค้ามารับน้ำมันพืชโรงงานจะใช้ปั๊มสูบใส่ถังขายให้กับลูกค้า โดยจากข้อมูลการขาย พบว่าในแต่ละวันจะมีลูกค้ามารับน้ำมันพืชที่หน้าโรงงานประมาณ 26 ตันต่อวัน และส่วนที่เหลือก็จะนำไปบรรจุและจำหน่ายต่อไป อย่างไรก็ตามอุณหภูมิน้ำมันพืชในถังควรควบคุมอยู่ที่ 55 °C ดังนั้นการอุ่นน้ำมันทั้งหมดไว้ที่อุณหภูมิ 70 °C เพื่อขายให้กับลูกค้าเพียงบางส่วน ทำให้สูญเสียพลังงานความร้อนโดยเปล่าประโยชน์ ทางโรงงานจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงกระบวนการรักษาอุณหภูมิน้ำมันพืชในถังเก็บให้ลดลงสู่จุดที่เหมาะสม โดยยังคงสามารถจำหน่ายน้ำมันพืชให้กับลูกค้าด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสมด้วยเช่นกัน





รูปที่ 6.8 (ก) ถังเก็บน้ำมันพืชขนาด 100 ตัน
(ข) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่ออุ่นน้ำมันพืชสำหรับจำหน่ายให้ลูกค้า

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

การให้ความร้อนกับน้ำมันพืช เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในถังรอการจำหน่ายให้กับผู้รับซื้อจำนวนไม่มาก ด้วยอุณหภูมิที่สูง เป็นการใช้พลังงานความร้อนสิ้นเปลือง เนื่องจากน้ำมันพืชส่วนที่เหลือจากการจำหน่าย สามารถเก็บรักษาได้ด้วยอุณหภูมิที่ต่ำกว่า เพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อน การปรับปรุงถังน้ำมันพืช เพื่อลดอุณหภูมิในถังเก็บ โดยให้ความร้อนเพิ่มสำหรับน้ำมันพืชที่จำหน่ายให้ผู้รับซื้อ ทำให้ลดการใช้พลังงานความร้อนเพื่ออุ่นน้ำมันพืชลง

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการปรับลดอุณหภูมิการอุ่นของน้ำมันพืชในถังเก็บให้เหลือเพียง 55 °C เพียงพอต่อการป้องกันการเป็นไข โดยเมื่อมีลูกค้ามารับซื้อน้ำมันพืช โรงงานจะใช้เครื่องสูบน้ำมันพืชออกมาจากถังเก็บผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันพืชอีกครั้งเพื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 70 °C ตามความต้องการของลูกค้า

สภาพหลังปรับปรุง

ผลจากการปรับปรุงระบบอุ่นน้ำมันพืชของถังเก็บน้ำมันพืช ทำให้ไม่จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันพืชในถังเก็บให้สูงเกินความจำเป็นในการใช้งาน โดยจะเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเฉพาะส่วนที่จำหน่ายออกไปเท่านั้นส่งผลให้ลดการใช้พลังงานความร้อนของโรงงานลง อีกทั้งยังสามารถลดปริมาณการสูญเสียความร้อนที่ถังเก็บน้ำมันพืชอีกด้วย

รูปที่ 6.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการอุ่นน้ำมันพืชบริเวณถังเก็บน้ำมันพืช

วิธีการคำนวณผลประหยัด

จากผลการตรวจสอบข้อมูลของปริมาณน้ำมันพืชในถังเก็บและอุณหภูมิของน้ำมันพืช พบข้อมูลสำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง				**ข้อมูลจากโรงงาน**
1.1 ปริมาณน้ำมันพืชในถังเก็บ	$m_{s,1}$	ตันต่อวัน	100	
1.2 ปริมาณน้ำมันพืชที่จำหน่ายให้กับลูกค้า	$m_{s,2}$	ตันต่อวัน	26	
1.3อุณหภูมิน้ำมันที่อุ่นเพื่อจำหน่ายให้ลูกค้า	$T_{s,2}$	°C	70	
1.4ค่าความจุความร้อนของน้ำมันพืช	c_p	kJ/kg °C	2.09	
1.5 จำนวนวันทำงาน	d	วันต่อปี	300	
1.6 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	η_b	%	85	
1.7 ค่าความร้อนถ่านหิน	LHV	MJ/kg	22.19	
1.8 ราคาถ่านหิน	C_f	บาท/kg	1.49	
2. ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง				**ข้อมูลจากโรงงาน**
2.1 อุณหภูมิน้ำมันที่อุ่นในถังเก็บที่ต้องการ	$T_{s,3}$	°C	55	
3. ผลการวิเคราะห์				
3.1 พลังงานความร้อนที่ลดลง $= (m_{s,1} - m_{s,2}) \times c_p \times (T_{s,2} - T_{s,3}) \times d$	Q_s	MJ/ปี	695,970	
3.2 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ $= Q_s / [\eta_b \times LHV]$	E_s	kg/ปี	36,898.97	
3.3 ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ $= Q_s / [\eta_b \times LHV] \times C_f$	S_c	บาท/ปี	54.980.00	
4. การวิเคราะห์ทางการเงิน				
4.1 ค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์รวมติดตั้ง	C	บาท	200,000	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน = C / S_c	PB	ปี	3.64	

กรณีศึกษาที่ 6.5
การลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการละลายน้ำแข็งที่มากเกินความจำเป็น

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท: บริษัท อาหารสากล จำกัด (มหาชน)
สถานที่ตั้ง: 469/1 หมู่3 ถนนพระประโทน-บ้านแพร้ว
ต.ดอนยาหอม อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการติดตั้งใช้งานระบบทำความเย็นในรูปแบบห้องเย็นเพื่อเก็บวัตถุดิบในระดับอุณหภูมิ 10°C1 ห้อง, 0°C1 ห้อง และ -10°C1 ห้อง ในการใช้งานจำเป็นต้องมีการละลายน้ำแข็ง (Defrost) ที่เกาะบริเวณชุดคอยล์เย็นซึ่งต้องมีความเหมาะสมในการใช้งานจริง ทั้งระยะเวลาในการละ ลายในแต่ละครั้งและจำนวนครั้งต่อวัน หากมากเกินไปหรือน้อยเกินไปจะส่งผลให้เกิดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นทางทีมงานของโรงงานจึงมีแนวคิดให้มีบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบ (ทั้งปริมาณน้ำแข็งที่ทำการละลายและการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบในรูปแบบการทำงานปกติ) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อหาแนวทางการ Operate ที่เหมาะสมที่สุด

ทั้งนี้ระบบละลายน้ำแข็งของห้อง +10°C และ 0°C ใช้การหยุดคอมเพรสเซอร์และเปิดพัดลมชุดคอล์ยเย็นเป่าเพื่อให้น้ำแข็งละลายตัวจนหมดจึงทำงานใหม่อีกครั้ง ส่วนห้อง -10°C ใช้ขดลวดความร้อนในการละลาย (Heat Defrost)

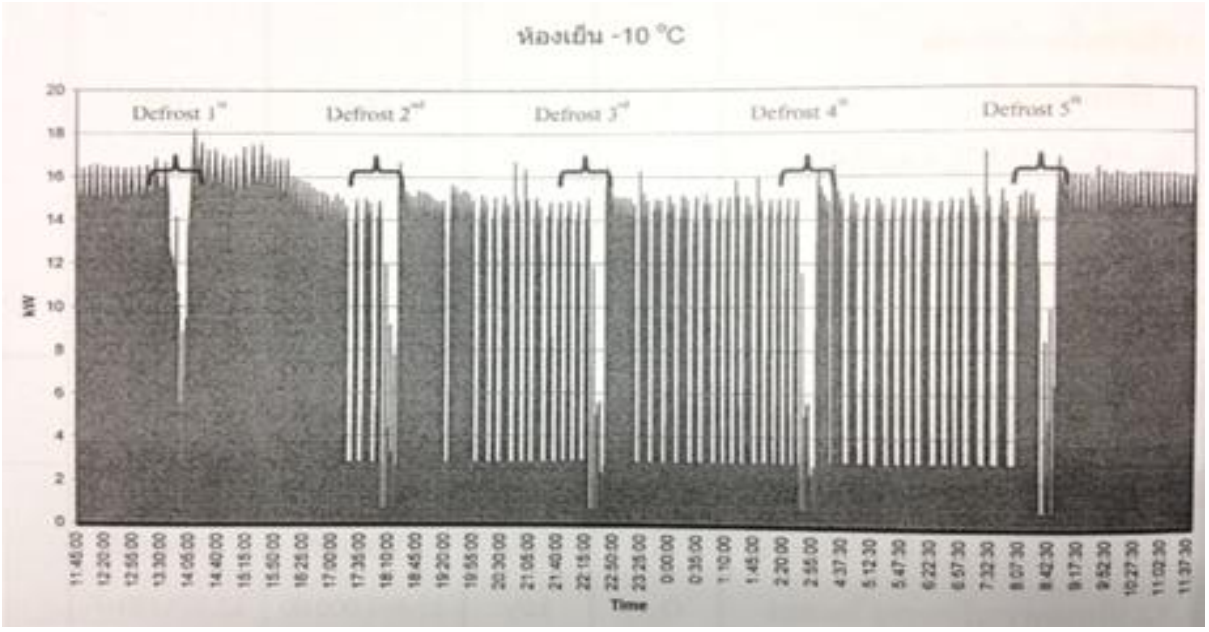
หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

การ Defrost ที่เหมาะสมและประหยัดพลังงานที่สุด เป็นวิธี Hot gas defrost ซึ่งใช้ความร้อนที่มีอยู่ในระบบ โดยดึงเอาความร้อนจากด้าน Discharge ซึ่งเป็นแก๊สที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นมา จากนั้นส่งเข้าไปในคอยล์เย็น ความร้อนของ Hot gas นั้นจะทำให้อุณหภูมิคอยล์เย็นสูงขึ้น ทำให้น้ำแข็งที่เกาะอยู่ที่คอยล์เย็นละลาย นอกจากวิธี Hot gas defrost แล้วก็มีวิธี Electric defrost คือใช้ไฟฟ้า ซึ่งถ้าเป็นห้องเย็นขนาดใหญ่ จะมีความสิ้นเปลือง เพราะต้องใช้ Heater อีกแบบคือวิธี Water defrost ใช้น้ำละลายซึ่งอาจทำให้สินค้าเสียหายได้ และอีกวิธีคือ off cycle defrost คือใช้อากาศซึ่งใช้งานได้ดีกับห้องเย็นที่อุณหภูมิสูงกว่า 0°C เท่านั้นและใช้ไม่ได้ในห้อง Ante เพราะทำให้มีความชื้นเข้ามาในห้อง

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้แก่ จำนวนครั้งของการละลายน้ำแข็งต่อวัน, ช่วงเวลาการทำ Defrost, ระยะเวลาการทำ Defrost พร้อมข้อมูลด้านการใช้งานห้องเย็นด้วย เพื่อประกอบการกำหนดรูปแบบการ Operate ห้องเย็นอย่างเหมาะสม

จากการบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบเป็นเวลา 24 ชั่วโมงพบว่าห้องเย็น -10°C มีการละลายน้ำแข็ง 5 ครั้งต่อวัน (4 ชั่วโมงต่อครั้ง) ครั้งละ 20 นาที จากแผนภาพการใช้พลังงานพบว่าในช่วงเวลาประมาณ 18:00 – 06:00 มีการละลายน้ำแข็งถึง 3 ครั้ง โดยในช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีการเปิดใช้งานห้องเย็นเลยและปริมาณน้ำจากการละลายน้ำแข็งดังกล่าวมีไม่มาก



รูปที่ 6.10 แผนภาพแสดงภาระการทำงานของห้องเย็น -10°C

สภาพหลังการปรับปรุง

ดำเนินการลดจำนวนครั้งในการ Defrost ในช่วงเวลา 18:00 – 06:00 ลงจาก 3 ครั้งเหลือ 2 ครั้ง จะช่วยให้สามารถลดการใช้พลังงานจากการใช้ขดลวดความร้อนขนาด 12 kW ในการละลายน้ำแข็งเป็นเวลา 20 นาที นอกจากนี้ยังช่วยลดกำลังไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้นในห้องเย็นหลังจากการละลายน้ำแข็งแต่ละครั้งลงได้ (จากรูปที่ 6.23) นอกจากนี้ยังช่วยยืดอายุการทำงานของขดลวดความร้อนให้ยาวนานขึ้นอีก

วิธีการคำนวณผลประหยัด

จากผลการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบก่อนและหลังดำเนินการปรับปรุง พบข้อมูลสำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลก่อนปรับปรุง				
1.1 พลังงานไฟฟ้าขดลวดความร้อนละลายน้ำแข็ง	P_D	kW	12.00	พิกัด
1.2 ระยะเวลาการละลายน้ำแข็งต่อครั้ง	h_D	hr/ครั้ง	0.333	ตรวจวัด
1.3 จำนวนครั้งในการละลายน้ำแข็ง (เดิม)	n_o	ครั้ง/วัน	5	
1.4จำนวนวันทำงานต่อปี	D	วัน/ปี	365	
1.5กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์ (ก่อน)	Pc	kW	14.50	ตรวจวัด
1.6ระยะเวลาที่คอมเพรสเซอร์ทำงานหลังละลายน้ำแข็ง	hr	ชั่วโมง/วัน	0.667	ตรวจวัด
1.7ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C_f	฿/kWh	3.33	
2. **ข้อมูลหลังปรับปรุง**				
2.1 จำนวนครั้งในการละลายน้ำแข็ง (ใหม่)	n_n	ครั้ง/วัน	4	
2.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์ (เดิน-หยุด)	P_{cn}	kW	8.25	ตรวจวัด
3. ผลการวิเคราะห์				
3.1 พลังงานขดขลวดที่ใช้ละลายน้ำแข็งเดิม = P_Dx h_Dx n_oxD	E_b	kWh/ปี	7,292.70	
3.2 พลังงานในขดลวดที่ละลายน้ำแข็งใหม่ = P_Dx h_Dx n_nxD	E_a	kWh/ปี	5,834,16	
3.3 พลังงานในห้องเย็นที่ประหยัดได้ = (Pc - P_{cn}) x (1- h_D) xD	$E_{s,1}$	kWh/ปี	1,458.54	
3.4 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้รวมทั้งสิ้น = (E_b – E_b) + $E_{s,1}$	Es	kWh/ปี	2,980.13	
3.5 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = Es x C_f	S_c	บาท/ปี	9,834.44	
4. การวิเคราะห์ทางการเงิน				
4.1 ค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์รวมติดตั้ง	C	บาท	-	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน = C / S_c	PB	ปี	-	

กรณีศึกษาที่ 6.6
การปรับปรุงแผนกกะเทาะทิวเพื่อเพิ่มผลผลิต (ยกเลิกขั้นตอนกระเทาะก้นกะลา)

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท : บริษัท อำพลฟู้ดส์ โปรเซสซิ่ง จำกัด
สถานที่ตั้ง: 57 ถนนพุทธมณฑล ตำบลกระทุ่มล้ม
อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73110

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ในกระบวนการกะเทาะกะลาจะเริ่มจากการใช้เครื่องกะเทาะก้นกะลามะพร้าว เพื่อให้สามารถปลอกกะลาได้ง่ายขึ้น ซึ่งในกระบวนการนี้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าและคนงานในการกะเทาะก้นกะลา

จากการจับเวลาในการกะเทาะก้นกะลาและการเจาะน้ำจะใช้เวลาประมาณ 10 วินาทีต่อลูกและใช้คนงานประมาณ 8 คน ซึ่งลักษณะการผลิตดังกล่าวต้องใช้ทั้งเวลาและคนงานเพื่อเตรียมมะพร้าวที่จะทำการกะเทาะกะลา ดังนั้นการยกเลิกกระบวนการทั้งสองส่วน จะทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้และสามารถลดระยะเวลาในการผลิตลงได้ ทำให้สามารถประหยัดพลังงานจากการลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตได้อีกส่วนหนึ่ง

รูปที่ 6.11 ก่อนดำเนินการปรับปรุง

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

การลดต้นทุนการผลิตในส่วนของกระบวนการผลิตในการลดต้นทุนพลังงานนั้น นอกจากควรจะมีอุปกรณ์ลิตพลังงาน อุปกรณ์แปรรูปพลังงานที่มีประสิทธิภาพดีแล้ว ถ้าโรงงานนั้นมีกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพต่ำหรือมีการจัดการการผลิตที่ไม่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ควรดำเนินการเพิ่มเติมดังนี้

1. ควรดำเนินการผลิตที่ภาระใกล้เคียงพิกัดหรือเต็มพิกัด เครื่องจักรโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ภาระเต็มพิกัดซึ่งทำให้ต้นทุนต่อหน่วยลดต่ำลง มีโรงงานบางแห่งผลิตตามใบสั่งซื้อระยะสั้นซึ่งก็ต้องทำการผลิตที่ภาระต่ำมากกว่าพิกัดเครื่องจักร ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของผลผลิตนั้นสูงขึ้น อาจจะไม่ได้กำไรหรือขาดทุนเลยก็ได้ ดังนั้นโรงงานควรรับใบสั่งซื้อในระยะเวลานาน ๆ เพื่อจะได้รวมใบสั่งซื้อและจัดแผนการผลิตให้เหมาะสม หรืออีกแนวทางหนึ่งคือ โรงงานผลิตให้เต็มที่เก็บไว้ ซึ่งอาจสามารถลดเวลาการผลิตลงจากเดิมได้ นั่นก็คือการลดต้นทุนการผลิตเช่นกัน
2. ควรทำการผลิตอย่างต่อเนื่อง เครื่องจักรที่ทำการผลิตควรเดินอย่างต่อเนื่องโดยหยุด (break down) ให้น้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้ผลิตได้มากขึ้นในช่วงเวลาเท่าเดิม
3. ควรจัดการใช้เครื่องจักรอย่างเหมาะสม บางโรงงานมีสายการผลิตอยู่หลายสายจึงควรทำการจัดการการใช้ให้เหมาะสมโดยเลือกใช้สายที่มีต้นทุนการผลิตต่ำสุดเป็นหลัก ดังนั้น โรงงานจะต้องทราบว่าเครื่องจักรว่าชุดไหนมีประสิทธิภาพดีหรือไม่ดี โดยต้องตรวจวัดและบันทึกค่าเพื่อให้ทราบต้นทุนการผลิตที่แท้จริงของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง
4. ควรจัดการและดูแลให้เครื่องจักรชำรุดน้อยที่สุด การที่เครื่องจักรชำรุดหรือเสียบ่อยจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้นโรงงานควรจัดทำแผนการบำรุงรักษาที่ดี รวมทั้งจัดทำสำรองอะไหล่ต่างๆ เพื่อ ให้เครื่องหยุดเพื่อซ่อมบำรุงโดยใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด
5. ขั้นตอนการผลิตควรจะสมดุลกันทั้งหมด ส่วนใหญ่กระบวนการผลิตจะมีอยู่หลายขั้นตอน ดังนั้นในแต่ละขั้นตอนควรจะผลิตให้สมดุลกันและไม่ต้องรอซึ่งกันและกัน หมายความว่าไม่ควรมีคอขวดในแต่ละขั้นตอนการผลิต ซึ่งบางอุตสาหกรรมทำให้ผลผลิตเสียหายจากการรอได้
6. ควรจัดวางผังโรงงานให้แต่ละขั้นตอนทำงานได้ต่อเนื่องกัน เพื่อจะทำให้การผลิตต่อเนื่องจนจบกระบวนการโดยใช้ระยะเวลาอันสั้น อีกทั้งใช้คนงานน้อยลงในแต่ละขั้นตอน
7. ควรปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรในแต่ละขั้นให้มีการสูญเสียน้อยที่สุด ทั้งในด้านไฟฟ้าและความร้อนรวมทั้งการสูญเสียน้ำ
8. ควรเปลี่ยนเครื่องจักร เป็นเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูงมาแทนเครื่องจักรเก่าที่มีประสิทธิภาพต่ำ
9. การใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติแทนการใช้คนทำงาน เนื่องจากมีความเที่ยงตรงและต้นทุนการผลิตต่ำ
10. ควรจัดเวลาการผลิตให้เหมาะสมกับอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ เช่น อัตราทีโอดีควรใช้ไฟฟ้าในช่วง 18:30 - 21:30 น. ให้น้อยที่สุด
11. ควรจัดการผลิตให้คงที่ตลอดเวลาไม่แกว่งขึ้นลง เนื่องจากจะทำให้ต้นทุนค่าพลังงานสูงขึ้น เช่น ระบบผลิตและส่งจ่ายความร้อน จะมีการสูญเสียมากถ้าเดินที่ภาระต่ำ ดังนั้นฝ่ายผลิตต้องมีความเข้าใจในเรื่องการผลิตพลังงานด้วย

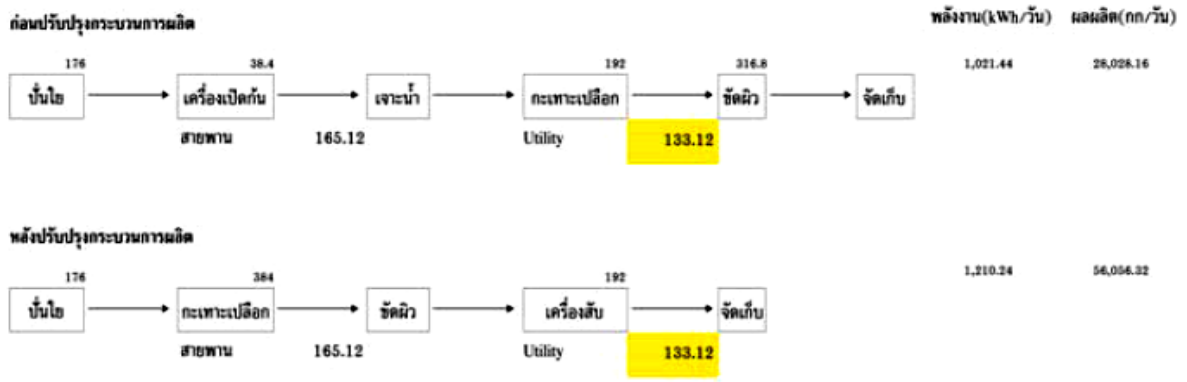
12. ควรทำการสอบเทียบมาตรวัดต่างๆอยู่ตลอดเวลา รวมทั้งตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ อีกทั้งพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ใช้เวลา ใช้พลังงานต่างๆ รวมทั้งน้ำน้อยที่สุด
13. ควรหาทางแก้ไขให้มีการผลิตใหม่หรือ reprocess ให้น้อยที่สุด บางอุตสาหกรรมเมื่อตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายแล้ว เมื่อไม่ได้คุณภาพจะต้องนำชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์กลับมาเริ่มต้นผลิตใหม่ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพที่ดีในแต่ละขั้นตอนที่ดีจะสามารถลดการสูญเสียจากการผลิตใหม่(reprocess)ได้
14. ควรใช้พลังงานให้เหมาะสมกับการผลิต เช่น ใช้น้ำมันร้อนแทนการใช้ลมร้อน ใช้ระบบ (Heat pumps) ในการลดความชื้นแทนการใช้เครื่องทำความร้อน เป็นต้น

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ยกเลิกกระบวนการกะเทาะก้นและเจาะน้ำเปลี่ยนมาเป็นการปรับปรุงเครื่องกะเทาะกะลา ให้สามารถกะเทาะกะลาโดยไม่ตองกะเทาะก้น และเพิ่มเครื่องกะเทาะเพิ่มขึ้นอีก 1 เท่าตัว พร้อมลดกระบวนการเจาะน้ำและลดการสับหลังจากทิวผิวแล้วและเพิ่มเครื่องสับมะพร้าว เพื่อทำให้เวลาการผลิตได้เร็วขึ้นส่งผลให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นเท่าตัว

สภาพหลังปรับปรุง

สามารถเพิ่มประมาณผลผลิตได้ 2 เท่าต่อวัน



รูปที่ 6.12 ผังการทำงานก่อนและหลังดำเนินการปรับปรุง

รูปที่ 6.13 การเปลี่ยนเฟืองกระเทาะกะลาเพื่อให้สามารถเปิดก้นกะลาและกระเทาะในเครื่องเดียวกัน

รูปที่ 6.14 ต้นแบบเครื่องสับที่ทดลองดำเนินการ

วิธีการคำนวณผลประหยัด

เพื่อตรวจสอบผลการประหยัดพลังงานของการดำเนินตามมาตรการ พบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง				
1.1 ปริมาณผลผลิต	P_b	kg/วัน	28,028.16	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 การใช้พลังงาน	E_b	kWh/วัน	1,021.44	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 ผลผลิตโดยประมาณ	P_t	kg/ปี	16.8×10^6	
2. ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง				
2.1 ปริมาณผลผลิต	P_a	kg/วัน	56,056.32	ข้อมูลจากโรงงาน
2.2 การใช้ไฟฟ้าของเครื่อง	E_b	kWh/วัน	1,210.24	ข้อมูลจากโรงงาน
3. ผลการประหยัดพลังงาน				
3.1 SEC ก่อนปรับปรุง	SEC_b	kWh/kg	0.03644	
$SEC_b = (E_b / P_b)$				
3.2 SEC หลังปรับปรุง	SEC_a	kWh/kg	0.02159	
$SEC_a = (E_a / P_a)$				
3.3 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	E_s	kWh/ปี	249,480.00	
$P_a \times \times (SEC_b - SEC_a)$				
3.4 ผลการประหยัดรวมทั้งสิ้น ได้แก่ ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงานที่ลดลง ค่าน้ำและอื่นๆ	C_s	บาท/ปี	3,741,700.80	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้ง	C	บาท	891,310	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน PB = C / S_c	PB	ปี	0.24	

กรณีศึกษาที่ 6.7
การติดตั้งเครื่องอัดน้ำยาแอมโมเนียและ Evaporative condenser

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท

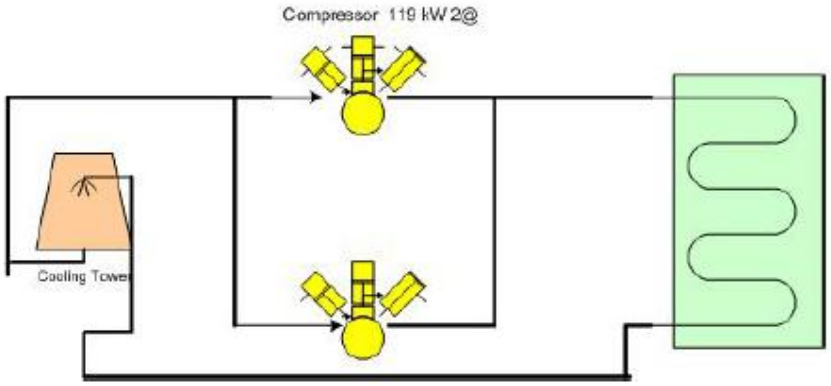
ชื่อบริษัท: บริษัท เพียววอเตอร์ แอนด์ไอซ์ จำกัด

สถานที่ตั้ง: 68 หมู่ที่ 6 ตำบลทำนบ
อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานผลิตน้ำแข็ง เพียววอเตอร์ แอนด์ไอซ์ เป็นโรงงานผลิตน้ำแข็งแบบซองและน้ำแข็งหลอด มีกำลัง ผลิตสูงสุดวันละ 2,400 ซอง โรงงานใช้ระบบไฟฟ้าแบบ TOD ดังนั้นในการผลิตทุกวัน ทางโรงงานจะเดินเครื่อง ทำน้ำแข็งในช่วงเวลา Partial Peak เวลา 8.00-18.30 และ OFF Peak เวลา 21.30 – 08.00 น. และหยุดเครื่องใน ช่วงเวลา ON Peak เวลา 18.30 – 21.30 น. โดยทางโรงงานมีห้องเย็นในการเก็บ สต๊อกน้ำแข็งไว้รอจัดจำหน่าย

เดิมทางโรงงานใช้คอมเพรสเซอร์ขนาด 119 kW จำนวน 2 เครื่องในการทำน้ำแข็ง 800 ซอง/รอบ ระบบการทำน้ำแข็งของเดิม จากการใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบในการผลิตน้ำแข็งนั้น คอมเพรสเซอร์จะทำงานวันละ 21 ชั่วโมง ซึ่ง การเดินเครื่องจักรในลักษณะดังกล่าวได้ส่งผลกระทบทำให้คอมเพรสเซอร์มีประสิทธิภาพลดลง และต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ทางโรงงานจึงมีแนวคิดติดตั้งคอมเพรสเซอร์ใหม่ประสิทธิภาพสูง และติดตั้งระบบระบาย ความร้อนแบบ Evaporative Condenser ทดแทนระบบระบายความร้อนแบบเดิมคือ แบบ Shell and Tube Condensers



รูปที่ 6.15 ระบบทำน้ำแข็งเดิมของโรงงาน

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

คอนเดนเซอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวถ่ายเทความร้อนออกจากสารความเย็น ซึ่งสารความเย็นนั้นรับความร้อนมาจากที่อีเวปอเรเตอร์และจากกระบวนการอัด การถ่ายเทความร้อนเทให้กับไอสารความเย็นนี้จะมีการถ่ายเทความร้อนจนไอสารความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวอีก

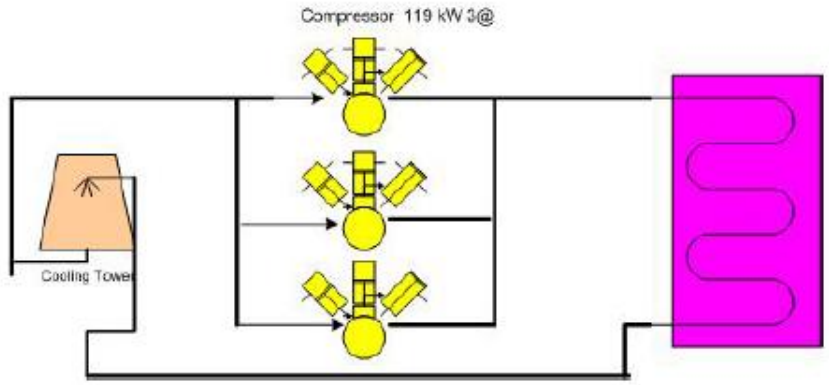
สำหรับสมรรถนะของเครื่องคอนเดนเซอร์จะสูงหรือไม่นั้น เป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบต้องคำนึงคือ ควรออกแบบอย่างไรจึงจะช่วยให้คอนเดนเซอร์ปฏิบัติหน้าที่ได้ตามที่ต้องการและข้อสำคัญจะต้องให้คอนเดนเซอร์มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่สามารถทำได้เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต

รูปแบบของคอนเดนเซอร์แบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1. ประเภทระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Condensers)
2. ประเภทระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Condensers)
3. ประเภทระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศ (Evaporative Condensers) คอนเดนเซอร์ประเภทนี้จะเป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศผสมกันนี้มีลักษณะการทำงานคล้ายหอน้ำเย็นแบบระบายความร้อนโดยวิธีกลแต่ที่ดีกว่าคือการระบายความร้อนโดยวิธีนี้สามารถประหยัดน้ำได้มากกว่า หลักการทำงานของคอนเดนเซอร์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศ จึงต้องมีอ่างรับน้ำ (Water Tank) โดยปั๊มมีหน้าที่ดูดน้ำจากอ่างขึ้นสู่หัวฉีด (Spray nozzles) ด้านบนหัวฉีดจะฉีดฝอยน้ำลงสู่ท่อไอสารความเย็น ในขณะเดียวกันพัดลมดูดอากาศ (Fan) จะทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในระบบเพื่อเสริมการระบายความร้อนของท่อไอสารความเย็น อากาศที่ถูกดูดเข้าสู่ระบบจะถูกส่งออกนอกระบบหลังจากพาความร้อนติดไปด้วย และด้วยเหตุที่อากาศที่จะถูกส่งออกนอกระบบผ่านฝอยน้ำมาก่อน จึงต้องมีอุปกรณ์จับเม็ดน้ำ (Eliminators) ที่ติดไปกับอากาศเพื่อเป็นการลดความสิ้นเปลืองน้ำหล่อเย็น

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ทำการติดตั้งคอมเพรสเซอร์ใหม่ประสิทธิภาพสูง และติดตั้งระบบระบาย ความร้อนแบบ Evaporative Condenser ทดแทนระบบระบายความร้อนแบบเดิมคือ แบบ Shell and Tube Condensers ซึ่งมีประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ต่ำและส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ระบบ คอมเพรสเซอร์ในการทำน้ำแข็งชุดใหม่ สามารถช่วยลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของโรงงานและลดการใช้ พลังงานไฟฟ้าลงด้วย

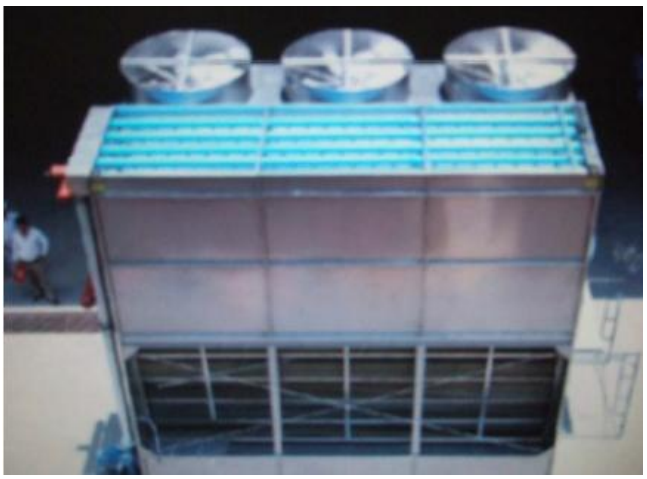


รูปที่ 6.16 ระบบใหม่หลังปรับปรุง

สภาพหลังปรับปรุง

รูปที่ 6.17 คอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบ 119 kW จำนวน 3 ตัว

รูปที่ 6.18 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า



รูปที่ 6.19 Evaporative Condenser

วิธีการคำนวณผลประหยัด

การวิเคราะห์ผลประหยัดที่เกิดขึ้นจริงจะตรวจสอบได้จากค่า SEC ของโรงงาน

เพื่อตรวจสอบผลการประหยัดพลังงานของการดำเนินตามมาตรการ พบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง				
1.1 วันทำงาน	d	วัน/ปี	360	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 ผลผลิตน้ำแข็งซอง	P_b	ซอง/วัน	2,400	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 พลังงานไฟฟ้า	E_b	kWh/วัน	3,854	ข้อมูลจากโรงงาน
1.4 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_f	บาท/kWh	3.10	บิลค่าไฟฟ้า
1.5 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิต	SEC_b	kWh/ซอง	1.61	
2. ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง				
2.1 ผลผลิตน้ำแข็งซอง	P_a	ซอง/วัน	2,400	ข้อมูลจากโรงงาน
2.2 พลังงานไฟฟ้า	E_b	kWh/วัน	3,019.62	ข้อมูลจากโรงงาน
2.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิต	SEC_a	kWh/ซอง	1.26	
3. ผลการประหยัดพลังงาน				
3.1 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = $P_a \times d \times (SEC_a - SEC_b)$	E_c	kWh/ปี	300,377	
3.2 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = $E_c \times C_f$	S_c	บาท/ปี	931,168.70	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้ง	C	บาท	4,400,000	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน PB = C / S_c	PB	ปี	4.723	

กรณีศึกษาที่ 6.8
การติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท: บริษัท น้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์ จำกัด
สถานที่ตั้ง: 99 หมู่ที่ 1 ตำบลสมสะอาด
อ.กุฉินารายน์ จังหวัดกาฬสินธุ์

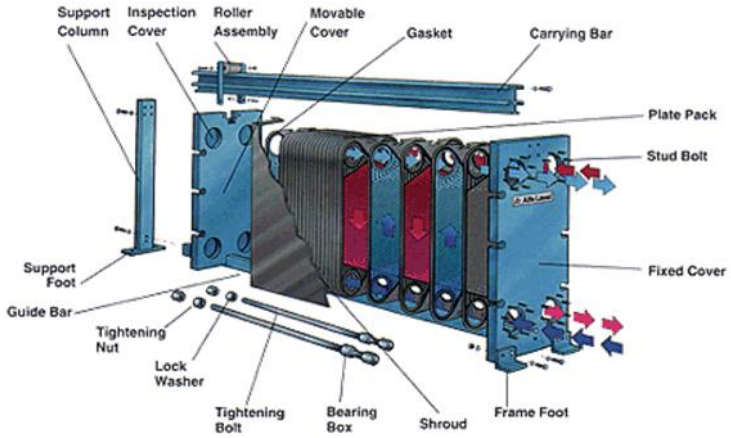
MITR PHOL

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

จากกระบวนการต้มน้ำตาล น้ำอ้อยจากถังพักใสจะไหลผ่าน Heat Exchanger แบบท่อรับความร้อนจากไอหัวหม้อสุดท้ายที่ปล่อยทิ้ง มาเข้าชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้น้ำอ้อยรับความร้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อลดการใช้ไอน้ำในการต้มน้ำตาล โรงงานได้ปรับปรุงเปลี่ยนมาใช้ Heat Exchanger แบบแผ่น Plate โดยรับความร้อนมาจากไอหัวหม้อชุดที่ 3 ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมากกว่าไอเสียที่ปล่อยทิ้ง สามารถทำให้อุณหภูมิน้ำอ้อยเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียส ช่วยลดการใช้ไอน้ำในการต้มน้ำอ้อยได้

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ประกอบด้วยแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนหลายแผ่น วางเรียงกันต่อขนานกันเป็นชุด ชุดแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกประกอบอยู่ระหว่าง เฟรมหน้า (fixed cover) และเฟรมอัด (movable cover) มีท่อเข้า-ออกอยู่บนเฟรมหน้า (อาจจะอยู่บนทั้งสองเฟรมก็ได้ ถ้ามีการจัดการไหลในชุดแผ่นมากกว่าหนึ่งรอบ) ชุดแผ่นและเฟรม ยึดกันให้แน่นด้วยชุดสลักยึด (tightening bolt and nut) แขวนอยู่บนคานแขวนบน (carrying bar) และตั้งอยู่บนคานรับล่าง



รูปที่ 6.20 Plate heat exchanger

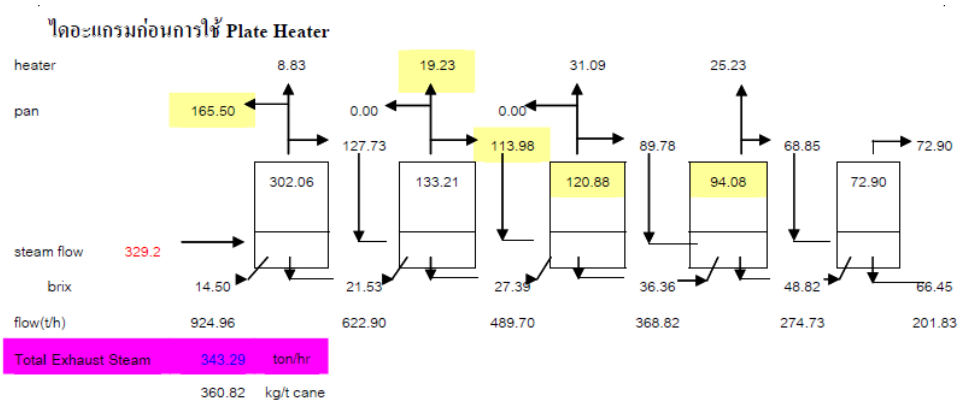
แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นแผ่นโลหะบาง ที่มีพื้นผิวเป็นคลื่น หรือเป็นรอนบนแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน จะมีปะเก็น (Gasket) อยู่รอบแผ่น เพื่อป้องกันการรั่วออก และบังคับทิศทางการไหลของของไหลใช้เป็นตัวกลาง ที่กั้นระหว่างของเหลวสองชนิดที่มีอุณภูมิแตกต่างกัน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกันตัวกลางและอาหารที่แลกเปลี่ยนความร้อนไม่มีการสัมผัสกันโดยตรง

ขนาดและจำนวนแผ่นของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน จะถูกออกแบบให้มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเพียงพอตามวัตถุประสงค์การใช้งาน พื้นผิวของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งเป็นคลื่น หรือรอน แบบแตกต่างกัน เพื่อเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน และทำให้ของเหลวเกิดการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนและลดการเกิดคราบตะกรัน (fouling)

วัสดุที่ใช้ทำแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสหกรรมอาหาร เป็นพื้นผิวที่ต้องสำผัสกับอาหารโดยตรง (Food contact surface) จะทำจาก stainless steel

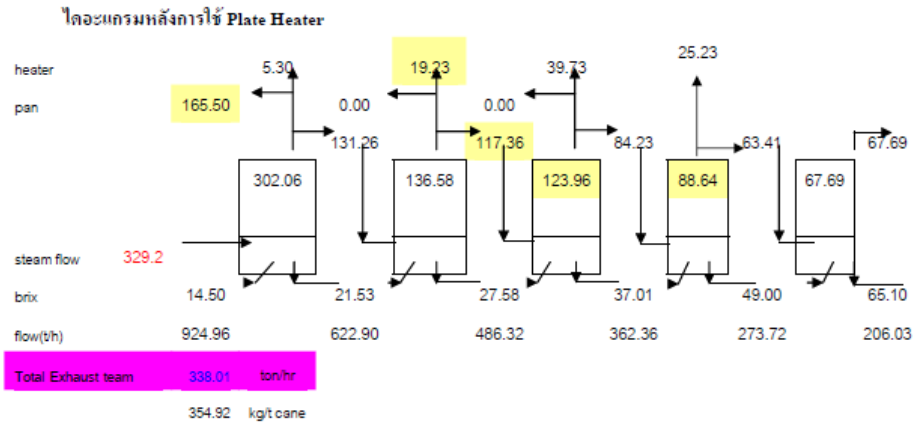
แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการติดตั้ง Plate heat exchanger เพื่อนำความร้อนทิ้งจากไอหัวหม้อชุดที่ 3 มาแลกเปลี่ยนให้กับน้ำอ้อยเพื่อลดการใช้ไอน้ำ



รูปที่ 6.21 Diagram ก่อนการใช้ Plate heat exchanger

สภาพหลังปรับปรุง



รูปที่ 6.22 Diagram หลังการใช้ Plate heat exchanger

รูปที่ 6.23 Plate heat exchanger ที่ติดตั้งหลังปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลประหยัด

การวิเคราะห์ผลประหยัดที่เกิดขึ้นจริงจะตรวจสอบได้จากค่า SEC ของโรงงาน

เพื่อตรวจสอบผลการประหยัดพลังงานของการดำเนินตามมาตรการ พบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง				
1.1 ปริมาณการใช้ไอน้ำในหม้อต้มดิบชุดที่ 1	$Q_{s,b}$	ตัน/ชั่วโมง	343.29	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 ปริมาณกากอ้อยที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง = $Q_{s,b}$ /(1.2x2.5)	$P_{b,2}$	ตัน/ชั่วโมง	114.43	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 ชั่วโมงการผลิต	h	ชั่วโมง/ปี	1,680	ข้อมูลจากโรงงาน
2. ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง				
2.1 ปริมาณการใช้ไอน้ำในหม้อต้มดิบชุดที่ 1	$Q_{s,a}$	ตัน/ชั่วโมง	338.01	ข้อมูลจากโรงงาน
2.2 ปริมาณกากอ้อยที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง = $Q_{s,a}$ /(1.2x2.5)	$P_{a,2}$	ตัน/ชั่วโมง	112.67	ข้อมูลจากโรงงาน
2.3 ราคากากอ้อย	C_f	บาท/ตัน	500.00	ข้อมูลจากโรงงาน
3. ผลการประหยัด				
3.1 ผลการประหยัดเชื้อเพลิง $P_{a,save} = (P_{b,2} - P_{a,2})x\ h$	$P_{a,save}$	ตัน/ปี	2,956	
3.2 ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ $S_c = C_f \times P_{a,save}$	S_c	บาท/ปี	1,478,400	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้ง	C	บาท	3,110,000	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C / S_c$	PB	ปี	2.10	

กรณีศึกษาที่ 6.9
การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุภัณฑ์ไส้กรอก

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท

ชื่อบริษัท: บริษัท กรุงเทพโปรดิ้วส จำกัด (มหาชน) (โรงงานไส้กรอก1)

สถานที่ตั้ง: 115 หมู่ 1 ถนนมิตรภาพ ตำบลตาลเดี่ยว
อ.แก่งคอย จังหวัดสระบุรี 18260

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการผลิตไส้กรอก แล้วทำการบรรจุภัณฑ์ใส่ซองตามขนาดและชนิดตามที่ลูกค้าต้องการเพื่อรอส่งมอบให้กับลูกค้าต่อไป จากการตรวจสอบ พบว่าในขั้นตอนการบรรจุภัณฑ์เดิมนั้นต้องอาศัยความชำนาญของพนักงานในการจัดเรียงไส้กรอกแล้วดำเนินการบรรจุภัณฑ์ ซึ่งค่อนข้างเสียเวลาในขั้นตอนดังกล่าว รวมถึงเครื่องบรรจุภัณฑ์ต้องเดินตัวเปล่าเป็นเวลานาน เนื่องจากรอขั้นตอนการจัดเรียง ส่งผลให้ปริมาณสินค้าที่ได้เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ค่อนข้างต่ำ นั้นหมายถึงต้องใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างมากต่อการบรรจุภัณฑ์ 1 ถุง

รูปที่ 6.24 รูปการจัดเรียงและบรรจุภัณฑ์เดิม

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

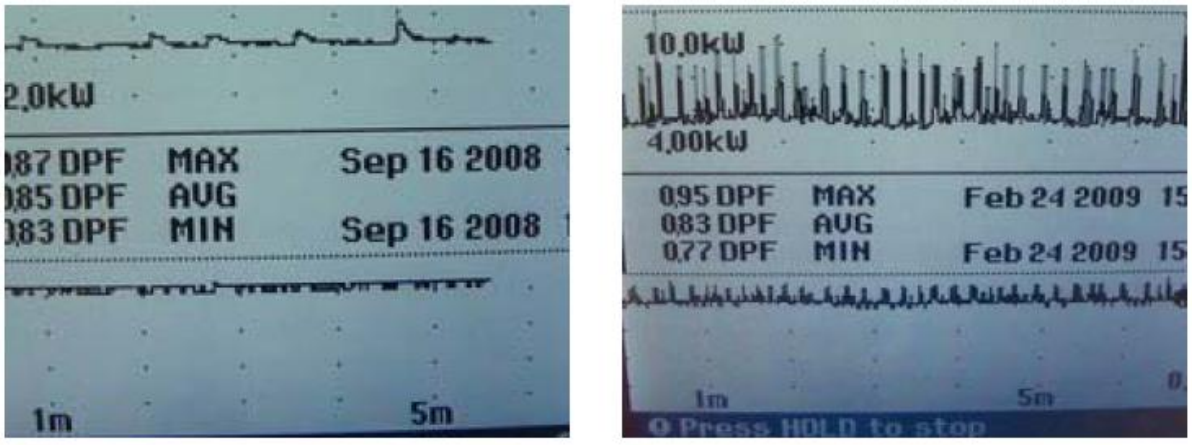
ใช้หลักการการจัดการสมัยใหม่ทางด้านการผลิต โดยมีการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์หรือเครื่องจักรเพิ่มเติมเพื่อให้ขั้นตอนการผลิตสมดุลกันทั้งหมดส่วนใหญ่กระบวนการผลิตจะมีอยู่หลายขั้นตอน ดังนั้นในแต่ละขั้นตอนควรจะผลิตให้สมดุลกันและไม่ต้องรอซึ่งกันและกัน หมายความว่าไม่ควรมีคอขวดในแต่ละขั้นตอนการผลิตซึ่งบางอุตสาหกรรมทำให้ผลผลิตเสียหายจากการรอได้

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการติดตั้งเครื่องบรรจุกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งสะดวกในการจัดเรียงไส้กรอกเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบรวมถึงลดระยะเวลาในการรอระหว่างขั้นตอนการจัดเรียง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในขั้นตอนการบรรจุภัณฑ์ค่อนข้างสูงกว่าระบบเดิมมาก ซึ่งช่วยลดพลังงานไฟฟ้าลงได้

สภาพหลังปรับปรุง

รูปที่ 6.25 รูปการจัดเรียงและเครื่องบรรจุภัณฑ์กึ่งอัตโนมัติ



รูปที่ 6.26 กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าใน 1 รอบของการบรรจุภัณฑ์

วิธีการคำนวณผลประหยัด

ดำเนินการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าและจำนวนบรรจุภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เพื่อนำมาทำดัชนีเปรียบเทียบผลประหยัด

เพื่อตรวจสอบผลการประหยัดพลังงานของการดำเนินตามมาตรการ พบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง				
1.1 เวลาในการทดสอบ	t	นาที	5	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 ปริมาณบรรจุภัณฑ์	$m_{p,b}$	แพ็ก	28,028.16	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 ดัชนีการใช้พลังงาน	SEC_b	kWh/แพ็ก	0.01861	ข้อมูลจากโรงงาน
2. ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง				
2.1 เวลาในการทดสอบ	t	นาที	5	ข้อมูลจากโรงงาน
2.2 ปริมาณบรรจุภัณฑ์	$m_{p,a}$	แพ็ก	56,056.32	ข้อมูลจากโรงงาน
2.3 ดัชนีการใช้พลังงาน	SEC_b	kWh/แพ็ก	0.00833	ข้อมูลจากโรงงาน
2.4 ปริมาณบรรจุภัณฑ์	m_p	แพ็ก/ปี	25.55×10^6	
2.5 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_f	บาท/kWh	2.92	
3. ผลการประหยัดพลังงาน				
3.1 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อแพ็ก = $SEC_b - SEC_a$	SEC_s	kWh/แพ็ก	0.01028	
3.2 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี = $\mathbf{SEC_s \times m_p}$	E_s	kWh/ปี	262,654.00	
3.3 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = $\mathbf{E_s \times m_f}$	S_c	บาท/ปี	766,949.68	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้ง	C	บาท	5,000,000	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน PB = C / S_c	PB	ปี	6.52	

กรณีศึกษาที่ 6.10
การเปลี่ยนเครื่องผลิตน้ำเย็นจาก Compressor มาเป็น Absorption Chiller (เชื้อเพลิงไม้ฟืน)

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท

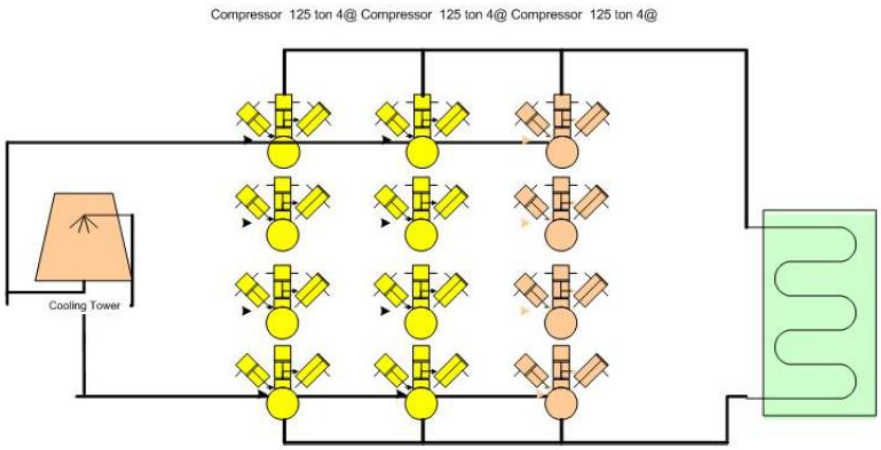
ชื่อบริษัท: บริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด

สถานที่ตั้ง: 27/4 หมู่ 7 ตำบลเขารูปช้าง
อ.เมือง จังหวัดสงขลา

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

บริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด เป็นโรงงานแปรรูปอาหารทะเล เช่น ปูอัด กุ้งต้มสุกแช่แข็ง เนื้อปลา ต้มสุกแช่แข็ง เป็นต้น โดยใช้ตราสินค้า PFP กระบวนการผลิตของโรงงานเริ่มจากการรับวัตถุดิบ เช่น ปลาสด กุ้ง สด นำมาชำแหละเอาเฉพาะส่วนเนื้อมาเข้ากระบวนการผลิต ตามแต่ละชนิดของอาหาร ในกระบวนการผลิตของ โรงงานมีการใช้ทั้งพลังงานความร้อนจากไอน้ำในการทำให้อาหารสุก และการใช้ความเย็นในการทำให้อาหารสด และเพื่อสำหรับแช่เก็บอาหารให้คงความสดอยู่เสมอ

เดิมโรงงานมีการใช้เครื่องทำความเย็นแบบรวมศูนย์ขนาด 500 ตัน จำนวน 3 เครื่อง โดยเปิดใช้งานครั้งละ 2 เครื่องต่อวัน เครื่องทำความเย็นจะทำงานตลอด 24 ชั่วโมง 356 วันต่อปีโดยสลับกันทำงาน เครื่องทำความเย็น ของเดิมใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบในการอัดสารทำความเย็นให้กับกระบวนการผลิตโดยมีประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ยที่ 0.95kW/Ton เนื่องจากระบบทำความเย็นของโรงงานมีการใช้พลังงานมาก ทางโรงงานจึงต้องการลดการใช้พลังงาน ไฟฟ้าของระบบทำความเย็นโดยการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption Chiller) โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการเผาไหม้ให้ความร้อนกับสารดูดกลืนเพื่อเกิดการระเหยและแยกตัว และเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนในการทำให้ระบบทำความเย็นสามารถทำงานได้



รูปที่ 6.27 ไดอะแกรมเครื่องทำความเย็นระบบเดิม

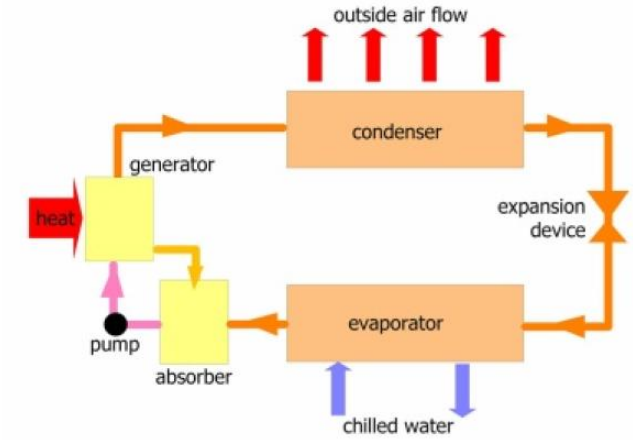
หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

ประโยชน์ของ Absorption Chiller

- ใช้ไฟฟ้าในปริมาณน้อย
- ใช้ความร้อนเป็นแหล่งพลังงาน
- ระยะเวลาคืนทุนสั้น เนื่องจาก ค่าบำรุงรักษาต่ำและค่าของพลังงานที่นำมาใช้ต่ำกว่าไฟฟ้ามาก
- ไม่มีเกิดปัญหาจากเสียงดังและการสั่นสะเทือน (Low Noise and Vibration)
- ไม่เกิดอันตรายจากการใช้งาน เพราะอุปกรณ์ทำงานใน สภาวะสุญญากาศ (Vacuum)
- สามารถปรับประสิทธิภาพการทำงานได้ตั้งแต่ 0 – 100%
- ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องต่ำ (No Need For anEngineer)
- สามารถติดตั้งบนสถานที่ ที่รับน้ำหนักได้น้อย
- ปราศจากสารทำลายชั้นบรรยากาศ (Ozone Safe and CFCs Free)
- เครื่องมีให้เลือกใช้ในช่วงทำความเย็นต่างๆ (Wide Range Selection)

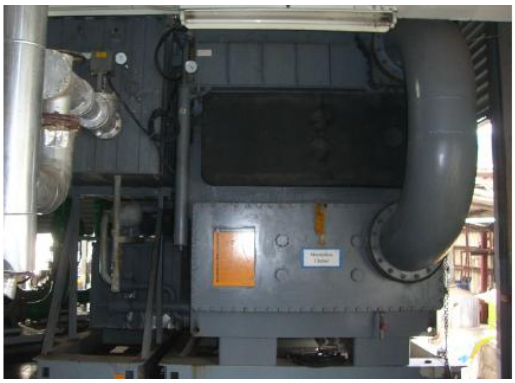
แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption Chiller) โดยใช้เชื้อเพลิงชีว มวลในการเผาไหม



รูปที่ 6.28 ไดอะแกรมการทำงานของ Absorbtion Chiller

สภาพหลังปรับปรุง



รูปที่ 6.29 Absorbtion Chiller

วิธีการคำนวณผลประหยัด

ดำเนินการตรวจวัดการค่าพลังงานและจำนวนผลผลิตในหนึ่งหน่วยเวลาก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อนำมาทำดัชนีเปรียบเทียบผลประหยัด

เพื่อตรวจสอบผลการประหยัดพลังงานของการดำเนินตามมาตรการ พบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง				
1.1 ปริมาณผลผลิค	P_b	ตัน/ปี	51,293.45	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า	E_b	kWh/ปี	8,042,890.48	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 ค่าไฟฟ้าต่อปี	S_b	บาท/ปี	22,922,237.85	ข้อมูลจากโรงงาน
1.4 ค่าพลังงานต่อผลผลิต = S_b / P_b	C_b	บาท/ตัน	446.88	
2. ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง				
2.1 ปริมาณผลผลิต	P_b	ตัน/ปี	54,652.00	ข้อมูลจากโรงงาน
2.2 ปริมาณการใช้ชีวมวล	$m_{f,a}$	ตัน/ปี	8,295.32	ข้อมูลจากโรงงาน
2.3 ค่าเชื้อเพลิงชีวมวล (ไม้ฟืน)	C_f,a	บาท/ตัน	2,500.00	ข้อมูลจากโรงงาน
2.4 ค่าพลังงานต่อผลผลิต $= C_f,a \times m_{f,a} / P_b$	C_a	บาท/ตัน	379.46	
3. ผลการประหยัดพลังงาน 3.1 ค่าพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี $= P_b \times (C_b - C_a)$	S_c	บาท/ปี	3,684,637.84	
4. การวิเคราะห์การลงทุน 4.1 ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้ง	C	บาท	11,448,099.00	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C / S_c$	PB	ปี	3.11	

กรณีศึกษาที่ 6.11
การลดขนาดของเครื่อง Streaming ที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท

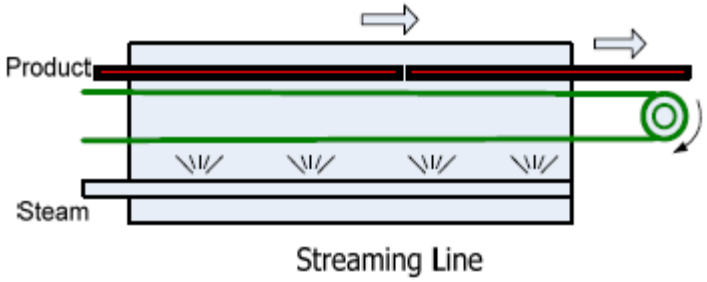
ชื่อบริษัท: บริษัท ลัคกี้ ยูเนียน ฟู้ดส์ จำกัด

สถานที่ตั้ง: 1/74-75 ถนนพระราม 2 ตำบลท่าทราย อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร 74000

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ในกระบวนการนึ่งปลาบดที่มีลักษณะเป็นเส้นวัตถุดิบจะถูกส่งผ่านเครื่อง Streaming เพื่อทำให้สุกโดย ก่อนที่จะนำมาตัดให้ได้ขนาดตามต้องการลักษณะของเครื่อง Streaming ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นตู้ stainless ขนาดความยาว 8 m กว้าง 30 cm สูง 40 cm ความร้อนที่ใช้ในเครื่อง Streaming ได้จากไอน้ำอิ่มตัวความดัน 3 bar.g ปริมาณ180 kg/hr ฉีดพ่นโดยตรงให้กับผลิตภัณฑ์เครื่อง Streaming ใช้งาน 20 ชั่วโมง/วัน 312 วัน/ปี

ขนาดของตู้ Streaming มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นทำให้สิ้นเปลืองไอน้ำในการอบนึ่งผลิตภัณฑ์ ดังนั้นถ้าลดขนาดของตู้ลงจะทำให้ประหยัดไอน้ำ ลงได้ ทางทีมงานจึงเสนอให้ปรับปรุงโดยการลดขนาดความสูงของตู้ streaming ลง



รูปที่ 6.30 ไดอะแกรมการทำงานของ Streaming line

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

ใช้หลักการการลดต้นทุนการผลิตในส่วนของกระบวนการผลิต โดยปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรในแต่ละขั้นให้มีการสูญเสียน้อยที่สุด ทั้งในด้านไฟฟ้าและความร้อน รวมทั้งการสูญเสียน้ำ

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

- ศึกษาขั้นตอนในการใช้งานของเครื่อง streaming ในการนึ่งผลิตภัณฑ์
- ศึกษาและตรวจวัดปริมาณการใช้ไอน้ำในเครื่อง streaming

- ออกแบบและสร้างเครื่อง streaming ใหม่
- ประเมินศักยภาพทางเทคนิคในการประหยัดพลังงานความร้อนจากไอน้ำ

สภาพหลังปรับปรุง

เครื่อง Streaming หลังการปรับปรุงจะมีขนาดความยาว 8 m กว้าง 30 cm สูง 30cm ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 3 bar.g ในเครื่อง Streaming ลดลง

รูปที่ 6.31 ตู้ Streaming ที่ประกอบขึ้นใหม่

วิธีการคำนวณผลประหยัด

เพื่อตรวจสอบผลการประหยัดพลังงานของการดำเนินตามมาตรการ พบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง				
1.1 ขนาดตู้ Streaming	ย x ก x ส	m x cm x cm	8 x30 x40	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 ความดันไอน้ำที่ใช้	P_b	bar.g	3	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 อัตราการใช้ไอน้ำ	m_b	kg/h	180	ข้อมูลจากโรงงาน
1.4 จำนวนชั่วโมงการทำงาน	h	ชั่วโมง/วัน	20	
1.5 จำนวนวันทำงาน	d	วัน/ปี	312	
1.6 อัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อไอน้ำที่ผลิต	m_f	ลิตร/kg.ไอน้ำ	0.0927	
1.7 ราคาเชื้อเพลิง (น้ำมันเตา)	c_f	บาท/ลิตร	12	
2. ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง				
2.1 ขนาดตู้ Streaming	ย x ก x ส	m x cm x cm	8 x30 x30	ข้อมูลจากโรงงาน
2.2 อัตราการใช้ไอน้ำ	m_a	kg/h	80	ข้อมูลจากโรงงาน
3. ผลการประหยัดพลังงาน				
3.1 ปริมาณไอน้ำที่ประหยัดได้ต่อปี = $(m_b-m_a) \times h \times d$	m_s	kg.ไอน้ำ/ปี	624,000	
3.2 คิดเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ = $m_f \times m_s$	m_{save}	ลิตร/ปี	57,843.19	
3.3 ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ = $m_{save} \times c_f$	S_c	บาท/ปี	694,118.28	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้ง	C	บาท	200,000.00	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน PB = C / S_c	PB	ปี	0.29	

กรณีศึกษาที่ 6.12
การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไอน้ำของเครื่อง Cooker โดยใช้ AutoTemperature

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท

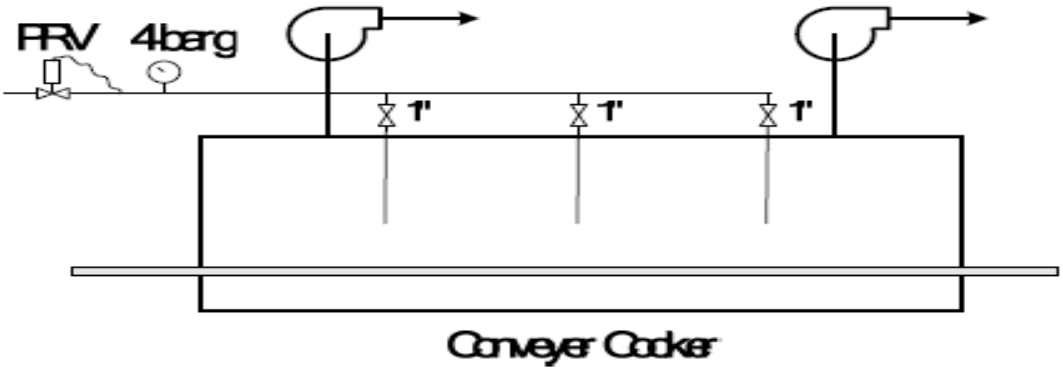
ชื่อบริษัท: บริษัท เมย์โอฟู้ดส์ จำกัด

สถานที่ตั้ง: 568 นิคมอุตสาหกรรมบางปู อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10280

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

กระบวนการผลิตของโรงงานมีกระบวนการทำสุกกุ้ง โดยใช้ความร้อนจากไอน้ำส่งเข้าสู่เครื่อง Cooker อย่างต่อเนื่องเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องที่ 98°C โดยการพ่นไอน้ำเข้าสู่ภายในเครื่องโดยตรง (Direct Steam) ซึ่งควบคุมไอน้ำผ่านวาล์วควบคุมด้วยมือ (Manual) ชนิด Globe Valve ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 3 วงจรต่อเครื่อง มีทั้งสิ้น 3 เครื่อง

การควบคุมแบบ Manual ด้วยผู้ปฏิบัติงานมีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมค่อนข้างมาก ส่งผลให้มีการสิ้นเปลืองไอน้ำเพื่อใช้สำหรับให้ความร้อนกับน้ำในการฆ่าเชื้อของเครื่อง Cooker โดยอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมอยู่ที่ 98oC ซึ่งการควบคมอุณหภมิจะไม่นิ่ง จึงทำให้ผู้ปฏิบัติต้องเปิดไอน้ำเข้าเครื่อง Cooker มากเกินจำเป็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้นิ่ง และได้ตามที่กำหนดอีกทั้งบริเวณฝาครอบเครื่องเป็นแบบภายในเปิดโล่ง ซึ่งทำให้ไอน้ำบางส่วนระบายออกสู่ภายนอกจากการดูดของ Exhaust Fan อย่างรวดเร็ว โดยไอน้ำดังกล่าวยังมีความร้อนอยู่เป็นการสูญเสียความร้อนมากเกินจำเป็น



รูปที่ 6.32 ผังวงจรท่อไอน้ำของเครื่อง Cooker

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

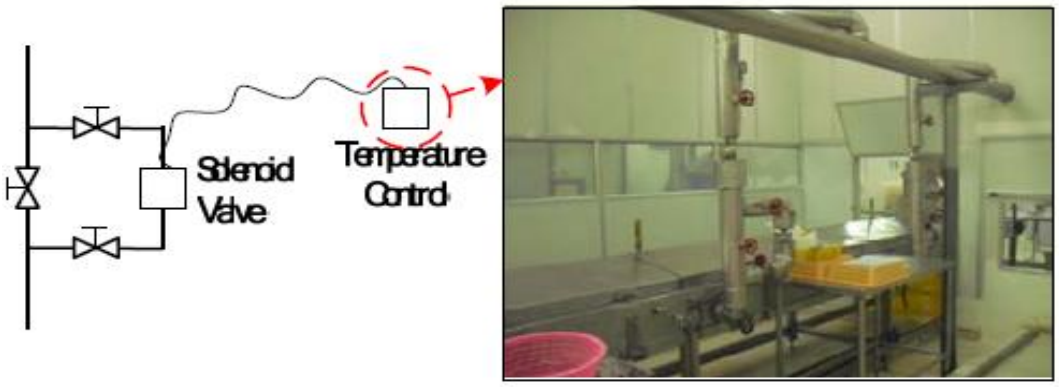
ใช้หลักการการลดต้นทุนการผลิตในส่วนของกระบวนการผลิต โดยการใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติแทนการใช้คนทำงาน เนื่องจากมีความเที่ยงตรงและต้นทุนการผลิตต่ำ

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ปรับปรุงระบบควบคุมใหม่โดยใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ (Auto Temperature Control) จะช่วยให้การใช้ไอน้ำในการทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิควบคุมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ลดการสูญเสียในส่วนที่เกินความจำเป็นลงได้ อีกทั้งทำให้การควบคุมอุณหภูมิแม่นยำขึ้นและควรปรับปรุงโครงสร้างบริเวณฝาครอบ จากแบบเปิดโล่งเป็นแบบให้มีแผ่นกั้นเป็นห้องๆ เพื่อให้ไอน้ำมีเวลาอยู่ภายในเครื่องนานยิ่งขึ้นเป็นการใช้ไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพแ ละควรปรับลดอัตราการดูดของExhaust Fan ลงให้เหมาะสม จะช่วยลดการใช้ไอน้ำของระบบลงได้มาก

สภาพหลังปรับปรุง

ติดตั้งชุดควบคุมการส่งจ่ายไอน้ำโดยใช้โซลินอยล์วาล์วร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิเพื่อทำหน้าที่เปิด-ปิดไอน้ำ ให้ได้อุณหภูมิตามความต้องการและเหมาะสมกับวัตถุดิบที่เข้าเครื่อง



รูปที่ 6.33 การติดตั้งชุดควบคุม Auto-Temperature control

วิธีการคำนวณผลประหยัด

เพื่อตรวจสอบผลการประหยัดพลังงานของการดำเนินตามมาตรการ พบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

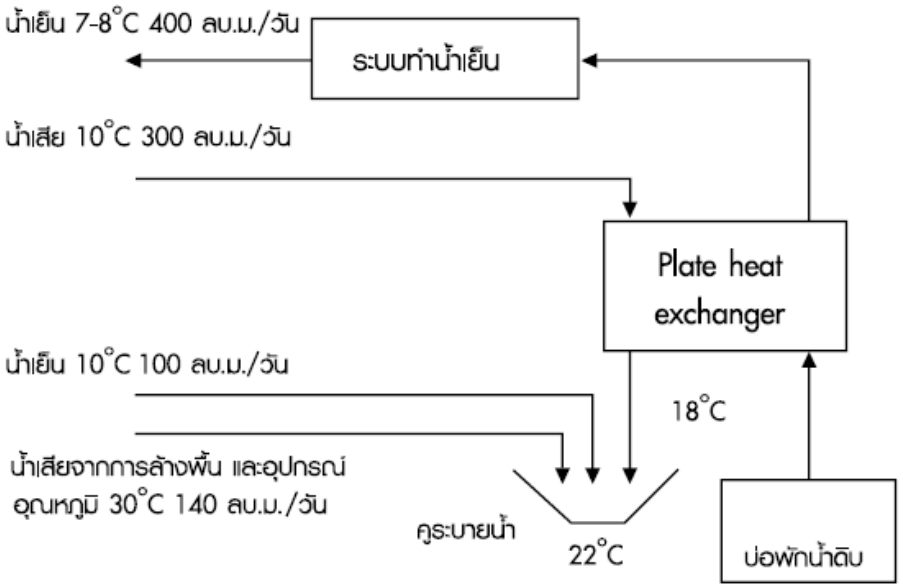
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง				
1.1 ขนาดวาล์วควบคุม		mm	25	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 อัตราไอน้ำที่ใช้	m_b	kg/h	117.76	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไอน้ำของเครื่อง Cooker	C_b	บาท/ปี	15,794,781.80	
2. ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง				
2.1 อัตราไอน้ำที่ใช้	m_a	kg/h	111.88	ข้อมูลจากโรงงาน
3. ผลการประหยัดพลังงาน				
3.1 % การใช้ไอน้ำที่ลดลง = $(m_b-m_a) \times 100/m_b$	$\%m_{save}$	%	5	
3.2 คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ = $\%m_{save} \times C_b$	S_c	บาท/ปี	739,739.09	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ติดตั้งชุดควบคุมการส่งจ่ายโดยใช้โซลินอยล์วาล์วร่วมกับอุปกรณ์ชุดควบคุม 3 ชุด	C	บาท	150,000.00	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน PB = C / S_c	PB	ปี	0.59	

กรณีศึกษาที่ 6.13
การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่าง น้ำเสียกับน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำเย็นโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

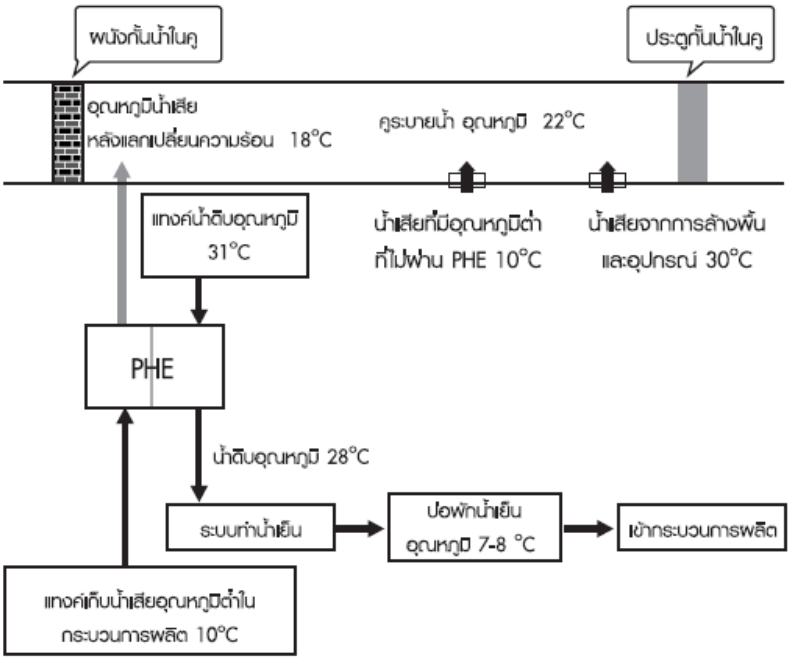
แหล่งที่มา : งานวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยร่วมกับ Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI)

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานใช้น้ำเย็นอุณหภูมิ 7-8 °C ปริมาณ 400 ลบ.ม./วัน ในกระบวนการผลิตจึงมีน้ำเสียที่เย็นจัด (อุณหภูมิ 10°C) ปล่อยทิ้งจำนวนมาก สถานประกอบการจึงได้นำน้ำเสียบางส่วนมาใช้ลดอุณหภูมิน้ำดิบก่อนเข้าระบบทำน้ำเย็นโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(PHE) พบว่าสามารถใช้น้ำเสียมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำดิบได้เพียง 300 ลูกบาศก์เมตร เนื่องจาก PHE มีขนาดเล็ก จึงยังมีน้ำเสียที่เย็นจัดเหลือปล่อยลงคูระบายน้ำไปรวมกับน้ำเสียที่ออกมาจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้น้ำเสียในคูระบายมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ประมาณ 22°C



รูปที่ 6.34 ผังวงจรท่อไอน้ำของเครื่อง Cooker



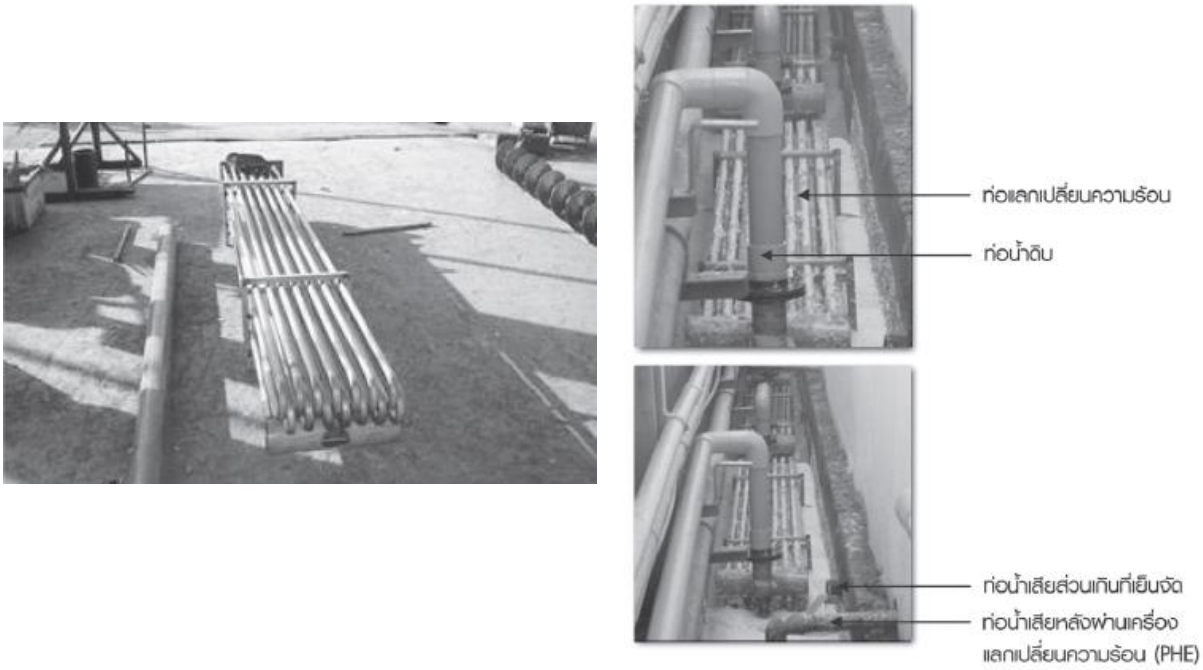
รูปที่ 6.35 ก่อนการติดตั้งท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อน้ำดิบเข้าแลกเปลี่ยนความร้อนกับ PHE

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

โรงงานมีกำลังการผลิตเฉลี่ย 15 ตันซูริมิ/วัน ใช้น้ำเย็นประมาณ 20 ลบ.ม./ตันซูริมิ โรงงานต้องเตรียมน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิ 7 - 8°C ปริมาณ 400 ลบ.ม./วัน และน้ำเย็นที่ผ่านการใช้ในกระบวนการผลิตแล้วพบว่ายังมีอุณหภูมิต่ำ จึงนำไปลดอุณหภูมิน้ำดิบโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Plate heat exchanger, PHE) ก่อนนำไปทำน้ำเย็น แต่ PHE มีความสามารถในการทำงานที่จำกัด สามารถแลกเปลี่ยนความเย็นได้สูงสุด 15 ลบ.ม./ชั่วโมง ดังนั้นจะมีน้ำเสียที่ยังมีอุณหภูมิต่ำอยู่ปริมาณ 100 ลบ.ม./วัน จากการตรวจวัดอุณหภูมิในคูระบายน้ำซึ่งรวบรวมน้ำเสียหลังจากการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วย PHE น้ำเสียที่เย็นจัด และน้ำเสียอื่นๆ พบว่ามีอุณหภูมิประมาณ 22°C จึงมีแนวคิดที่จะดึงความเย็นของน้ำเสียในคูระบายน้ำนี้มาใช้ลดอุณหภูมิของน้ำดิบที่จะทำน้ำเย็นโดยใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนที่จะเข้าเครื่อง PHE

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

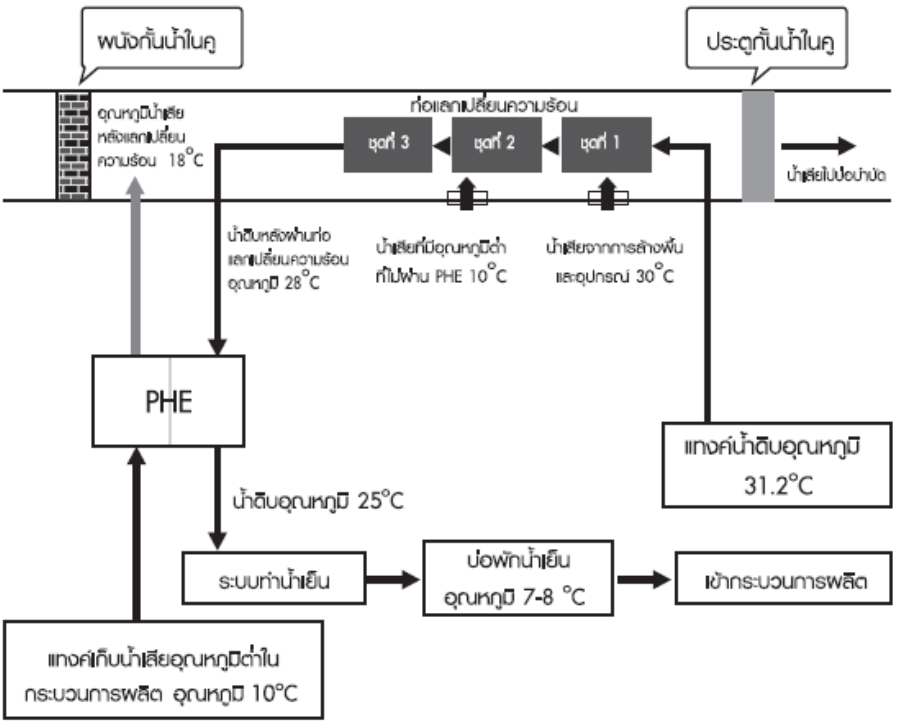
สถานประกอบการติดตั้งท่อแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งเป็นท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง3/4 นิ้ว ยาว 9 เมตร (1 ชุด ใช้ 14 เส้น ขดขนานกัน) และมีทั้งหมด 3 ชุด (รูปที่ 2.10) ดังนั้นท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด 22.6 ตารางเมตร วางลงในคูระบายน้ำเป็นคูลึก 60 เซนติเมตร กว้าง 60 เซนติเมตร และมีความยาว 13 เมตร (รูปที่ 2.11) และกั้นคูระบายน้ำ เพื่อกักน้ำเสียเป็นระยะเวลาหนึ่ง แล้วจึงไหลล้นออกไป



รูปที่ 6.36 (ซ้าย) ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน
(ขวา) การติดตั้งท่อแลกเปลี่ยนความร้อนและการเชื่อมต่อกับท่อน้ำดิบ

สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากการติดตั้งท่อแลกเปลี่ยนความร้อนในคูระบายน้ำดังรูปที่ 6.52 พบว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำเสียที่เย็นกับน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำเย็นเมื่อติดท่อแลกเปลี่ยนความร้อน 3 ชุดใส่ลงไปในคูระบายน้ำที่เย็นแล้วปล่อยน้ำดิบผ่านท่อแลกเปลี่ยนความร้อนได้อุณหภูมิของน้ำในแต่ละจุดดังตาราง



รูปที่ 6.37 สภาพหลังการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ตารางแสดงอุณหภูมิน้ำแต่ละจุดหลังจากติดตั้งท่อแลกเปลี่ยนความร้อนลงในคูระบายน้ำที่อัตราการไหลของน้ำดิบ 20 ลบ.ม./ชั่วโมง

รายการ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
อุณหภูมิน้ำดิบก่อนเข้าสู่ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน	31.2
อุณหภูมิน้ำดิบที่ออกจากท่อแลกเปลี่ยนความร้อน	28.0
อุณหภูมิน้ำเสียก่อนแลกเปลี่ยนความร้อน	22.3
อุณหภูมิน้ำเสียที่ออกจากคูระบายน้ำ	23.6
ลดอุณหภูมิน้ำดิบได้	3.2

ข้อจำกัด/ข้อควรระวังหลังดำเนินการ

- ทำความสะอาดคูระบายน้ำและฉีดล้างทำความสะอาดท่อแลกเปลี่ยนความร้อนทุกสัปดาห์
- การนำน้ำเสียมาใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ต้องมีมาตรการป้องกันการรั่วของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนระหว่างน้ำเสียไปยังน้ำดิบ
- ควรพิจารณาถึงการยอมรับจากลูกค้าจากการนำน้ำเสียมาใช้ในลักษณะนี้
- ประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการใช้งานขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำเสียและน้ำดิบ หากน้ำเสีย และ/หรือ น้ำดิบมีอุณหภูมิแตกต่างไป จะทำให้ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เปลี่ยนแปลงไปด้วย

วิธีการคำนวณผลประหยัด

เพื่อตรวจสอบผลการประหยัดพลังงานของการดำเนินตามมาตรการ พบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 อัตราการไหลของน้ำดิบ	$m_{w,1}$	m^3/h	20	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 Coefficient of performance (Q_t/Q_e) ของเครื่องทำน้ำเย็น	$COP_{Qt/Qe}$	-	3.5	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 ชั่วโมงการผลิตน้ำเย็น	hr	ชั่วโมง/วัน	8	ข้อมูลจากโรงงาน
1.4 ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	c_p	kJ/kg.k	4.2	
1.5 ความหนาแน่นของน้ำ	ρ	kg/m^3	1,000	
1.6 ความหนืดของน้ำ	μ	kg/m/s	9.49×10^{-4}	
1.7 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_e	บาท/kWh	3.0	
1.8 วันทำงาน	d	วัน/เดือน	26	
2. รายละเอียดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน				
2.1 เส้นผ้านศูนย์กลางท่อ ¾”	D	m	0.019	ข้อมูลจากโรงงาน
2.2 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อ ¾” = $\pi \times D^2/4$	A	m^2/ท่อ	0.000276	
2.3 ความยาวท่อสมมูล	L	m	27	ข้อมูลจากโรงงาน
2.4 จำนวนท่อ	n	ท่อ	14	ข้อมูลจากโรงงาน
2.5 ความเร็วของน้ำดิบ = $m_{w,1}/(3{,}600 \times A \times n)$	v	m/s	1.4	
2.6 ตัวเลขเรย์โนล์ = $\rho \times v \times D/\mu$	Re	-	27,737	
2.7 ความขรุขระสัมพัทธ์ = $0.0015 \times 10^{-3}/D$	e/D	-	0.00037	
2.8 จาก Moody Diagram	f		0.017	
2.9 ความดันลดในท่อ = $(f \times L \times v^2)/(D \times 2 \times 9.81)$	h_p	m	2.41	

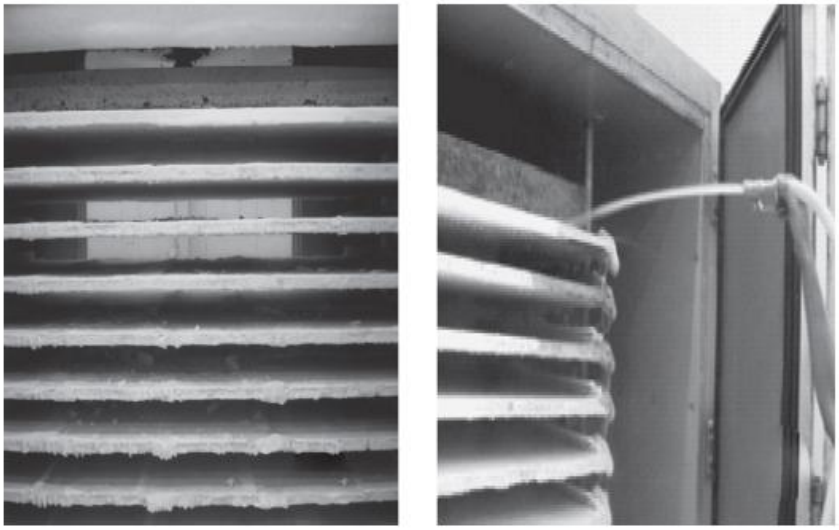
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
2.10 ความดันลดในข้อต่อ	h_b	m	0.3	
2.11 ประสิทธิภาพปั๊มน้ำ	η_p	-	0.8	
3. การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน				
3.1 พลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิน้ำดิบ = $(m_{w,1} \times 1{,}000/3{,}600) \times C_p \times (31.2 - 28)$	Q_t	kW_{th}	74.7	
3.2 คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ = Q_t x /$COP_{Qt/Qe}$	Q_e	kW	21.3	
3.3 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำผ่านท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน =[ρ x9.81x($m_{w,1}$/3,600)x (h_p+ h_b)]/ η_p	P_p	kW	0.18	
3.4 กำลังไฟฟ้าสุทธิที่ประหยัดได้ = (Q_e - P_p)	P_s	kW	21.1	
3.5 พลังงานไฟฟ้า = P_s x d x 12	E_s	kWh/ปี	52,665.60	
3.6 ค่าพลังงานไฟฟ้า = E_s x C_e	S_c	บาท/ปี	157,872.00	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ท่อสแตนเลส ¾"ยาว 9 m (1 ชุดใช้ 14 เส้น) รวม 3 ชุด และอุปกรณ์ข้อต่อ ท่อน้ำ หน้าจานเกลียว สกรู น็อต ประตูน้ำ	C	บาท	217,137	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน PB = C / S_c	PB	ปี	1.4	

กรณีศึกษาที่ 6.14
การลดปริมาณการใช้น้ำด้วยเครื่องฉีดน้ำความดันสูง

แหล่งที่มา : งานวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยร่วมกับ Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI)

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีตู้แช่เยือกแข็งแบบ Contact plate freezer จำนวน 5 ตู้ และมีตู้แช่เยือกแข็งแบบ Air blast จำนวน 2 เครื่อง หลังจากการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์พบว่ามีน้ำแข็งเกาะบริเวณ Plate ภายในตู้ Contact plate freezer ปริมาณมาก (รูปที่ 6.53 ซ้าย) ในการล้างจะใช้วิธีฉีดล้างโดยท่อปลายเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว (รูปที่ 6.53 ขวา) โดยมีการใช้น้ำ 1,300 ลิตร และใช้เวลาล้าง 52 นาที สำหรับตู้ขนาด 15 plate ซึ่งมี 3 ตู้ และใช้น้ำ 875 ลิตร และเวลา 35 นาที สำหรับตู้ขนาด 10 plate ซึ่งมี 2 ตู้ล้างวันละครั้ง เนื่องจากการล้างโดยท่อปลายเปิดมีความดันน้ำไม่มากพอที่จะทำการละลายน้ำแข็งที่เกาะตัวอยู่และใช้เวลานานในการล้าง จึงใช้น้ำในปริมาณมากทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรน้ำและเพิ่มภาระการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัด



รูปที่ 6.38 ลักษณะน้ำแข็งในตู้แช่เยือกแข็งแบบ Contact plate freezer (ซ้าย) และการล้างโดยท่อปลายเปิด (ขวา)

ตารางปริมาณน้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการล้างตู้แช่เยือกแข็งแบบ Contact plate freezer ขนาดต่าง ๆ โดยใช้ท่อปลายเปิด

ขนาดตู้	จำนวน (ตู้)	ความจุ (ตัน/ตู้)	ปริมาณน้ำ(ลิตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล(l/h)
15 plate	3	1.2	1,300	52	1,500
10 plate	2	0.8	875	35	1,500

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

การใช้เครื่องฉีดน้ำความดันสูงในการทำความสะอาดพบว่าเป็นวิธีที่ประหยัดน้ำและประหยัดเวลาในการทำความสะอาด เนื่องจากปริมาณน้ำที่ออกจากหัวฉีดความดันสูงจะน้อยกว่าที่ออกจากปลายท่อตามปกติ และน้ำที่ออกจากหัวฉีดความดันสูงสามารถฉีดล้างให้สิ่งสกปรกที่ติดอยู่หลุดออกได้ดี นอกจากนั้นการใช้หัวฉีดความดันยังสามารถปรับขนาดของหัวฉีดให้เหมาะสมตามลักษณะการใช้งานจึงสะดวกต่อการใช้งานทำให้ประหยัดเวลาในการปฏิบัติงาน

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ขั้นตอนการดำเนินการ

- โรงงานติดตั้งมิเตอร์น้ำบริเวณตู้แช่เยือกแข็ง เพื่อวัดปริมาณน้ำที่ใช้บริเวณ Contact plate Freezer
- ทำการติดตั้งเครื่องฉีดน้ำความดันสูงรายละเอียดของเครื่องแสดงดังตารางและรูปที่ 6.54
- อบรมให้ความรู้เรื่องเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดและวิธีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพแก่พนักงาน เพื่อให้เข้าจถึงความสำคัญและวิธีการใช้น้ำและพลังงาน

รูปที่ 6.39 เครื่องฉีดน้ำความดันสูง

ตารางแสดงรายละเอียดของเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง

รุ่น	VIP130
ความดันสูงสุด (Bar/psi)	130/1900
อัตราการไหล (l/h)	500
มอเตอร์ (kW)	2.2
รอบต่อนาที	2800
กระแสไฟ (V/Hz)	230/50
อุณหภูมิน้ำเข้าสูงสุด (°C)	50
น้ำหนัก (kg)	18
ขนาด (cm)	24 x 34 x 50

สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากการติดตั้งเครื่องฉีดน้ำความดันสูง และทดลองล้างตู้แช่เยือกแข็งแบบ Contact plate Freezer ขนาด 15 plate พบว่า สามารถประหยัดน้ำและเวลาได้มากกว่าการทำความสะอาดด้วยท่อปลายเปิดซึ่งการล้างตู้แช่เยือกแข็งโดยเครื่องฉีดน้ำความดันสูงที่ความดัน 75 บาร์ จะใช้น้ำในการล้างทำความสะอาด 250 ลิตร และใช้เวลาในการล้าง 38 นาที ในขณะที่การล้างด้วยท่อปลายเปิดตามปกติจะใช้น้ำ 1,300 ลิตรและใช้เวลา 52 นาที ซึ่งจะประหยัดเวลาในการล้างได้ 14 นาที และประหยัดน้ำได้ 1,050 ลิตร ต่อการล้างตู้แช่เยือกแข็งแบบ Contact plate freezer 1 ตู้ ดังนั้นหากมีการใช้ตู้แช่เยือกแข็ง 5 ตู้ จะประหยัดน้ำได้ 5,250 ลิตร หรือประมาณ 5 ลบ.ม./วัน

ข้อมูลการล้างตู้แช่เยือกแข็งแบบ Contact plate freezer โดยใช้ท่อปลายเปิดและเครื่องฉีดน้ำความดันสูง

รายการ	ปริมาณน้ำที่ใช้ ลิตร	เวลาที่ใช้ นาที	อัตราการไหล ลิตร/ชั่วโมง
แบบท่อปลายเปิด	1,300	52	1,500
แบบใช้หัวฉีดความดันสูงความดัน 74 bar	250	38	398

หมายเหตุ ทดลองจริงกับตู้แช่ 15 Plates

วิธีการคำนวณผลประหยัด

เพื่อตรวจสอบผลการประหยัดพของการดำเนินตามมาตรการ พบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ปริมาณน้ำที่ลดลง	$m_{w,s}$	m^3/d	5	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_e	บาท/kWh	3.0	
1.3 วันทำงาน	d	วัน/เดือน	26	
1.4 ค่าน้ำเฉลี่ย	c_w	บาท/ m^3	17	
1.5 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (3 ชั่วโมง/วัน)	E	kWh/วัน	6.6	
2. การวิเคราะห์ผลประหยัดที่เกิดขึ้น				
2.1 พลังงานไฟฟ้าในเครื่องสูบน้ำ = **E x d** x 12	E_s	kWh/ปี	2,059.20	
2.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องสูบน้ำ = $E_s \times C_e$	CE	บาท/ปี	6,177.60	
2.3 ปริมาณน้ำที่ประหยัดได้ = $m_{w,s} \times d \times 12$	m_w	m^3/ปี	1,560	
2.4 ค่าน้ำที่ประหยัดได้ = $m_w \times c_w$	CW	บาท/ปี	26,520	
2.5 ผลประหยัดรวมต่อปี = CW-CE	S_c	บาท/ปี	20,342.40	
3. การวิเคราะห์การลงทุน				
3.1 ราคาค่าเครื่องฉีดน้ำความดันสูง+ สายยาง+กิ๊บ	C	บาท	17,635.00	
3.2 ระยะเวลาคืนทุน PB = C / S_c	PB	ปี	0.87	

ข้อจำกัด/ข้อควรระวัง

- การใช้เครื่องฉีดน้ำความดันสูง เมื่อติดตั้งและจัดเครื่องเรียบร้อย ก่อนเปิดสวิทช์ของเครื่องให้กดไกปืนไว้แล้วจึงกดสวิทช์เปิด
- การใช้หัวฉีดความดันสูงล้างตู้แช่แข็ง จะต้องใช้อย่างระมัดระวังเป็นพิเศษ อย่าให้ฉีดโดนตัวพนักงาน
- การใช้หัวฉีดความดันสูงในการฉีดไล่น้ำแข็งในตู้แช่แข็งแบบ Contact plate freezer ต้องระวังไม่ให้โดนสายฉีดแอมโมเนียข้างหลัง

กรณีศึกษาที่ 6.15
การเปลี่ยนระบบทำความเย็นสำหรับห้องเย็นเก็บสินค้า จากระบบ Booster hi-stageเป็นคอมเพรสเซอร์แบบ Two-stage

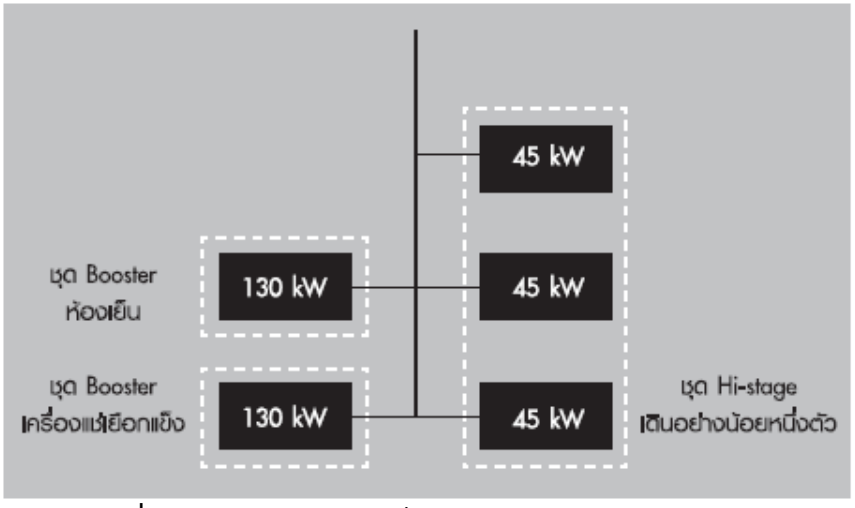
แหล่งที่มา : งานวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยร่วมกับ Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI)

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานใช้ระบบทำความเย็นในลักษณะ Two-stage แบบ Booster hi-stage โดยใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น และระบายความร้อนด้วยน้ำ สำหรับเดินเครื่องแช่เยือกแข็ง (Contact plate freezer และ Air blast freezer) และห้องเย็นเก็บสินค้า (Cold storage) ร่วมกัน โดยมีรายละเอียดของคอมเพรสเซอร์ดังนี้

- ชุด Booster สำหรับเครื่องแช่เยือกแข็ง ประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์แบบสกรู ขนาด 130 kW จำนวน 1 ตัว
- ชุด Booster สำหรับห้องเย็นเก็บสินค้า ประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์แบบสกรู ขนาด 130 kW จำนวน 1 ตัว
- ชุด Hi-stage ประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์แบบสกรู ขนาด 45 kW จำนวน 3 ตัว

แต่ปัจจุบันมีการแช่เยือกแข็งน้อยลง เวลาส่วนใหญ่ที่ระบบทำความเย็นทำงานจึงเป็นการใช้สำหรับห้องเย็นเก็บสินค้าเพียงอย่างเดียว ระบบทำความเย็นดังกล่าวอาจใช้กำลังไฟฟ้าเกินความจำเป็น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มคอมเพรสเซอร์สำหรับเดินห้องเย็นเก็บสินค้าโดยเฉพาะในขณะที่มีการใช้งานสำหรับห้องเย็นเก็บสินค้าเพียงอย่างเดียว เพื่อลดขนาดของคอมเพรสเซอร์ที่ต้องใช้งานลง



รูปที่ 6.40 ระบบทำความเย็นแบบ Booster hi-stage

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

ระบบทำความเย็นแบบ Booster/Hi-stage เป็นระบบทำความเย็นแบบ Two-stage อย่างหนึ่ง โดยใช้คอมเพรสเซอร์แบบ Single-stage 2 ตัว มาทำหน้าที่เป็นชุด Booster และชุด Hi-stage การใช้งานระบบทำความเย็น Two-stage แบบ Booster/Hi-stage คอมเพรสเซอร์จะต้องทำงานทั้งชุด Booster และชุด Hi-stage เนื่องจากระบบทำความเย็นเดิมถูกออกแบบมาสำหรับการใช้งานเครื่องแช่เยือกแข็ง และห้องเย็นเก็บสินค้าได้พร้อมกัน ดังนั้น เมื่อมีภาระการทำความเย็นน้อย ในกรณีใช้งานห้องเก็บสินค้าเพียงอย่างเดียวโดยไม่ได้มีการแช่เยือกแข็ง ระบบจะสิ้นเปลืองพลังงาน เพราะต้องเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ชุด Booster อย่างน้อย 1 ตัวเสมอ ซึ่งอาจใหญ่เกินไปสำหรับการใช้งานเฉพาะห้องเย็นเก็บสินค้า

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

คำนวณภาระการทำความเย็นของห้องเย็นเก็บสินค้าจำนวน 2 ห้อง ควบคุมอุณหภูมิที่ -25 $^{\circ}$C เท่ากับ 34,096 วัตต์/ห้อง (34.1 กิโลวัตต์/ห้อง) รวมสองห้องเท่ากับ 68,192 วัตต์ (68.2 กิโลวัตต์) ซึ่งต้องการคอมเพรสเซอร์ Two-stage ขนาดประมาณ 75 กิโลวัตต์ (Nominal power ของคอมเพรสเซอร์) จำนวน 1 ชุด โดยใช้ร่วมกับระบบท่อน้ำยาเดิม รายละเอียดการคำนวณแสดงได้ดังรูปที่ 6.56 ข้อกำหนดในการออกแบบ

- จำนวนห้องเย็นเก็บสินค้า 2 ห้อง
- ขนาดห้อง 18 x 20 x 6 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง)
- อุณหภูมิห้อง -25 องศาเซลเซียส
- สินค้า กุ้งแช่แข็ง
- ปริมาณหมุนเวียน 25,000 กิโลกรัม/วัน
- อุณหภูมิสินค้าเข้า -15 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิสินค้าออก -18 องศาเซลเซียส
- ระยะเวลาปรับลดอุณหภูมิ 20 ชั่วโมง
- กำลังความเย็นที่ต้องการ (ต่อห้อง) 34,096 วัตต์
- สารทำความเย็น R-717 (แอมโมเนีย)

DK

Coldroom Refrigeration Load Computation

Date: พฤ, 20th กุมภาพันธ์ 2008 **File:** [redacted] Cold Storage Room -25C.cwc

Site location: Thailand, Bangkok.
Latitude: 13º 55' N **Longitude:** 100º 36' E **Altitude:** 12 metres above sea level.

Calculation for: 21st day of มีนาคม, 12:00pm

Reference: [redacted] Cold Storage Room -25C

Ambient: DB 38.0ºC; WB 28.0ºC; RH 48%
Room: DB -25.0ºC; WB -25.0ºC; RH 95%

Internal Floor Area: 344.96m²
Internal Room Volume: 2,000.77m³

Dimensions:

Wall	Length	Height	Thickness	Facing	Shading	Ground	Colour *f*	Grnd.*f*	Solar exp.
1	18.000	6.000	0.200	N	0%	0%	0.95	0.23	No
2	20.000	6.000	0.200	E	0%	0%	0.95	0.23	No
3	18.000	6.000	0.200	S	0%	0%	0.95	0.23	No
4	20.000	6.000	0.200	W	0%	0%	0.95	0.23	No

Construction:

Wall	Material	'U'	TD K	Gain
1	Polystyrene foam slab (200 mm)	0.160	63.0	1.089
2	Polystyrene foam slab (200 mm)	0.160	63.0	1.137
3	Polystyrene foam slab (200 mm)	0.160	63.0	1.089
4	Polystyrene foam slab (200 mm)	0.160	63.0	1.210
			Total Wall Gain:	**4.524 kW**

Doors:

Door	Wall	Type	Area	Colour *f*	Gain
1	2	Polystyrene (200 mm)	7.20	0.95	0.073
				Total Door Gain:	**0.073 kW**

Floor:

Description	'U'	TD K	Location	Gain
Polystyrene foam slab (200 mm)	0.160	55.0	Ground	3.339
			Total Floor Gain:	**3.339 kW**

Ceiling:

Description	'U'	TD K	Temp. Above	Gain
Polystyrene foam slab (200 mm)	0.160	63.0	Ambient	3.477
			Total Ceiling Gain:	**3.477 kW**

'Coldwind 2001' calculation software program by Mistral Associates. Copyright © 1998-2000 Page 1

DK

Coldroom Refrigeration Load Computation

Date: พฤ, 20th กุมภาพันธ์ 2000 **File:** [redacted] Cold Storage Room -25C.cwc

Infiltration:

Usage: Normal (acf=1.0).

Air change/day:	Litres per second:	Cubic metres per min:	Cubic metres per hour.
1.087	25.179	1.511	90.6

Sensible Gain: 6.407 kW **Latent Gain: 0.000 kW** **Total Gain: 6.407 kW**

Product:

Product:	Shrimp.
Entry temperature:	-15.00 ºC
Exit temperature:	-18.00 ºC
Freezing temperature:	-2.20 ºC
Reduction cycle:	20 hours.
Turnover:	12.50 kg/m³/cycle. Total of 25,000.0 kilograms/cycle.
Heat below freezing:	1.89 kJ/kg K **Gain:** 1.969 kW
	Total Gain: 1.969 kW
	Total Product Gain: 1.969 kW

Personnel:

No.	Activity	People	Hours	Sensible	Latent	Total
1	Moderate work	4	6.0	0.125	0.197	0.322
Sensible Gain: 0.125 kW		**Latent Gain: 0.197 kW**			**Total Gain:**	**0.322 kW**

Lighting:

No.	Description	Qty	Hours	Rated Watts	Total
1	Incandescent	72	6.0	40	0.720
				Total Gain:	**0.720 kW**

Equipment:

No.	Description	Qty	Pwr.	Hours	Sensible	Latent	Total
1	Fork Truck (20 kW electric)	1	100%	6	5.000	0.000	5.000
Sensible Gain: 5.000 kW		**Latent Gain: 0.000 kW**				**Total Gain:**	**5.000 kW**

Total Refrigeration Load:

	Sensible	Latent	Total
Primary Load:	**25.633 kW**	**0.197 kW**	**25.830 kW**
Running Load:			**5.166 kW**
Cooler Fan Load:			**3.100 kW**
Total Ref. Load:			**34.096 kW**

'Coldwind 2001' calculation software program by Mistral Associates. Copyright © 1998-2000 Page 2

รูปที่ 6.41 รายการคำนวณภาระการทำความเย็น

สภาพหลังปรับปรุง

สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ประมาณปีละ 1,023,840 บาท/ปี โดยประเมินผลประหยัดเฉพาะเมื่อมีการใช้งานสำหรับห้องเย็นเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการแช่เยือกแข็ง (12 ชั่วโมง/วัน) ไม่ได้คิดช่วงเวลาที่มีการใช้งานทั้งการแช่เยือกแข็งและห้องเย็นเก็บสินค้า (8 ชั่วโมง/วัน)

วิธีการคำนวณผลประหยัด

เพื่อตรวจสอบผลการประหยัดพของการดำเนินตามมาตรการ พบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลก่อนปรับปรุง				
1.1 กำลังไฟฟ้าจริงในช่วงกลางคืนที่เดินเฉพาะห้องเย็น (มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ 130 kW + 45 kW)	E_a	kW	124	ข้อมูลจากการตรวจวัด (92kW +32kW)
1.2 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_e	บาท/kWh	3.0	
1.3 ชั่วโมงการทำงาน	h	ชั่วโมง/วัน	12	
1.4 จำนวนวันทำงานต่อเดือน	d	วัน/เดือน	30	
2. ข้อมูลหลังปรับปรุง				
2.1 คอมเพรสเซอร์ที่เลือกใช้มี Nominal power 75 kW แต่ขณะใช้งานมีการใช้กำลังไฟฟ้า	E_b	kW	45	ข้อมูลจากการตรวจวัด
3. การวิเคราะห์ผลประหยัดที่เกิดขึ้น				
3.1 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = $(E_a - E_b) \times h \times d \times 12$	E_{save}	kWh/ปี	341,280.00	
2.2 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = $E_{save} \times C_e$	S_c	บาท/ปี	1,023,840	
3. การวิเคราะห์การลงทุน				
3.1 ค่าอุปกรณ์รวมติดตั้ง	C	บาท	2,500,000	
3.2 ระยะเวลาคืนทุน PB = C / S_c	PB	ปี	2.4	

หมายเหตุ

แนวทางการปรับปรุงอีกแบบหนึ่งคือใช้คอมเพรสเซอร์ชุดเดิมที่มีอยู่ โดยแก้ไขระบบท่อน้ำยา เพื่อให้สามารถปรับมาใช้งานคอมเพรสเซอร์เพียงตัวเดียว เมื่อต้องการใช้งานสำหรับห้องเย็นเก็บสินค้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งต้องตรวจสอบถึงระบบไฟฟ้าควบคุม และระบบท่อน้ำยาว่าสามารถแก้ไขปรับปรุงได้หรือไม่ และตรวจสอบว่าคอมเพรสเซอร์ที่มีอยู่สามารถทำงานแบบ Two stage ภายในตัวได้หรือไม่ซึ่งหากเป็นไปได้จะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนน้อยกว่า แต่จะมีการปรับเปลี่ยนระบบท่อเดิมค่อนข้างมาก

6.2 มาตรการที่ในระบบสนับสนุน

กรณีศึกษาที่ 6.16
การลดการระบายน้ำทิ้งก้นหม้อไอน้ำให้เหมาะสม

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท : บริษัท เอเพ็ค ปิโตรเคมิคอล จำกัด
สถานที่ตั้ง : 14 ถนนสาย 3191 ต.มาบตาพุด
อ.เมือง จ.ระยอง 21150

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ในกระบวนการผลิตของโรงงานมีการใช้งานหม้อน้ำแบบท่อไฟ ขนาด 15 Ton/hr จำนวน 1 ชุด ผลิตไอน้ำเพื่อใช้งาน 8 Ton/hr คงที่และต่อเนื่องตลอดเวลาผลิต ด้วยความดันการผลิตไอน้ำ 8.0 Barg เปิดใช้งาน 24 ชั่วโมง 350 วัน/ปี

ในการระบายน้ำทิ้งก้นหม้อไอน้ำใช้ระบบควบคุมด้วย Timer ร่วมกับวาล์วควบคุมด้วยลม โดยมีการตั้งเวลาการระบายที่ 3 นาทีต่อครั้งๆ ละ 6 วินาที เมื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำย้อนหลังที่บันทึกไว้โดยการทดสอบจากห้องทดสอบภายนอกย้อนหลัง 1 ปี พบว่ามีค่าดังตาราง

Item	Unit	Avg			STD	
		soft	boiler	%BD	soft	boiler
pH		9.36	11.49		5.8-9.0	11.0-11.8
Conductivity	us/cm	154.13	2,026.25	7.07%		
TDS	ppm	107.75	1,418.38	7.06%		3,000.00

และจากการเก็บตัวอย่างน้ำมาตรวจวัดพบว่ามีค่า Conductivity 2,200 microS/cm ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานนั่นหมายถึงการสิ้นเปลืองเนื่องจากการระบายทิ้งมากเกินไป

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

การ Blowdown หมายถึง การระบายน้ำที่มีความเข้มข้นของสารละลายของของแข็งและอนุภาคต่างๆ เกินกว่าระดับที่เหมาะสม ออกจากหม้อต้มน้ำ (Boiler) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะกรัน (Scale formation) ภายในหม้อไอน้ำและระบบท่อ ป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion) เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลาย ป้องกันการปนของน้ำร้อนไปกับไอน้ำ (Carryover) เนื่องจากการเดือดอย่างรุนแรงภายในหม้อไอน้ำเพราะความเข้มข้นของสารละลายที่ สูงขึ้น และป้องกันไม่ให้วัสดุที่เกี่ยวข้องสูญเสียสมบัติความเหนียว (ductility) เกิดการเปราะ (brittle) ขึ้นกับวัสดุ (Embrittlement) ซึ่งอาจทำให้เกิดการการแตกหัก เสียรูปของวัสดุได้

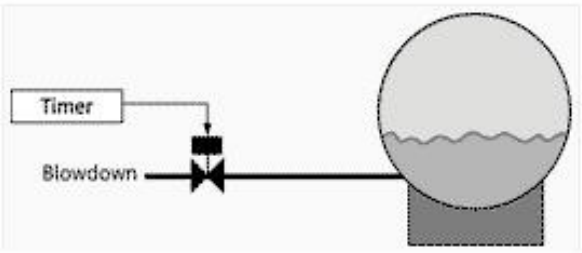
ความเข้มข้นของสาร ละลายที่สูงขึ้นในหม้อไอน้ำ เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อน้ำเกิดระเหยเป็นไอน้ำไปเรื่อยๆ แต่สารละลายของของแข็งหรืออนุภาคต่าง ๆ ไม่ได้ระเหยไปกับไอน้ำเหล่านั้น เมื่อมีการเติมน้ำทดแทนไอน้ำที่ระเหยไปมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายของของแข็งเพิ่มสูงตลอดเวลา ซึ่งจำเป็นต้องระบายน้ำที่มีความเข้มข้นสูงออกจากหม้อไอน้ำเพื่อกำจัดสาร ละลายเหล่านั้นออกจากระบบหม้อต้มน้ำ

การระบายน้ำออกจากหม้อ ต้มมีอยู่ สามารถระบายน้ำออกที่ระดับผิวน้ำ หรือ Surface Blowdown จะสามารถขจัดตะกอนที่ลอยอยู่ระดับผิวน้ำได้ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสะสม จึงอาจต้องทำการปล่อยน้ำออกอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่สารแขวนลอย หรือตะกอนที่จับตัวกันอยู่ในรูปของสลัดจ์ (Sludge) จะจับตัวอยู่ที่ระดับผิวล่าง หรือก้นถัง การขจัดออกจึงต้องระบายออกทางด้านล่างถัง เรียกว่า Bottom Blowdown

การควบคุมการระบายน้ำมี 2 แบบ คือ

1. การระบายน้ำแบบ Manual

   การ ระบายน้ำแบบ Manual เป็นวิธีการแบบง่าย และธรรมดาที่สุด โดยจะใช้วาล์วระบายน้ำด้วยมือหมุน เพื่อระบายเอาสารแขวนลอย และของแข็งที่ปะปนอยู่ในน้ำออกไปพร้อมกับน้ำ การระบายน้ำแบบ Manual มีข้อดีตรงที่สามารถทำได้ง่าย โดยไม่จำเป็นต้องทำการติดตั้งเซนเซอร์ ทำให้การลงทุนต่ำ แต่มีข้อเสียที่ต้องอาศัยคนทำการเปิด/ปิดวาล์ว และไม่สามารถแก้ปัญหาของความร้อนสูญเสียได้ ทำให้ลดประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำลงโดยปกติของระบบหม้อต้มไอน้ำ ทั่วไปจะมีการติดตั้งระบบการระบายน้ำแบบ Manual ร่วมกันกับระบบการระบายแบบต่อเนื่อง (Continuous Blowdown) ทั้งนี้ในทางปฏิบัติจะมีการเปิดวาล์วระบายน้ำมือหมุนเป็นช่วง ๆ ตามตารางการทำงาน การติดตั้งระบบแบบนี้จำเป็นต้องมีการทดสอบหม้อต้มเพื่อปรับเปลี่ยนตารางการ ควบคุมตอบสนองต่อการเปลี่ยนของหม้อต้ม และระบบการจ่ายไอน้ำ

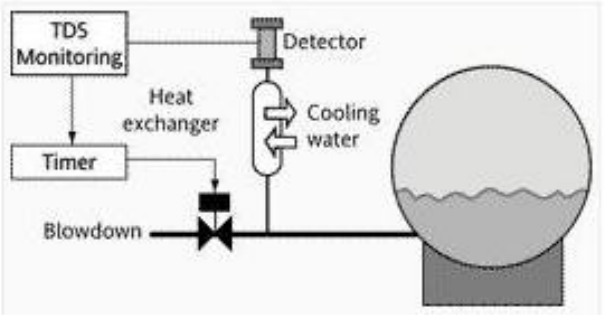


รูปที่ 6.42 ลักษณะของการระบายน้ำแบบ Manual

2. การควบคุมการระบายน้ำแบบ Automatic

   เนื่องจากการควบคุมการระบายน้ำแบบ Manual นั้น จะไม่สามารถรู้ถึงระดับความเข้มข้นและปริมาณของสารแขวนลอยในน้ำได้เลย การปรับระดับการระบายน้ำจึงไม่สามารถทำได้อย่างถูกต้อง ผู้ปฏิบัติงานจะไม่รู้ว่าเมื่อใดควรระบายน้ำออกเท่าไหร่ และต้องระบายน้ำออกนานแค่ไหน ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้ระบบการระบายน้ำแบบอัตโนมัติเพื่อที่จะสามารถปรับอัตราการระบายน้ำทิ้งแปรผันตามระดับความเข้มข้นของสารแขวนลอยในหม้อต้ม รวมทั้งยังช่วยลดพลังงานสูญเสียได้อีกด้วย ระบบการระบายน้ำแบบ Automatic ซึ่งให้ประสิทธิภาพ

สูงกว่า เนื่องจากระบบสามารถตรวจสอบปริมาณของสารแขวนลอยเพื่อปรับวาล์วระบายน้ำได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 6.43 ลักษณะของการระบายน้ำแบบ Automatic

การควบคุมการระบายน้ำออกจากหม้อต้มไอน้ำ ด้วยการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆของน้ำในหม้อต้มให้อยู่ในระดับที่กำหนดเอาไว้ จะช่วยลดโอกาสที่จะเกิดปัญหาต่อการผลิตไอน้ำ โดยระดับของการระบายน้ำที่เหมาะสมนั้น สามารถคำนวณด้วยสมการอย่างง่ายคือ

% Blowdown = (ปริมาณของน้ำที่ระบายออก/ปริมาณของน้ำที่เติมให้หม้อต้ม) x 100

ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 1% ถึง 20% ขึ้นอยู่กับว่าน้ำที่ป้อนเติมให้กับหม้อน้ำมีคุณภาพดีเท่าใด หากมีสิ่งเจือปนมาก โดยเฉพาะของแข็งประเภทโลหะ ก็จะต้องระบายน้ำออกมาก ยกตัวอย่างหม้อต้มที่มีการเติมสารโซเดียมซีโอไลต์ (Sodium-Zeolite) ในน้ำจะสามารถปรับระดับการระบายน้ำได้ด้วยการทดสอบคลอไรด์ในน้ำ

สำหรับหม้อต้มไอน้ำความดันสูง ๆ จะต้องมีการเติมสารละลาย ประเภท Inert-Material ลงในน้ำเพื่อหาระดับของการระบายน้ำที่เหมาะสม ทั้งนี้มีสูตรการคำนวณการระบายน้ำที่เหมาะสมสำหรับหม้อต้มด้วยการทดสอบสารคลอไรด์ในหม้อต้มดังนี้ % Blowdown = 100Y/X

โดย X = ปริมาณของน้ำที่เติมเข้าหม้อน้ำ
Y = ปริมาณของน้ำที่ระบายออก
a = ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำที่เติมเข้าหม้อต้ม
b = ความเข้มข้นของคลอไรด์ในหม้อต้ม

และเนื่องจากคลอไรด์เติมเข้าไปในหม้อต้ม จะต้องเท่ากับคลอไรด์ที่ระบายออกจากหม้อต้ม เพื่อรักษาสมดุล ดังนั้น xa = xb เมื่อคูณ 2 ข้างสมการด้วย 100/xb จะได้ว่า (100a/b) = (100y/x) เนื่องจาก 100y/x = % Blowdown ตามสมการข้างต้นดังนั้น %Blowdown = 100a/b หรือเท่ากับ (ปริมาณคลอไรด์ในน้ำที่เติมเข้าหม้อต้ม/ปริมาณคลอไรด์ในหม้อต้ม) x 100

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการทดสอบคุณภาพของหน่วยงานจะดำเนินการ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ จะเห็นว่ามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมา จึงควรมีเครื่องวัดแบบง่ายสำหรับวัดค่า Conductivity ของน้ำในหม้อน้ำเป็นประจำทุกวัน จะสามารถควบคุมปริมาณการระบายน้ำทิ้งให้เหมาะสมยิ่งขึ้นได้ จะช่วยลดการสูญเสียน้ำและความร้อนในระบบการผลิตไอน้ำเพื่อส่งไปใช้ในกระบวนการผลิตลงได้ จากการตรวจวัดเบื้องต้นสามารถปรับลดเวลาการระบายต่อครั้ง หรือควรจะขยายเวลาในการระบายแต่ละช่วงให้นานมากขึ้น

รูปที่ 6.44 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจสอบ

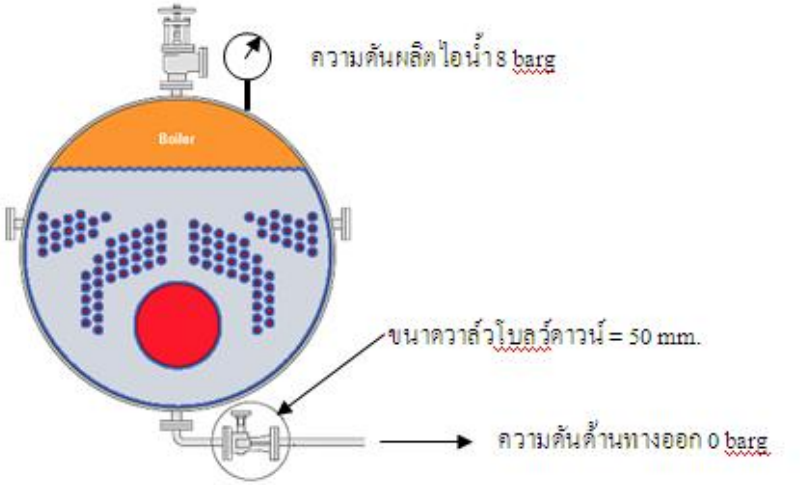
สภาพหลังปรับปรุง

ปรับตั้งการควบคุมใหม่เพื่อลดการระบายน้ำทิ้งลง เพื่อให้ค่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสมและโดยค่าจากการทำสอบอยู่ที่ ทุก 10 นาที เป็นเวลาครั้งละ 10 วินาที สามารถประหยัดพลังงานความร้อนได้ 1,525,213.50 MJ/y คิดเป็นเชื้อเพลิง NG ที่ประหยัดได้ 1,445.70 MMBTU/y คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้

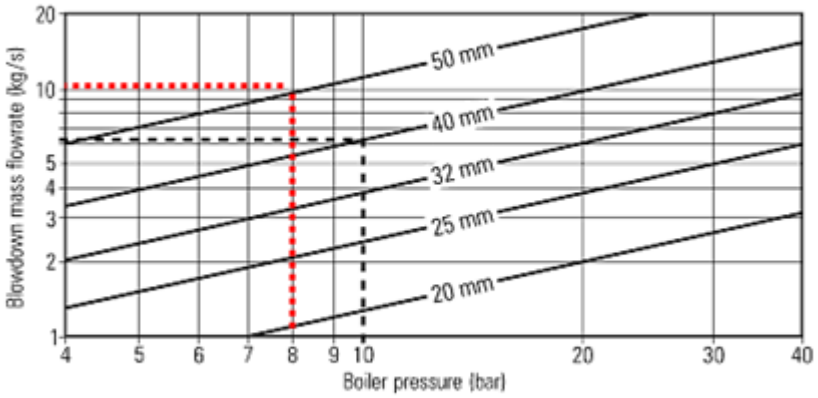
473, 466.75 Baht/y และช่วยลดการสูญเสียน้ำลงได้ 4,101.83 m^3/y คิดเป็นเงินค่าน้ำ 82,036.60 Baht/y รวมเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้รวมทั้งสิ้น 555,503.35 Baht/y

รูปที่ 6.45 การระบายน้ำทิ้งของ Boiler

วิธีการคำนวณผลประหยัด



อัตราการไหลโบลว์ดาวน์ผ่าน **Bottom Blow down Valve**



ที่มา : Spirax Sarco ระบายสู่ความดันบรรยากาศ

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
ปริมาณการระบายทิ้งผ่านวาล์วควบคุมขนาด 50 mm.	m_b	kg/s	9.5	จากการตรวจวัด
% การเปิดวาล์วเทียบกับ Full Open	%O	%	90	
ค่าเอนทาลปีของน้ำในหม้อน้ำที่ความดัน 8 Barg	h_b	kJ/kg	742.6	ตารางไอน้ำ
ค่าเอนทาลปีของน้ำน้ำป้อนหม้อน้ำที่ 100°C	h_f	kJ/kg	419.1	ตารางไอน้ำ
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	η	%	87	จากโรงงาน
ราคาเชื้อเพลิง NG เฉลี่ย	C_f		327.50	
จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน	h	ชั่วโมงต่อวัน	24	
จำนวนวันทำงานต่อปี	D	วันต่อปี	350	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา
2. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
ก่อนปรับปรุง				
ระยะเวลาการระบายทิ้งต่อครั้ง	t_{b1}	วินาที	6	
ช่วงระยะห่างต่อครั้ง	t_{b2}	วินาที	180	
รวมเป็นเวลาต่อรอบ = $t_{b1} + t_{b2}$	t_b	วินาที	186	
ปริมาณน้ำระบายทิ้งต่อครั้ง= $m_b \times t_{b1} \times \%O$	m_{tb}	kg/ครั้ง	51.3	
ปริมาณน้ำระบายทิ้งต่อปี = m_{tb} x วินาทีที่หม้อไอน้ำทำงานต่อปี / t_b	m_{tb},y	kg/ปี	8,340,387.10	
คิดเป็นปริมาตรน้ำที่สูญเสีย = $m_{tb},y/1,000$	V_{tb},y	m^3/ปี	8,340.39	
พลังงานความร้อนที่สูญเสียก่อนปรับปรุง = $m_{tb},y \times (h_b - h_f)$	Q_b	MJ/y	2,698,115.23	
คิดเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ก่อนปรับปรุง = $Q_b /(1,055 \times \eta)$	$m_{f,b}$	MMBTU/y	2,939.60	
หลังปรับปรุง				
ระยะเวลาการระบายทิ้งต่อครั้ง	t_{a1}	วินาที	10	
ช่วงระยะห่างต่อครั้ง	t_{a2}	วินาที	600	
รวมเป็นเวลาต่อรอบ = $t_{a1} + t_{a2}$	t_a	วินาที	610	
ปริมาณน้ำระบายทิ้งต่อครั้ง = $m_a \times t_{a1} \times \%O$	m_{ta}	kg/ครั้ง	85.5	
ปริมาณน้ำระบายทิ้งต่อปี = m_{ta} x วินาทีที่หม้อไอน้ำทำงานต่อปี / t_a	m_{ta},y	kg/ปี	4,238,557.38	
คิดเป็นปริมาตรน้ำที่สูญเสีย = $m_{ta},y/1,000$	V_{ta},y	m^3/ปี	4,238.56	
พลังงานความร้อนที่สูญเสียหลังปรับปรุง = $m_{ta},y \times (h_b - h_f)$	Q_a	MJ/y	1,371,173.31	
คิดเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้หลังปรับปร = $Q_a/(1,055 \times \eta)$	$m_{f,a}$	MMBTU/y	1,493.90	
ผลการประหยัด				
เชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ = $m_{f,b} - m_{f,a}$	$m_{f,save}$	MMBTU/y	1,445.70	
เงินที่ประหยัดได้ = $m_{f,save} \times C_f$	$C_{f,save}$	บาท/ปี	473,466.75	
น้ำที่ประหยัดได้ = $V_{tb},y - V_{ta},y$	W_{save}	m^3/y	4,101.83	
เงินค่าน้ำที่ประหยัดได้ = W_{save} x ค่าน้ำเฉลี่ย (บาท/ m^3)	$C_{w,save}$	บาท/ปี	82,036.60	
รวมค่าเชื้อเพลิงและค่าน้ำที่ประหยัดได้ = $C_{f,save} + C_{w,save}$	S_c	บาท/ปี	555,503.35	
3. การวิเคราะห์การลงทุน				
3.1 ค่าอุปกรณ์และดำเนินการ	C	บาท	-	
3.2 ระยะเวลาคืนทุน = C / S_c	PB	ปี	-	

กรณีศึกษาที่ 6.17
การปรับลดแรงดันไอน้ำ

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท : บริษัท เคมเม็กอุตสาหกรรม จำกัด
สถานที่ตั้ง : เลขที่ 85 หมู่ 1 ถนน พระราม2 ตำบล บาง
อำเภอ เมือง จังหวัด สมุทรสาคร 74000

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

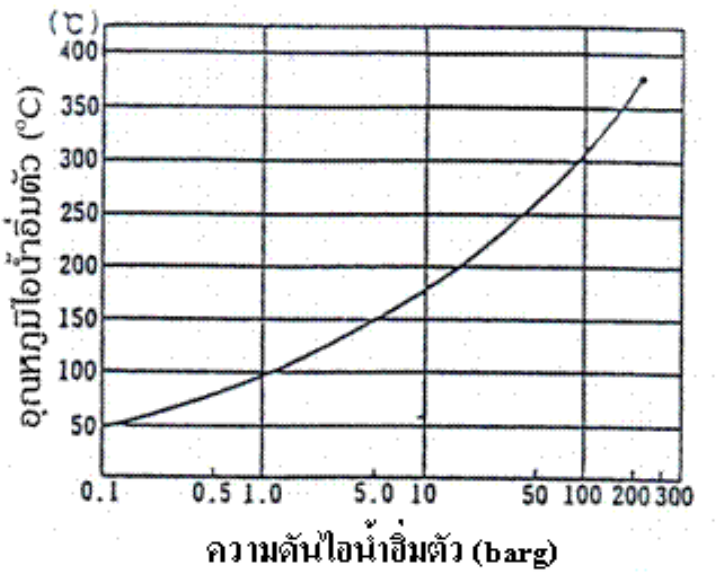
บริษัท เคมเม็กอุตสาหกรรม จำกัด เป็นโรงงานผลิตภัณฑ์ เคมี ประเภทโซดาไฟในกระบวนการผลิตของโรงงาน มีการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต โดยความดันไอน้ำที่ผลิตอยู่ที่ประมาณ 7 บาร์เกจ ชั่วโมงการทำงานของโรงงาน 24 ชั่วโมง/วัน 365 วัน/ปี โรงงานมีการใช้หม้อไอน้ำขนาด 16 Ton ในการผลิตไอน้ำ โดยมีหม้อไอน้ำขนาด 10 Ton เป็นหม้อไอน้ำสำรอง ซึ่งจะเดินในช่วงขณะที่ทำการเดิน Process การผลิต 50% และในช่วงเดิน Process EV จะทำการเดินหม้อไอน้ำขนาด 16 Ton ซึ่งจากการสำรวจของทีมอนุรักษ์พลังงานพบว่า ในช่วงเดิน Process การผลิต 50% ต้องการความดันไอน้ำที่ 5 บาร์เกจ แต่ทางโรงงานตั้งความดันไอน้ำไว้ที่ 7 บาร์เกจ ทำให้สูญเสียพลังงานความร้อนไปโดยเปล่าประโยชน์ จากการตรวจวัดหม้อไอน้ำขนาด 10 Ton มีประสิทธิภาพเท่ากับ 68.34 %

รูปที่ 6.46 หม้อไอน้ำขนาด 16 Ton (ด้านซ้าย) และ 10 Ton (ด้านขวา)

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

การผลิตไอน้ำที่ความดันสูงเกินจำเป็นจะต้องใช้พลังงานมากขึ้น โดยดัชนีการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงจะลดต่ำลงและการสูญเสียในด้านต่างๆ จะมากขึ้น ดังนั้นผู้ใช้ควรลดความดันที่อุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่างๆ ให้ได้ตามมาตรฐานความดันที่อุปกรณ์นั้นๆ ต้องการและลดการสูญเสียความดันในระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำทั้งหมด แล้วจึง

ลดความดันในการผลิตไอน้ำที่หม้อไอน้ำลง จากสมบัติของไอน้ำอิ่มตัว พบว่า ความดันและอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์กันโดยเมื่อความดันสูง อุณหภูมิจะสูงขึ้น ดังรูปที่ 6.65



รูปที่ 6.47 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอน้ำ

ความดันไอน้ำที่ผลิต = ความดันสูงสุดที่อุปกรณ์ใช้ไอน้ำต้องการ + ความดันสูญเสียในระบบส่งจ่ายไอน้ำ

การลดความดันผลิตไอน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งานมีผลดีดังนี้

1. เอนธาลปีไอน้ำ (hfg) ในการควบแน่นมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังรูปที่ 6.4
2. อัตราส่วนความแห้งของไอน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความร้อนที่ได้จากไอน้ำเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 6.4
3. ช่วยลดการสูญเสียไอน้ำจากการรั่วไหลในระบบส่งจ่ายไอน้ำได้
4. ช่วยลดการสูญเสียความร้อนบริเวณพื้นผิวหม้อไอน้ำและระบบส่งจ่ายไอน้ำได้
5. ช่วยลดการสูญเสียไอน้ำจากการระบายน้ำทิ้งของหม้อไอน้ำและระบบส่งจ่ายไอน้ำได้
6. ลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ที่ปริมาณการผลิตไอน้ำเท่าๆ กันเพราะดัชนีการผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิงจะสูงขึ้น

ขั้นตอนการหาร้อยละการประหยัดพลังงานเพื่อลดความดันการผลิตไอน้ำ

1. ตรวจวัดความดันไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำ โดยใช้เครื่องมือวัดความดันไอน้ำในตำแหน่งก่อนส่งจ่ายไอน้ำไปตามท่อ
2. ตรวจวัดความดันไอน้ำ ก่อนเข้าอุปกรณ์ใช้ไอน้ำที่ต้องการความดันสูงสุดของโรงงาน แล้วตรวจสอบดูว่าสูงเกินมาตรฐานความต้องการของอุปกรณ์หรือไม่ ถ้าสูงเกินกว่ามาตรฐานแสดงว่าสามารถลดความดันให้ต่ำลงได้
3. ตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำป้อนหม้อไอน้ำ โดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำในตำแหน่งก่อนเข้าหม้อไอน้ำ

4. นำค่าความดันไอน้ำก่อนปรับลด ความดันไอน้ำหลังปรับลด และอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำไปเปิดตารางตามที่ 6.43 จะได้ร้อยละการประหยัดพลังงานเมื่อลดความดันการผลิตไอน้ำ
5. นำค่าร้อยละการประหยัดพลังงานคูณด้วยปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งปีจะได้เชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ต่อปี

ตารางแสดงร้อยละการประหยัดพลังงานเมื่อต้องการลดความดันการผลิตไอน้ำ

รายการ	ความดันไอน้ำก่อนปรับลด (bar g)														
	6			7			8			9			10		
ความดันไอน้ำหลังปรับลด (bar g)	5.5	5.0	4.5	6.5	6.0	5.5	7.5	7.0	6.5	8.5	8.0	7.5	9.5	9.0	8.5
อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (°C)															
30	0.123	0.247	0.398	0.104	0.208	0.331	0.087	0.174	0.278	0.077	0.155	0.241	0.066	0.132	0.209
35	0.124	0.249	0.401	0.105	0.210	0.334	0.088	0.176	0.280	0.078	0.156	0.243	0.066	0.133	0.211
40	0.125	0.251	0.405	0.106	0.212	0.337	0.088	0.177	0.282	0.079	0.157	0.245	0.067	0.134	0.212
45	0.126	0.253	0.408	0.107	0.213	0.339	0.089	0.178	0.284	0.079	0.158	0.247	0.068	0.135	0.214
50	0.127	0.255	0.411	0.107	0.215	0.342	0.090	0.179	0.287	0.080	0.160	0.249	0.068	0.136	0.216
55	0.128	0.257	0.415	0.108	0.217	0.345	0.090	0.181	0.289	0.081	0.161	0.251	0.069	0.137	0.218
60	0.129	0.259	0.418	0.109	0.219	0.348	0.091	0.182	0.292	0.081	0.162	0.253	0.069	0.138	0.219
65	0.131	0.261	0.422	0.110	0.220	0.351	0.092	0.184	0.294	0.082	0.164	0.256	0.070	0.140	0.221
70	0.132	0.263	0.425	0.111	0.222	0.354	0.093	0.186	0.296	0.083	0.165	0.258	0.070	0.141	0.223
75	0.133	0.266	0.429	0.112	0.224	0.357	0.094	0.187	0.299	0.083	0.167	0.260	0.071	0.142	0.225
80	0.134	0.268	0.433	0.113	0.226	0.360	0.094	0.189	0.302	0.084	0.168	0.262	0.072	0.143	0.227
85	0.135	0.270	0.436	0.114	0.228	0.363	0.095	0.190	0.304	0.085	0.169	0.264	0.072	0.144	0.229
90	0.136	0.273	0.440	0.115	0.230	0.366	0.096	0.192	0.307	0.085	0.171	0.267	0.073	0.146	0.231
95	0.137	0.275	0.444	0.116	0.232	0.369	0.097	0.194	0.310	0.086	0.172	0.269	0.073	0.147	0.233
100	0.139	0.277	0.448	0.117	0.234	0.373	0.098	0.195	0.312	0.087	0.174	0.272	0.074	0.148	0.235
105	0.140	0.280	0.452	0.118	0.236	0.376	0.099	0.197	0.315	0.088	0.176	0.274	0.075	0.150	0.237
110	0.141	0.283	0.456	0.119	0.238	0.379	0.100	0.199	0.318	0.089	0.177	0.276	0.075	0.151	0.239

อย่างไรก็ตามการพิจารณาลดความดันไอน้ำสิ่งที่ควรคำนึงคือ การเกิด Carry Over หรือเม็ดน้ำปนไปกับไอน้ำทำให้คุณภาพของไอน้ำลดลง คุณสมบัติของไอน้ำเมื่อความดันลงปริมาตรของไอน้ำจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลกับขนาดของท่อไอน้ำที่ใช้งานในปัจจุบัน

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ทำการปรับปรุงโดยทำการลดความดันไอน้ำจาก 7 บาร์เกจเหลือ 6 บาร์เกจ ในช่วงที่ทำการผลิต 50%

สภาพหลังปรับปรุง

หลังปรับปรุงพบว่าการผลิตของทางโรงงาน สามารถทำงานได้ตามปกติ และสามารถลดการสูญเสียพลังงานความร้อนลงได้

รูปที่ 6.48 การปรับตั้งความดันไอน้ำที่ 6 บาร์เกจ

1. วิธีการคำนวณผลประหยัด

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำขนาด 10 ตันไอน้ำ	η	%	68.34	จากโรงงาน
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินเดิน Process 50%	m_f	kg/ปี	2,626,241.882	
ค่าความร้อนของถ่านหิน	LHV	MJ/กิโลกรัม	25	
ราคาถ่านหินเฉลี่ย	C_f	บาท/kg	2.65	
ค่าเอนทาลปีของไอน้ำที่ความดัน 7 บาร์เกจ	h_b	kJ/kg	2,769	
ค่าเอนทาลปีของไอน้ำที่ความดัน 6 บาร์เกจ	h_a	kJ/kg	2,763	ตารางไอน้ำ
ค่าเอนทาลปีของน้ำน้ำป้อนหม้อน้ำที่ 90°C	h_f	kJ/kg	376.9	ตารางไอน้ำ
2. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
พลังงานที่สามารถประหยัดได้ $((h_b\text{-}ha)/(h_b\text{-}h_f) \times m_f \times 25$	P_{save}	MJ/ปี	164,682.19	
คิดเป็นปริมาณถ่านหิน $P_{save} / 25$	$m_{f,a}$	กิโลกรัม/ปี	6,587.28	
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ $= m_{f,a} \times C_f$	S_c	บาท/ปี	17,456.29	
3. การวิเคราะห์การลงทุน				
3.1 ค่าอุปกรณ์และดำเนินการ	C	บาท	45,000.00	
3.2 ระยะเวลาคืนทุน = C / S_c	PB	ปี	0.44	

กรณีศึกษาที่ 6.18
การเปลี่ยนไปใช้หม้อไอน้ำประสิทธิภาพสูง

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท: บริษัท ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
สถานที่ตั้ง: 236 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมบางปูถ.สุขุมวิท
ต.แพรกษา อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10280

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

การผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตของสถานประกอบการจะใช้หม้อไอน้ำเป็นต้นกำลังในการผลิตไอน้ำใช้ก๊าซธรรมชาติ (NG) เป็นเชื้อเพลิง โดยหม้อไอน้ำมีขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง และ 6.3 ตันต่อชั่วโมง ผลิตไอน้ำที่ความดัน 10bar ใช้งานพร้อมกันทั้งสองเครื่อง จากการที่สถานประกอบการณ์ได้วิเคราะห์การใช้พลังงานเบื้องต้นพบว่าหม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงสิ้นเปลืองเป็นอย่างมาก

โรงงานจึงมีแนวคิดในการเปลี่ยนหม้อไอน้ำใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถผลิตไอน้ำได้เพียงพอต่อความต้องการ

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

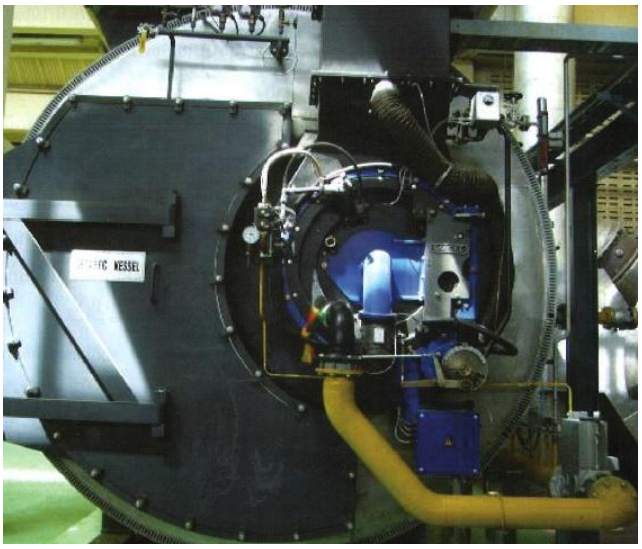
ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดต่ำลง เช่น การเสื่อมสภาพเนื่องจากอายุการใช้งาน การใช้กำลังการผลิตไอน้ำที่ไม่เหมาะสม และโครงสร้างของหม้อไอน้ำ เป็นต้น การเปลี่ยนหม้อไอน้ำเครื่องใหม่ที่มีโครงสร้างและระบบที่ดีตลอดจนมีขนาดกำลังการผลิตไอน้ำที่เหมาะสมต่อการใช้งานสามารถทำให้ประสิทธิภาพด้านพลังงานของหม้อไอน้ำสูงขึ้น ส่งผลให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานในหม้อไอน้ำ

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ยกเลิกการใช้งานหม้อไอน้ำเก่าที่ไม่มี Economizer ขนาด10 ตันต่อชั่วโมงและขนาด 6.3 ตันต่อชั่วโมงโดยเปลี่ยนมาใช้หม้อไอน้ำที่มีระบบ Economizer ขนาด 16 ตันต่อชั่วโมงเพียงเครื่องเดียวการเปลี่ยนหม้อไอน้ำใหม่ที่ติดตั้งระบบ Economizer มาพร้อมกันทำให้ประสิทธิภาพของระบบผลิตไอน้ำสูงขึ้น โดยสามารถทำการประเมินผลการประหยัดเชื้อเพลิงง่ายๆ โดยการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ที่ Economizer เพียงจุดเดียว

สภาพหลังปรับปรุง

ผลจากการเปลี่ยนหม้อไอน้ำเครื่องเก่าจำนวน 2 เครื่อง เป็นเครื่องใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงเพียงเครื่องเดียว ส่งผลให้ประหยัดเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำมากกว่าเครื่องเก่าเนื่องจากสามารถผลิตไอน้ำได้ในปริมาณที่พอเหมาะ การใช้พลังงานหม้อไอน้ำเพียงเครื่องเดียวทำให้อุปกรณ์ประกอบการทำงานน้อยลงส่งผลให้ประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 6.49 หม้อไอน้ำประสิทธิภาพสูงที่ติดตั้งใหม่

หม้อไอน้ำ

ผู้ผลิต	GETABEC KESSEL
Model	HDO-PS 16000/13 BAR

หัวเผา

ผู้ผลิต	SAACKE
Model	SG-A102

คุณสมบัติอุปกรณ์ Economizer ของบริษัทผู้ผลิตเป็นดังนี้

ปริมาณน้ำผ่าน Economizer	384	m^3/day
เพิ่มอุณหภูมิน้ำได้	30	^oC
ค่าความจุความร้อนของน้ำ	1,000	kcal/$m^3{}^oC$

วิธีการคำนวณผลประหยัด

ตรวจสอบผลการประหยัดพลังงานของการดำเนินการตามมาตรการ โดยได้ตรวจสอบข้อมูลก่อนดำเนินการและหลังดำเนินการที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.ข้อมูลตรวจวัดก่อนทำการปรับปรุง (หม้อไอน้ำขนาด 10 ตัน/ชั่วโมง)				**ข้อมูลจากโรงงาน**
1.1 ชั่วโมงการใช้งาน		ชั่วโมงต่อปี	8,199	
1.2 พลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในระบบ		kW	14.49	
1.3 พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในระบบ		kWh/ปี	118,803.51	
1.4 ความดันก๊าซธรรมชาติ		bar	1.05	
1.5 อุณหภูมิก๊าซธรรมชาติ		^{O}C	32	
1.6 อัตราการไหลก๊าซธรรมชาติ		m^3/h	225.68	
1.7 ค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซธรรมชาติ		MJ/m^3	37.52	
1.8 น้ำป้อนอุณหภูมิ		^{O}C	90	
1.9 ความดันของหม้อไอน้ำ		Bar	10	
1.10 อัตราการไหลน้ำป้อน		m^3/h	5.642	
2. **2. ข้อมูลตรวจวัดก่อนทำการปรับปรุง (หม้อไอน้ำขนาด 6.3 ตัน/ชั่วโมง)**				**ข้อมูลจากโรงงาน**
2.1 ชั่วโมงการใช้งาน		ชั่วโมงต่อปี	8,460	
2.2 พลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในระบบ		kW	23.67	
2.3 พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในระบบ		kW	319,022.49	
2.4 ความดันก๊าซธรรมชาติ		bar	1.05	
2.5 อุณหภูมิก๊าซธรรมชาติ		^{O}C	32	
2.6 อัตราการไหลก๊าซธรรมชาติ		m^3/h	143.88	
2.7 ค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซธรรมชาติ		MJ/m^3	37.52	
2.8 น้ำป้อนอุณหภูมิ		^{O}C	90	
2.9 ความดันของหม้อไอน้ำ		Bar	10	
2.10 อัตราการไหลน้ำป้อน		m^3/h	3.893	

ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติที่อ่านได้จากมิเตอร์ สำหรับหม้อไอน้ำขนาด 6.3 ตันต่อชั่วโมง เป็นค่าที่อ่านได้ตาม flowing condition ซึ่งจำเป็นต้องปรับแก้ให้เป็นค่าที่ Base condition (101.325 kPa, 60 ^{O}F) เพื่อใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ โดยทำการปรับแก้ดังนี้

จาก Idea Gas's Law $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

เมื่อสภาวะที่ 1 คือ flowing condition จากเกจวัดความดันได้ 1.05 bar และอุณหภูมิ 32 ^{O}C

P_1 = 105 + 101.325 kPa

= 206.325 kPa

V_1 = 143.88 m^3/h

T_1 = 273.15+32^{O}C

= 305.15 K

สภาวะที่ 2 คือ Base condition (101.325 kPa, 60 ^{o}F)

P_2 = 101.325 kPa

T_2 = 288.70 K

ดังนั้น $V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1}$

$V_2 = \frac{206.325 \times 143.88 \times 288.70}{101.325 \times 305.15}$

= 277.25 m^3/h

= 6,654 m^3/day

= 277.25 m^3/h × 8,199 h/year

= 2,273,172.75 m^3/year

ค่าความร้อนของก๊าซธรรมชาติ ตามใบแจ้งหนี้ของสถานประกอบการเท่ากับ 37.52 MJ/m^3

ดังนั้นพลังงานความร้อนจากก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในหม้อไอน้ำขนาด 6.3 ตันต่อชั่วโมง = 85,289,441.58 MJ/ปี

จากข้อมูลการตรวจวัดหม้อไอน้ำขนาด 6.3 ตัน/ชั่วโมง พบว่าที่ตำแหน่งที่ติดตั้งมิเตอร์วัดน้ำป้อน น้ำมีอุณหภูมิ 90 ^{o}C มีความหนาแน่น 965.25 kg/m^3 สามารถประเมินได้ว่าปริมาณน้ำป้อนเท่ากับ 3,757.72 kg/h

ปริมาณโบว์ดาวน์ = [$TDS_{น้ำป้อน}$/($TDS_{สูงสุดที่ยอมรับได้}$- $TDS_{น้ำป้อน}$)] × ปริมาณน้ำป้อน

$= \left(\frac{45}{3500-45}\right) \times 3{,}757.72$

= 48.94 kg/h

ดังนั้นใน 1 ชั่วโมง ใช้ไอน้ำไป

= 3,757.72 - 48.94

= 3,708.78 kg/h

= 3,708,78 × 8,199

= 30,408,287.22 kg/year

จากข้อมูลการตรวจวัดหม้อไอน้ำขนาด10ตัน/ชั่วโมง เมื่อสภาวะที่ 1 คือ flowing condition จากเกจวัดความดันได้ 1.05bar และอุณหภูมิ 32 ^{o}C, P_1= 101.325 kPa, V_1= 225.68 m^3/h และ T_1= 305.15 K

สภาวะที่ 2 Base conditions

P_2 = 101.325 kPa

T_2 = 288.70 K

ดังนั้น $V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1}$

$V_2 = \frac{206.325 \times 225.68 \times 288.70}{101.325 \times 305.15}$

= 434.88 m^3/h

= 434.88 m^3/h × 24 h/day

= 10,437.12 m^3/day

= 434.88 m^3/h × 8,460 h/year

= 3,679,084.80 m^3/year

ค่าความร้อนของก๊าซธรรมชาติตามใบแจ้งหนี้ของสถานประกอบการ เท่ากับ 37.52 MJ/m^3

ดังนั้นพลังงานความร้อนจากก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในหม้อไอน้ำขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง =138,039,261.696 MJ/year

จากข้อมูลการตรวจวัดหม้อไอน้ำขนาด 10 ตัน/ชั่วโมง พบว่าตำแหน่งที่ติดตั้งมิเตอร์วัดน้ำป้อน น้ำมีอุณหภูมิ 90 ^oC มีความหนาแน่นเท่ากับ 965.25 kg/m^3 สามารถประเมินได้ว่า

ปริมาณน้ำป้อน = 5.642 m^3/h × 965.25 kg/m^3 = 5,445.94 kg/h

ปริมาณโบว์ดาวน์ = [$TDS_{น้ำป้อน}$/($TDS_{สูงสุดที่ยอมรับได้}$- $TDS_{น้ำป้อน}$)] × ปริมาณน้ำป้อน

$$= \left(\frac{45}{3500-45}\right) \times 5{,}445.94$$

= 70.93 kg/h

ดังนั้น ใน 1 ชั่วโมง ใช้ไอน้ำไป

= 5,445.94 - 70.93

= 5,375.01 kg/h

= 5,375.01 × 8,460

= 44,069,706.99 kg/year

ดำเนินการตรวจวัดหลังการปรับปรุง แล้วดำเนินการกับข้อมูลเช่นเดียวกับข้อมูลก่อนการปรับปรุง โดยสรุปข้อมูลสำคัญก่อนและหลังดำเนินการปรับปรุงได้ดังนี้

รายการ	หน่วย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ	MJ/year	223,328,703.3	238,621,276.26
ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้	kg/year	75,882,729.63	85,119,359.40
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้	kWh/year	319,022.89	293,854.35

การประเมินผลการเปลี่ยนการใช้หม้อไอน้ำใหม่ทดแทนของเดิมนี้ จะคิดจากราคาค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงก่อน และหลังการปรับปรุงเปรียบเทียบกัน รายละเอียดการคำนวณแสดงดังต่อไปนี้

เชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ $= \left\{\left(\frac{223{,}328{,}703.3\ \text{MJ}}{75{,}882{,}729.63\ \text{kg}}\right) - \left(\frac{238{,}621{,}276.26\text{MJ}}{85{,}119{,}359.40\ \text{kg}}\right)\right\} \times 75{,}882{,}729.63$

Fuel Save = 10,601,756.31 MJ/year

= 10,049.07 MMBTU/year

Elec Save $= \left\{\left(\frac{319{,}022{,}890\ \text{Wh}}{75{,}882{,}729.63\ \text{kg}}\right) - \left(\frac{293{,}854{,}350\text{Wh}}{85{,}119{,}359.40\ \text{kg}}\right)\right\} \times 75{,}882{,}729.63$

= 57,056,443.82 Wh/year

= 57,056.44 kWh/year

จำนวนเงินที่ประหยัดได้ = (57,056.44 × 2.77) + (10,049.07 × 266.10)

= 158,046.34 + 2,674,057.53

= 2,832,100 บาท/ปี

บริษัทฯเสียค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์และค่าติดตั้งเครื่องใหม่รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 10,000,000 บาท ทำให้สามารถประหยัดค่าเชื้อเพลิง ก่อให้เกิดผลการประหยัดค่าใช้จ่ายคิดเป็นมูลค่า 2,832,100 บาท/ปี ระยะเวลาคืนทุน 3.53 ปี

กรณีศึกษาที่ 6.19
การเปลี่ยนใบพัดประสิทธิภาพสูงที่ Cooling Tower

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท : บริษัท ไทยเอ็มเอ็มเอ จำกัด
สถานที่ตั้ง : 271 ถ.สุขุมวิท ต.มาบตาพุด อ.เมือง
จ.ระยอง 21150

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ใบพัดลมเดิมที่ใช้ในหอหล่อเย็น (Z-8100A) เป็นประเภท Fiber Glass Fan ที่มีอายุการใช้งานมานานและประสิทธิภาพต่ำ เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีของใบพัดที่มีการพัฒนาในปัจจุบัน จึงมีแนวคิดในการเปลี่ยนใบพัดลมที่มีประสิทธิภาพสูง ทั้งนี้มอเตอร์ของ Cooling Tower มีขนาด 300 hp ทำงานวันละ24 ชั่วโมง ปีละ 360 วัน

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

วัตถุประสงค์ของในการทำงานของพัดลมในหอหล่อเย็น คือ การทำให้อากาศจำนวนหนึ่งเคลื่อนที่ผ่านระบบโดยพัดลมจะต้องเอาชนะแรงต้านทานของระบบให้ได้ ซึ่งก็คือการสูญเสียแรงดันในการเคลื่อนย้ายอากาศนั่นเอง ผลผลิตหรือผลการทำงานของพัดลมก็คือ ผลผลิตของอากาศไหลและแรงดันที่สูญเสีย ผลผลิตของพัดลมและกำลังไฟฟ้า kW ที่ใส่เข้าไปนั้น ก็จะเป็นตัวกำหนดค่าประสิทธิภาพของพัดลม

ประสิทธิภาพของพัดลมนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของใบพัดอย่างมาก โดยใบพัดจะรวมถึง

- ใบพัดโลหะ ซึ่งผลิตขึ้นโดยกระบวนการอัดรีด หรือการหล่อ เพราะฉะนั้นจึงเป็นการยากที่จะผลิตใบพัดที่มีลักษณะถูกต้องตามหลักของอากาศพลศาสตร์ได้
- ใบพัดพลาสติกเสริมใยแก้ว (F.R.P) ถูกทำขึ้นโดยการพิมพ์แบบด้วยมือ ซึ่งก็จะง่ายต่อการผลิตให้ตรงกับรูปแบบตามหลักอากาศพลศาสตร์ได้มากที่สุด สำหรับการใช้งานเฉพาะอย่าง เพราะว่า FRP มีน้ำหนักเบาและต้องการแรงบิดเริ่มต้นน้อย และใช้มอเตอร์ที่มีแรงม้าต่ำ ตลอดจนมีอายุการใช้งานของกล่องเกียร์ มอเตอร์ และลูกปืน ที่ยาวนานขึ้นการบำรุงรักษาจึงทำได้ง่ายกว่า

พัดลมสามารถมีประสิทธิภาพสูงได้ถึง 85-92 % โดยการทำให้มีใบพัดที่มีลักษณะรูปร่างถูกต้องตามหลักของอากาศพลศาสตร์มีแรงบิดได้สูงสุด มีรูปร่างสอบและมีค่าอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์ในการยกตัวต่อค่าสัมประสิทธิ์ของแรงกดสูง อย่างไรก็ตาม ค่าประสิทธิภาพนี้จะได้รับผลกระทบมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น ระยะห่างของปลายใบพัด สิ่งกีดขวางการไหลของอากาศและรูปร่างของช่องทางเข้า ฯลฯ มีหลายกรณีที่ใช้ใบพัดโลหะหรือใบพัด FRP แบบกลวงที่มีประสิทธิภาพ ผลที่ได้ก็คือ การประหยัดพลังงานได้ถึง 20-30 %และถึงจุดคุ้มทุนได้ภายในระยะเวลา 6 ถึง 7 เดือน (NPC)

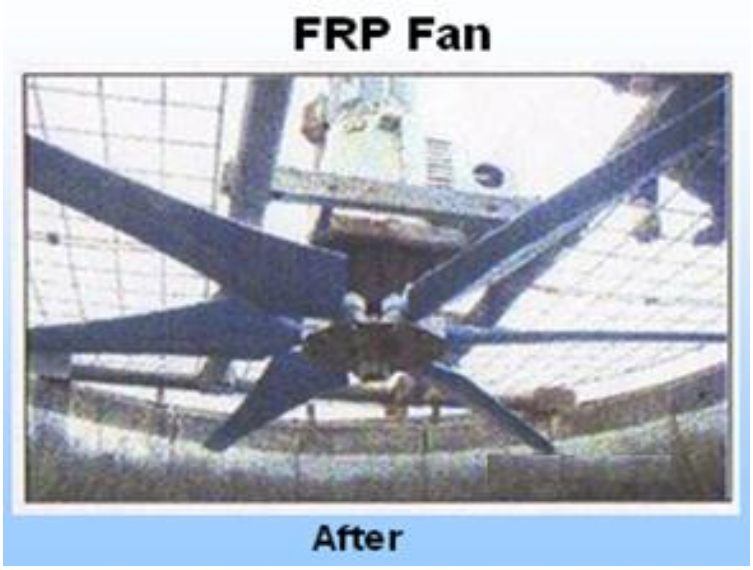
แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการเปลี่ยนใบพัดของพัดลมของหอหล่อเย็นจากเดิม เป็นใบพัดที่มีประสิทธิภาพสูง

รูปที่ 6.50 ใบพัด cooling Tower (ก่อนดำเนินการปรับปรุง)

สภาพหลังปรับปรุง

หลังดำเนินการเปลี่ยนใบพัดของ Cooling Tower (Z-8100A) จากเดิมเป็น Fiber Glass เป็นประเภท F.R.P (Fiber reinforced polymer) ซึ่งมีน้ำหนักเบาและทนการกัดกร่อน ไม่เป็นสนิม ช่วยทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าใน cooling Tower (Z-8100A) ได้มากกว่า 10% และให้อัตราการไหลของอากาศมากกว่าเดิมตามผลการตรวจวัดจริง

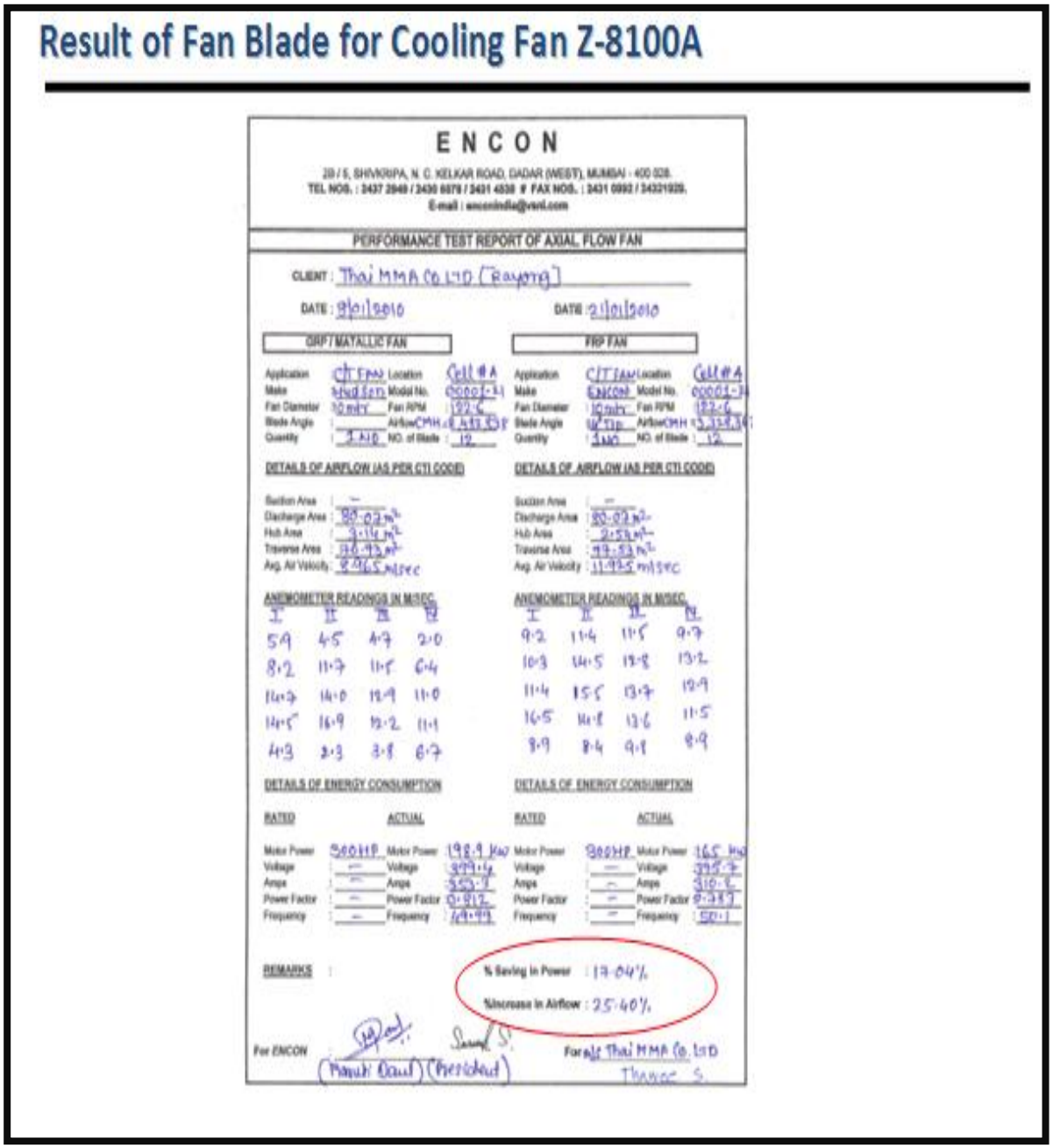


รูปที่ 6. 51 ใบพัด cooling Tower (หลังดำเนินการปรับปรุง)

วิธีการคำนวณผลประหยัด

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
ก่อนดำเนินการปรับปรุง				
1.1 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ Cooling Tower	P_b	kW	198.9	จากการตรวจวัด
1.2 ชั่วโมงการทำงานต่อวัน	h	ชั่วโมง/วัน	24	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 จำนวนวันทำงานต่อปี	D	วัน/ปี	365	ข้อมูลจากโรงงาน
1.4 Operating Factor	OF	%	94.5	
1.5 อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_f	บาท/kWh	2.80	
หลังดำเนินการปรับปรุง				
1.6 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ Cooling Tower	P_a	kW	165	จากการตรวจวัด

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา
2.การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
2.1 พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง $(P_b - P_a) \times h \times D \times OF$	E_{save}	kWh/ปี	280,692.00	
2.2 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $E_{save} \times C_f$	S_c	บาท/ปี	785,938.00	
3. การวิเคราะห์การลงทุน				
3.1 ค่าอุปกรณ์และดำเนินการติดตั้ง	C	บาท	745,000.00	
3.2 ระยะเวลาคืนทุน = C / S_c	PB	ปี	0.95	



รูปที่ 6.52 Performance Test Report of Axial Flow Fan

กรณีศึกษาที่ 6.20
การใช้น้ำควบแน่นจากคอยล์เย็นช่วยระบายความร้อน

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท : บริษัท ไทยอกริฟูดส์ จำกัด (มหาชน)
สถานที่ตั้ง: 155/1 ม.1 ถ.เทพารักษ์ ต.บางเสาธง กิ่งอำเภอบางเสาธง จ.สมุทรปราการ 10540

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบ Package ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ จากการสำรวจของโรงงานพบว่าอากาศระบายความร้อนมีอุณหภูมิสูงและทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้กำลังไฟฟ้าสูงในขณะทำงานอีกทั้งสถานที่ติดตั้งชุดคอยล์ร้อนของเครื่องปรับอากาศหลายเครื่องอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน

โรงงานจึงเกิดแนวคิดในการดัดแปลงติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นที่ออกจากชุดคอยล์ร้อนกับน้ำควบแน่นอุณหภูมิต่ำที่เกิดขึ้นในชุดคอยล์เย็น ในระหว่างที่เครื่องปรับอากาศทำงาน เพื่อช่วยลดการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ลงเนื่องจากการระบายความร้อนดีขึ้น

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

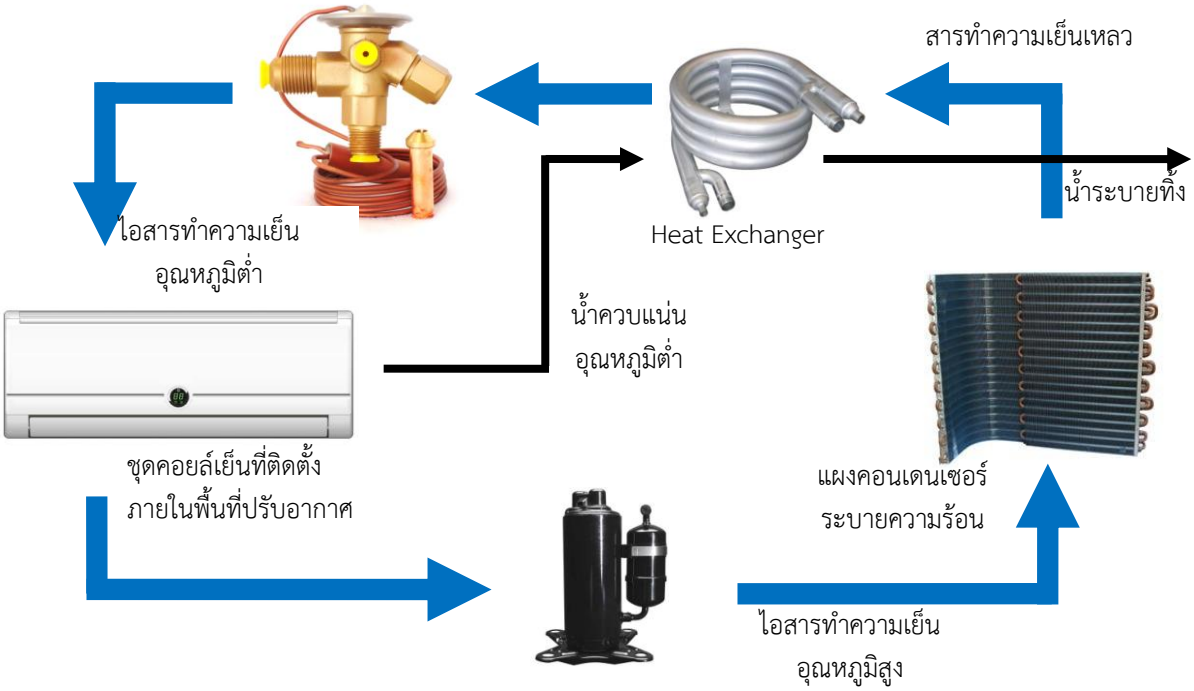
การทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศมีความสามารถจำกัดในการระบายความร้อน เพราะสามารถระบายความร้อนได้เพียงความร้อนสัมผัสเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถลดความดันด้าน Discharge ของคอมเพรสเซอร์ได้มาก การนำน้ำควบแน่นจากชุดคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศมาช่วยระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ ส่งผลให้ความดันด้าน Discharge ของคอมเพรสเซอร์ลดลง สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศลงได้

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ปกติความร้อนจากสารทำความเย็นจะระบายออกสู่บรรยากาศที่คอมเพรสเซอร์ ดังนั้นอุณหภูมิอากาศบริเวณโดยรอบที่ติดตั้งคอนเดนเซอร์จึงมีความสำคัญต่อการใช้พลังงานอุณหภูมิอากาศที่ต่ำทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้นเนื่องจากสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดี

และจากแนวคิดของโรงงานที่จะนำน้ำควบแน่นจากคอยล์เย็นมาช่วยในการระบายความร้อน โดยแสดงโครงสร้างของระบบให้เห็นดังรูปที่ 6.3 สารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์มีอุณหภูมิและความดันสูง ส่งไประบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์เพื่อระบายความร้อน ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากก๊าซกลายเป็นของเหลว ทั้งนี้สารทำความเย็นที่ผ่านจากคอนเดนเซอร์ ยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่จะผ่านเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีลักษณะเป็นท่อสองชั้น โดยชั้นในที่มีขนาดเล็กจะมีสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์ไหลผ่าน และ

ชั้นนอกที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีน้ำควบแน่นอุณหภูมิต่ำจากชุดคอยล์เย็นที่ติดตั้งอยู่ภายในพื้นที่ปรับอากาศไหลผ่าน ทำให้เกิดการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นที่ยังมีอุณหภูมิสูงให้กับน้ำควบแน่นอุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 6.53 ระบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ใช้น้ำควบแน่นจากคอยล์เย็นช่วยระบายความร้อน

สภาพหลังปรับปรุง

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้ทำการติดตั้งเพิ่มเติมเข้าไปในระบบ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 6.4 ท่อทางด้านขวาคือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยเส้นในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีสารทำความเย็นไหลผ่านและช่องว่างระหว่างท่อเส้นในกับเปลือกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีน้ำควบแน่นที่ถูกส่งมาจากชุดคอยล์เย็นด้วยท่อ PVC สีฟ้าไหลผ่าน

รูปที่ 6.54 ท่อสารทำความเย็นที่ดัดแปลงให้สามารถใช้น้ำควบแน่นจากคอยล์เย็นช่วยระบายความร้อนได้

ผลจากการปรับปรุงท่อสารทำความเย็นที่ออกจากคอยล์ร้อน และท่อน้ำจากคอยล์เย็นใช้ช่วยระบายความร้อนจากสารทำความเย็นให้กับเครื่องปรับอากาศสามารถช่วยลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศลงเป็นผลให้เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานลดลง และทำความเย็นให้กับพื้นที่ปรับอากาศได้ดีมากยิ่งขึ้น

วิธีการคำนวณผลประหยัด

ผลจากการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งเพิ่มเติมเข้าในระบบ ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นลดต่ำลงกว่าปกติ ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น โดยพบว่ากระแสที่เครื่องคอมเพรสเซอร์ใช้ ลดลง 2 แอมแปร์ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบ Package ลดลง ก่อให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงาน

จากการตรวจสอบข้อมูลก่อนดำเนินการตามมาตรการพบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ชั่วโมงการทำงานต่อวัน	h	h/d	8	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 จำนวนวันทำงานต่อปี	d	d/y	240	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C	บาท/kWh	2.82	ข้อมูลจากโรงงาน
2. ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด (ก่อนดำเนินการปรับปรุง)				
2.1 แรงดันไฟฟ้า	V	Volt	380	
2.2 กระแสไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	I_b	Amp	16	
2.3 Power Factor	PF	-	0.85	
2.4 กระแสไฟฟ้าหลังปรับปรุง	I_a	Amp	14	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
1.1 กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง $P_b = \sqrt{3} \times 380 \times I_b \times PF$	P_b	kW	8.952	
3.2 กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง $P_a = \sqrt{3} \times 380 \times I_a \times PF$	P_a	kW	7.832	
3.3 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $E_s = (P_b - P_a) \times h \times d$	E_s	kWh/ปี	2,150	
3.4 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $S_c = E_s \times C$	S_c	บาท/ปี	6,060	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ค่าอุปกรณ์และดำเนินการ	C	บาท	2,500	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน = C / S_c	PB	ปี	0.41	

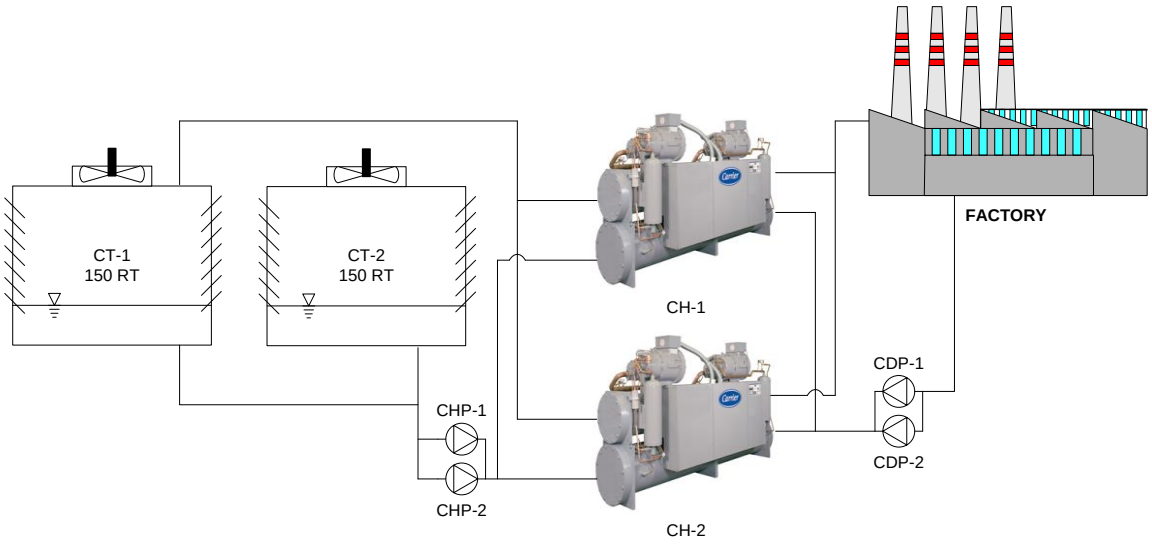
กรณีศึกษาที่ 6.21
การเลือกเดินเครื่องทำน้ำเย็นชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท : บริษัท คิงส์แพ็ค อินดัสเตรียล จำกัด
สถานที่ตั้ง : 333 ม.4 ต.หนองไม้แดง
อ.เมือง จ.ชลบุรี 20000

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ระบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำขนาด 130 TRจำนวน 2 ชุด เปิดใช้ครั้งละ 1 ชุดทำงานร่วมกับหอระบายความร้อนขนาด 150 RT จำนวน 2 ชุด เปิดใช้งานทั้ง 2 ชุด ตลอดเวลาเปิดใช้งาน 8 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี

ผังการทำงาน (Flow Chart Diagram)



รูปที่ 6.55 แผนผังการทำงานของระบบทำน้ำเย็น

จากการตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็นพบว่าสามารถใช้งานได้เพียง 1 เครื่องเท่านั้น เนื่องจากชำรุดในส่วนควบคุมการทำงานไม่สามารถเดินเครื่องได้ โดยเครื่อง No.1 ที่ทำงานมีภาระการทำงานอยู่ที่ 80-90 TR ประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นมีค่า 0.983 kW/TR ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานจากผู้ผลิตเครื่องมาก ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าสูง

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

การตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อหาศักยภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อการเดินเครื่องทำน้ำเย็นชุดที่มีประสิทธิภาพ (kW/TR) สูงเป็นหลัก หรือเพื่อการเปลี่ยนไปใช้เครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (kW/TR) และเพื่อประกอบการวิเคราะห์หาผลประหยัด เงินลงทุน และระยะเวลาคืนทุนตามมาตรการต่างๆ

การเดินเครื่องทำน้ำเย็นชุดที่มีประสิทธิภาพ (kW/TR) สูงเป็นหลัก เครื่องทำน้ำเย็นเมื่อมีการใช้งานไประยะหนึ่งประสิทธิภาพของเครื่องจะลดต่ำลง ซึ่งแต่ละเครื่องจะมีประสิทธิภาพไม่เท่ากันสถานประกอบการส่วนใหญ่จะติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นหลายชุดเพื่อสลับการเดินโดยไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละชุด ดังนั้นช่วงเวลาใดที่เดินชุดที่มีประสิทธิภาพต่ำอาจเกิดปัญหาความเย็นไม่เพียงพอกับการใช้งานและมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก ดังนั้นควรจะมีการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพ kW/TR ของเครื่องทำน้ำเย็นอย่างน้อยทุกๆ 6 เดือน เพื่อจัดทำแผนการเดินเครื่องทำน้ำเย็นให้เกิดการประหยัดพลังงาน โดยการเดินใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นชุดที่มีประสิทธิภาพเป็นหลักและลดการเดินเครื่องทำน้ำเย็นชุดที่มีประสิทธิภาพต่ำลง ทั้งนี้ก่อนจัดการเดินใหม่ต้องปรับปรุงเครื่องให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ที่สุดก่อน

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

1. ดำเนินการซ่อมเครื่องทำน้ำเย็นเครื่องที่ 2 ที่ชำรุดให้สามารถใช้งานได้
2. ตรวจสอบและเปรียบเทียบได้ว่าเครื่องใดที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง เพื่อนำไปสู่การเลือกเดินเครื่องชุดที่มีประสิทธิภาพสูงและปรับปรุงเครื่องที่มีต่ำกว่าให้สูงขึ้น จะช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานในการผลิตน้ำเย็นลงได้

การตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็น

Specification			
Carrier		No.01	No.02
Model		30HXC-161R	30HXC-161R
Capacity	TR	155	155
Cooling Type		Water Cooled	Water Cooled
Cond Flow	GPM	465	465
Evap Flow	GPM	372	372
Inspection			
Power	kW	80.70	ชำรุด
Water Flow	GPM	304	
Chiller water temp			
In	F	55.58	
Out	F	48.74	
Diff Temp	F	6.84	
Cooling Capacity	TR	86.64	
Performance	**kW/TR**	**0.931**	**0.000**
	STD	0.722	0.722
หมายเหตุ	คอมเพรสเซอร์ทำงาน 1 ชุด ตลอดเวลา		

ภาพการตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็น

รูปที่ 6.56 การตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็น

สภาพหลังปรับปรุง

ดำเนินการปรับปรุงดังนี้

1. ดำเนินการซ่อมเครื่องทำน้ำเย็น No.2 ที่ชำรุดในส่วนของแผงควบคุมให้เดินเครื่องได้ โดยใช้งบดำเนินการประมาณ 45,000 บาท
2. ตรวจสอบและเปรียบเทียบเครื่องทำน้ำเย็นพบว่าหลังดำเนินการซ่อมแซมเครื่อง No.2 มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่อง No.1

Inspection			
Power	kW	80.70	72.3
Water Flow	GPM	304	304
Chiller water temp			
In	F	55.58	55.2
Out	F	48.74	47.9
Diff Temp	F	6.84	7.3
Cooling Capacity	TR	86.64	92.47
Perfomance	kW/TR	0.931	0.782
	STD	0.722	0.722

วิธีการคำนวณผลประหยัด

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
ประสิทธิภาพพลังงานเครื่องทำน้ำเย็น No.1	η_1	%	93.1	จากโรงงาน
ประสิทธิภาพพลังงานเครื่องทำน้ำเย็น No.2	η_2	%	78.2	จากโรงงาน
ภาระการทำความเย็นเฉลี่ย	CL	TR/เครื่อง	89.56	
จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน	h	ชั่วโมงต่อวัน	8	
จำนวนวันทำงานต่อปี	D	วันต่อปี	300	
การทำงานของคอมเพรสเซอร์	OF	%	100	
อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_f	บาท/ปี	3.18	
2. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง $= \eta_1 \times CL \times h \times D \times OF$	E_b	kWh/y	200,112.86	
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง $= \eta_2 \times CL \times h \times D \times OF$	E_a	kWh/y	168,086.21	
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง $= E_b - E_a$	E_{save}	kWh/y	32,026.65	
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ $= E_{save} \times C_f$	S_c	บาท/ปี	101,844.75	
3. การวิเคราะห์การลงทุน				
3.1 ค่าอุปกรณ์และดำเนินการ	C	บาท	-	
3.2 ระยะเวลาคืนทุน = C / S_c	PB	ปี	-	

กรณีศึกษาที่ 6.22
การติดตั้ง VSD เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำหล่อเย็น

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท : บริษัท ไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ จำกัด
สถานที่ตั้ง : เลขที่ 202 หมู่ที่ 1 ถนน สุขสวัสดิ์ ต.ปากคลองบางปลากด อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ 10290

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

เนื่องจากขนาดของปั๊มน้ำหล่อเย็นเพื่อจ่ายให้กับกระบวนการผลิตของโรงงานมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น ส่งผลให้มีปริมาณน้ำหล่อเย็นมากเกินความต้องการ เดิมทางโรงงานได้ใช้วิธีควบคุมอัตราการไหลและแรงดันให้ได้ตามความต้องการโดยใช้ Electronic valve ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะเป็นสูญเสียพลังงานไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ เนื่องจากการหรี่วาล์วเพื่อลดปริมาณน้ำลงจากที่ออกแบบไว้ 7% จะลดปริมาณไฟฟ้าได้พียง 5% จากการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์ปั๊มน้ำหล่อเย็นของโรงงานเท่ากับ 280 kW

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive: VSD) เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสภาวะของโหลด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ในขบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบปั๊มน้ำ พัดลม และระบบปรับอากาศขนาดใหญ่

VSD สามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์จากเดิมซึ่งคงที่เป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมตามความต้องการใช้งาน ทั้งมอเตอร์ ปั๊มน้ำ และพัดลมดังนั้นจึงช่วยให้ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามความจำเป็นของโหลด

โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับพลังงาน ดังนี้

* Flow มีค่าแปรผันตามความเร็วรอบ (Speed หรือค่า n) ; $Q_1/Q_2 = N_1 /N_2$
* แรงดัน (Pressure) มีความสัมพันธ์ยกกำลังสองของความเร็วรอบ (n^2) ; $P_1 / P_2 = (N1 / N_2)^2$
* และพลังงาน = ความเร็วรอบยกกำลังสาม (n^3); $HP_1 / HP_2 = (N_1 / N_2)^3$

นั่นคือ Flow / Speed (n) = Pressure (n^2) = Power (n^3)

VSD จะเหมาะสมกับสภาวะงานที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา ส่วนในกรณีที่ภาระงานไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก เราจะใช้ VSD สำหรับลดการ Oversize ของการออกแบบขนาดมอเตอร์

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

แก้ไขโดยการติดตั้ง VSD ที่ปั๊มน้ำหล่อเย็นเพื่อปรับลดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตของโรงงาน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์และอัตราการของน้ำจากกราฟความสัมพันธ์
2. วัดอัตราการไหลของน้ำที่ต้องการจริงในกระบวนการผลิต
3. ประเมินผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากความสัมพันธ์ $HP_1 / HP_2 = (Q_1 / Q_2)^3$

สภาพหลังปรับปรุง

รูปที่ 6.57 มอเตอร์ที่ใช้ในการขับน้ำหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อนให้ส่วนการผลิต

รูปที่ 6.58 การติดตั้ง VSD ของทางโรงงาน

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา
1.ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 จำนวนชั่วโมงทำงานต่อวัน	h	ชั่วโมง/วัน	24	จากการทำงานจริง
1.2 จำนวนวันทำงานต่อปี	D	วัน/ปี	358	จากการทำงานจริง
1.3 ค่าไฟฟ้า	C_f	บาท/kWh	2.36	จากการทำงานจริง
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1ตรวจวัดพลังไฟฟ้าของมอเตอร์ก่อนติดตั้ง VSD	E_b	kW	280	ข้อมูลการตรวจวัด
2.2ตรวจวัดพลังไฟฟ้าของมอเตอร์หลังติดตั้ง VSD	E_a	kW	181	จากตารางไอน้ำ
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง $(E_b - E_a) \times h \times D = (280-181) \times 24 \times 358$	E_s	kWh	850,600	
3.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด $= E_s \times C_f$	S_c	บาท/ปี	2,007,434.88	
4.การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ลงทุนติดตั้ง VSD	C	บาท	1,700,000.00	
4.2ระยะเวลาคืนทุน $= C / S_c$	PB	ปี	0.846	

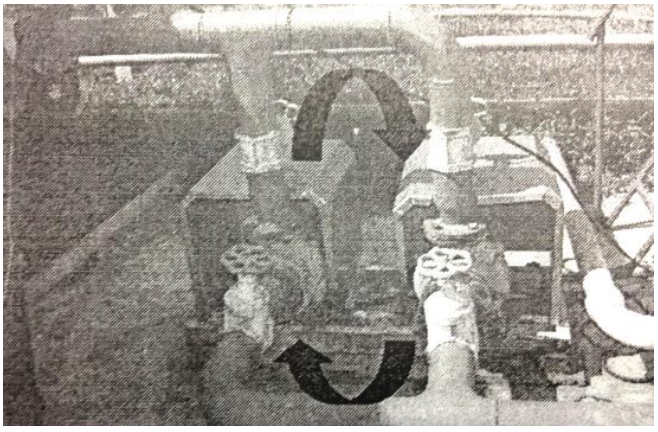
กรณีศึกษาที่ 6.23
การปรับปรุงระบบท่อเครื่องสูบน้ำเพื่อแก้ไขการลัดวงจรของน้ำ

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท: บริษัท อาหารสากล จำกัด (มหาชน)
สถานที่ตั้ง: 469/1 หมู่3 ถนนพระประโทน-บ้านแพร้ว ต.ดอนยาหอม อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง ซึ่งจะมีการใช้น้ำปริมาณมากจึงมีเครื่องสูบน้ำและระบบกรองต่างๆหลายวงจรมากเช่นกัน การใช้งานประมาณวันละ 12 ชั่วโมง 300 วันต่อปี ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยวันละ 3.30 บาท

วงจรของระบบน้ำจากถังเก็บน้ำดิบผ่านกรองสู่ถังเก็บน้ำกรอง ติดตั้งเครื่องสูบน้ำจำนวน 2 ชุดทำงานครั้งละ 1 ชุด ซึ่งด้านทางออกของเครื่องสูบทั้ง 2 ชุดไม่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับ (Check valve) และไม่เคยได้ใช้วาล์วที่ติดตั้งอยู่ในการเปิดปิดเลย ทำให้วาล์วดังกล่าวไม่สามารถใช้งานได้ ทำให้เกิดการลัดวงจรของน้ำบางส่วนจากด้าน Discharge กลับไปยังด้าน Suction ของเครื่องสูบน้ำที่ทำงาน



รูปที่ 6.59 สภาพของวาล์วก่อนดำเนินการปรับปรุง

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

การลัดวงจรของน้ำบางส่วนทางด้าน Discharge ย้อนไปยังด้าน Suctionโดยผ่านทางเครื่องสูบน้ำที่ไม่ได้ใช้งาน จะทำให้เกิดสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในการปั้มน้ำโดยเปล่าประโยชน์ เนื่องจากน้ำแรงดันสูงที่ผ่านปั้มออกไปทางด้าน Discharge แทนที่จะตรงเข้าไปที่ถังกรองทั้งหมด แต่พบว่าบางส่วนไหลย้อนกลับเข้ามาทางด้าน Suction ส่งผลให้การใช้ไฟฟ้าส่วนหนึ่งสิ้นเปลืองไปกับน้ำที่ลัดวงจรที่ไม่ได้ถูกส่งไปยังถังกรอง

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการแก้ไขวาล์วของปั้มทั้งสอง โดยเลือกแก้ไขวาล์วทางด้าน Suction ให้สามารถเปิด-ปิดตัวที่ใช้งานได้และเลือกวาล์วที่เป็นปีกผีเสื้อแบบมีก้านให้เห็นการใช้งานชัดเจน และได้แนะนำให้ความรู้กับผู้ปฏิบัติงานในเรื่องการใช้งานและการตรวจสอบอย่างถูกต้องในการเดินเครื่องสูบชุดใดชุดหนึ่งในระบบที่มีเครื่องสูบหลายชุด โดยมีปริมาณการใช้งานในระบบเดือนละ 9,500 ลูกบาศก์เมตร

ผลการตรวจวัดก่อนดำเนินการปรับปรุง

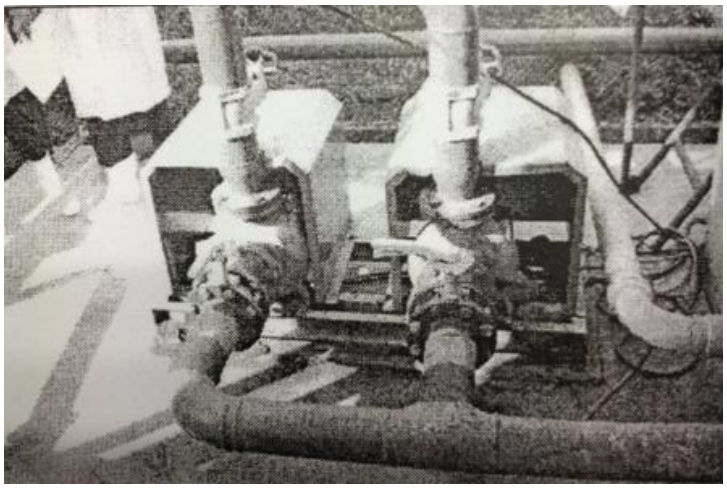
No.	Power (kW)	Flow (L/min)	Power/Flow (kW/ L/min)
P1	3.56	1,012	0.0035
P2	4.17	1,043	0.0040
Total/Average	**7.73**	**2,055**	**0.0035**

สภาพหลังปรับปรุง

ผลจากการปรับปรุงโดยการแก้ไขวาล์วของปั้มทั้งสอง พบว่า ดัชนีการใช้พลังงานของชุดปั้มทั้งสองมีค่าลดลงจากเดิมประมาณ 23.68%

ผลการตรวจวัดหลังดำเนินการปรับปรุง

No.	Power (kW)	Flow (L/min)	Power/Flow (kW/ L/min)
P1	3.61	1,365	0.0026
P2	4.24	1,384	0.0031
Total/Average	**7.85**	**2,749**	**0.0029**



รูปที่ 6.60 สภาพของวาล์วหลังดำเนินการปรับปรุง

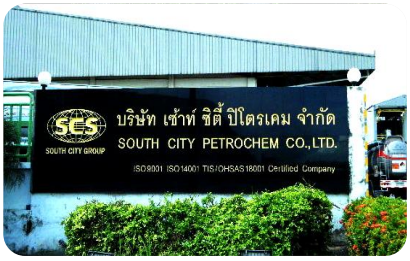
วิธีการคำนวณผลประหยัด

จากผลการตรวจสอบข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของปั้มก่อนและหลังดำเนินการปรับปรุง พบข้อมูลสำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. **ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง**				
1.1 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	E_c	฿/kWh	3.30	จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า
1.2 ชั่วโมงการใช้งานต่อปี	h	h/y	4,800	จากการใช้งานจริง
1.3 ปริมาณการสูบส่งน้ำ	Q	m^3/y	114,000	ข้อมูลโรงงาน
1.4 ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง	C_I	฿	3,000	
2. ข้อมูลจากการตรวจวัด				
2.1 อัตราการไหลก่อนปรับปรุง	FL_o	GPM	2,055	ตรวจวัดอัตราไหล(มิเตอร์น้ำ)
2.2 พลังไฟฟ้าเดิม	EL_o	kW	7.73	ตรวจวัดพลังไฟฟ้า
2.3 อัตราการไหลหลังการปรับปรุง	FL_n	GPM	2,749	ตรวจวัดอัตราไหล(มิเตอร์น้ำ)
2.4 พลังไฟฟ้าใหม่	EL_n	kW	7.85	ตรวจวัดพลังไฟฟ้า
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 ดัชนีการใช้พลังงานของปั้มชุดเดิม $SEC_o = EL_o/FL_o$	SEC_o	kW/L/min	0.0038	
3.2ดัชนีการใช้พลังงานของปั้มชุดเดิม $SEC_n = EL_n/FL_n$	SEC_n	kW/L/min	0.0029	
3.3 พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง $E_s=((SEC_o-SEC_n) \times 1,000/60)xQ$	E_s	kWh/y	1,710	
3.4 ค่าไฟฟ้าที่ลดลง $S_c = E_s \times E_c$	S_c	฿/y	5,643.00	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง	C	บาท	3,000.00	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C / S_c$	PB	ปี	0.53	

กรณีศึกษาที่ 6.24
การปรับลดความดันอากาศอัด จาก 8 บาร์ เหลือ 4 บาร์

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท : บริษัท เซ้าท์ ซิตี้ ปิโตรเคมี จำกัด
สถานที่ตั้ง : 99/1 หมู่.8 ถ.ทางหลวงสาย 3191
มาบข่า นิคมพัฒนา ระยอง 21180



ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

บริษัท เซ้าท์ ซิตี้ ปิโตรเคม จำกัด ติดตั้งเครื่องอัดอากาศทั้งหมด 2 เครื่อง ขนาด 22 kW สลับกันเปิดใช้งาน จากการตรวจสอบระบบอากาศอัดภายในโรงงานพบว่ามีการตั้งความดันไว้ที่ 8 บาร์ ซึ่งสูงกว่าค่าที่อุปกรณ์เครื่องจักรที่ต้องมาก จากการสำรวจอุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ความดันสูงที่สุดอยู่ที่ 3.5 บาร์ เท่านั้น จึงเห็นควรปรับลดค่าแรงดันลมอัดที่ตั้งไว้จากเดิม 8 บาร์ เป็น 4 บาร์

รูปที่ 6.61 ห้องเครื่องอัดอากาศก่อนปรับปรุง

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

ทั่วไปแล้วทางโรงงานมักจะเข้าใจผิดว่า การผลิตแรงดันอากาศอัดที่ความดันสูงๆ แล้วให้เครื่องหยุดพักในลักษณะแบบไร้โหลด (Unload) จะทำให้เครื่องได้หยุดพัก เครื่องก็จะใช้พลังงานน้อยลง ซึ่งก็เป็นความจริงแต่หากทบทวนสักนิดว่า เครื่องอัดอากาศที่ทำงานในลักษณะไร้โหลด (Unload) เป็นการที่มอเตอร์กินไฟแต่มิได้จ่ายอากาศอัดออกมา เราก็คงคิดได้ว่าเป็นการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดมีความต้องการอากาศอัดที่ความแรงดันประมาณ 4-5 บาร์ เท่านั้น หากอุปกรณ์ใดมีการใช้อากาศอัดที่ความดันสูงกว่านี้จะถูกจัดไว้เป็นอุปกรณ์พิเศษ ควรจะแยก ระบบออกไปหรือใช้ บู๊ตเตอร์เพรสเซอร์ (Booster Pressure) เพื่อเพิ่มแรงดันอากาศอัดเฉพาะเป็นจุดๆ ไม่ควรผลิตอากาศอัดที่แรงดันสูง เพื่อรองรับอุปกรณ์ที่ใช้ความดันพิเศษเพียงบางจุด เนื่องจากการผลิตอากาศอัดที่แรงดันสูงกว่าการใช้งานหากมีการรั่วไหลย่อมมีการรั่วไหลได้มากกว่าเช่นกัน ประกอบกับเครื่องอัดอากาศจะต้องใช้กำลังในการผลิตอากาศอัดที่สูงตามไปด้วย

ประโยชน์ของการลดแรงดัน

1. ช่วยลดการใช้พลังงานในการผลิตอากาศอัด เนื่องจากการผลิตอากาศอัดที่แรงดันสูงย่อมต้องใช้พลังงานสูงตาม โดยทั่วไปแล้วการลดแรงดันในการผลิตอากาศอัดลง 1 bar จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 7.25% หรือลดแรงดันอากาศอัดจากเครื่องผลิตลงทุกๆ 2 psi จะประหยัดพลังงานได้ 1 % สำหรับสำหรับเครื่องอัดอากาศ ชนิดโรตารี และแบบเทอร์โบ
2. ช่วยลดการสูญเสียเนื่องจากการรั่วไหลของอากาศอัด เนื่องจากแรงดันอากาศอัดสูงย่อมรั่วไหลปริมาณที่สูงตามไปด้วย
3. ช่วยลดการใช้อุปกรณ์ปรับลดแรงดันก่อนการใช้งาน กรณีแรงดันสูงกว่าความต้องการ
4. เมื่อลดแรงดันในการผลิตลงส่งผลให้เครื่องอัดอากาศสามารถผลิตอากาศอัดได้มากขึ้น นั่นคือปริมาณอากาศได้เพิ่มมากขึ้น ณ.ที่เวลาทำงานเท่ากัน

ขั้นตอนการลดแรงดันในการผลิต

1. สำรวจการใช้แรงดันอากาศอัดทุกๆ จุดที่มักเกิดปัญหา เมื่อแรงดันตก เพื่อทำการแก้ไข
2. สำรวจความต้องการแรงดันอากาศอัดของเครื่องจักรว่าต้องการแรงดันเท่าไร เพื่อใช้เทียบกับการผลิต
3. สำรวจรอยรั่วไหลของอากาศอัด แล้วทำการอุดรอยรั่วไหลทั้งหมด เพื่อลดปัญหาแรงดันตก
4. การปรับลดแรงดันควรเป็นแบบลักษณะค่อยๆลด เช่น ลดจาก 7.5 บาร์ มาที่ 7 บาร์ โดยพยายามปรับลดลงคราวละประมาณ 0.5 บาร์ หรือน้อยกว่านี้ถ้าเครื่องอัดอากาศสามารถปรับได้

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปรับลดค่าแรงดันลมอัดที่ตั้งไว้จากเดิม 8 บาร์ เป็น 4 บาร์ โดยดำเนินการซ่อมแซมสำรวจจุดลมอัดรั่วไหลทั้งหมดในโรงงานจากนั้นจึงค่อยๆ ทำการปรับตั้งค่าความดันด้านขาออกโดยการปรับลดลงคราวละประมาณ 0.5 บาร์

สภาพหลังปรับปรุง

ภายหลังดำเนินการปรับลดแรงดันในการผลิตพบว่าเครื่องอัดอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงและไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตภายในโรงงาน

วิธีการคำนวณผลประหยัด

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา
ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ชั่วโมงการใช้งานเครื่องอัดอากาศต่อปี	h	ชั่วโมง/ปี	8,760	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 เวลาการเดินเครื่องใน 1 Cycleหรือช่วง Load	T_L	วินาที	120	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 เวลาการหยุดเครื่องใน 1 Cycleหรือช่วง Unload	T_U	วินาที	60	ข้อมูลจากโรงงาน
1.4 ค่าคงที่ของอากาศ	R	kJ/kg.K	0.2871	
1.5 ค่าคงที่	n		1.3	
1.6 อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด	T_i	K	307.6	จากการตรวจวัด
1.7 ความดันอากาศเข้าเครื่องอัด	P_i	kPa	101.33	
1.8 ความดันอากาศออกจากเครื่องอัดเดิม	P_o	bar	8	
		kPa	800	
1.9 ความดันอากาศออกจากเครื่องอัดใหม่	P_{on}	bar	4	
		kPa	400	
1.10 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ช่วงอัด (Load)	E_i	kW	19.5	
1.11 อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_e	บาท/kWh	3.19	ข้อมูลจากโรงงาน
การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
2.1 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศก่อนลดความดัน $n/(n-1) \times R \times T_i \times ((P_o/P_i))^{n-1/n}-1)$	W_i	kJ/kg	233.80	
2.2 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศหลังลดความดัน $n/(n-1) \times R \times T_i \times ((P_{on}/P_i))^{n-1/n}-1)$	W_{in}	kJ/kg	142.67	
2.3 % พลังงานในการอัดที่ลดลง=$((W_i - W_{in})/W_i) \times 100$	W_s	%	38.98	
2.4 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศก่อนลดความดัน $= Ei \times h \times (T_L/T_L+T_U)$	E_o	kWh/y	113,880.00	
2.5 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = $E_o \times (W_s/100)$	E_{save}	‹Wh/ปี	44,387.00	
2.6 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = $E_{save} \times \mathbf{C_e}$	S_c	บาท/ปี	141,594.53	
3. การวิเคราะห์การลงทุน				
3.1 ค่าอุปกรณ์และดำเนินการติดตั้ง	C	บาท	-	
3.2 ระยะเวลาคืนทุน = $\mathbf{C / S_c}$	PB	ปี	-	

กรณีศึกษาที่ 6.25
การลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศ

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท : หจก.ป.สยามอุตสาหกรรมยาง จำกัด
สถานที่ตั้ง : 9 หมู่ 3 ถ.เศรษฐกิจ 1 ต.อ้อมน้อย
อ.กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ปัจจุบันในโรงงานมีเครื่องอัดอากาศขนาด 75kW จำนวน 7 เครื่อง Air dryer จำนวน 3 เครื่อง ซึ่งมีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิแวดล้อม 33 องศาเนื่องจากสถานที่ติดตั้งเดิมเป็นที่อับ ไม่มีการถ่ายเทของอากาศทำให้ บริเวณโดยรอบเครื่องอัดอากาศมีอุณหภูมิสูง

รายการเครื่องอัดอากาศในโรงงานประกอบด้วย

1. เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 100 HP ความดันลมอัด 7.0-7.5 bar
2. เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 100 HP ความดันลมอัด 9.5- 10.3 bar
3. เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 100 HP ความดันลมอัด 9.5- 10.3 bar
4. เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 100 HP ความดันลมอัด 7.0-7.5 bar
5. เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 100 HP ความดันลมอัด 7.0-7.5 bar
6. เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 100 HP ความดันลมอัด 7.0-7.5 bar
7. เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 100 HP ความดันลมอัด 7.0-7.5 bar

ผลการตรวจวัด

1. อุณหภูมิอากาศแวดล้อม = 33°C
2. อุณหภูมิอากาศเข้ากรองเครื่องอัดลมภายในเครื่องความดันลมอัด 9.5- 10.3 bar = 50°C, กำลังไฟฟ้า = 83.3 kW (load ตลอดเวลา)
3. อุณหภูมิอากาศเข้ากรองเครื่องอัดลมภายในเครื่องความดันลมอัด 7.0 -7.5 bar = 38°C, กำลังไฟฟ้า = 82.9 kW (load ตลอดเวลา)

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

อุณหภูมิของอากาศที่ต่ำย่อมมีความหนาแน่นของอากาศมากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูง นั่นคือเหตุผลที่ทำให้เราต้องพยายามลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ เพราะอากาสที่มีความหนาแน่นมากกว่าเมื่อเครื่องอัดอากาศเข้าไปแล้วย่อมได้มวลอากาศอัดที่มากกว่าเช่นกัน

โดยปกติทางโรงงานจะติดตั้งเครื่องอัดอากาศแบบรวมศูนย์ในห้องหลายๆชุด มีการต่อท่อ Duct ระบายความร้อนทิ้งออกมาด้านนอกอาคารบ้าง ไม่มีบ้าง ทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับการระบายความร้อนของระบบอากาศ

อัดตามมา ทางโรงงานควรพิจารณาในการปรับปรุงระบบระบายความร้อนเพื่อนำความร้อนทิ้งออกนอกห้องเครื่องอัดอากาศ กรณีที่ยังไม่มีการต่อท่อ duct ระบายความร้อน หรือ ติดพัดลมดูดอากาศเพิ่มเติมเพื่อดูดอากาศทิ้งตามความเหมาะสม

ผลการศึกษาในการประมาณการตัวเลขผลประหยัดที่ได้จากมาตรการลดอุรหภูมิอากาศอัดก่อนเข้าเครื่องพบว่าหากสามารถลดอุณหภูมิลงได้ทุกๆ 3°C จะสามารถลดการใช้พลังงานในระบบอัดอากาศได้ประมาณ 1%

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการจัดหาบริเวณติดตั้งเครื่องอัดอากาศใหม่เพื่อให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก ซึ่งจะทำให้อากาศมีความหนาแน่นมากขึ้น ปริมาณอากาศอัดที่ได้ต่อหน่วยไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

สภาพหลังปรับปรุง

หลังทำการย้ายเครื่องอัดอากาศไปอยู่ในที่ ที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก

รูปที่ 6.62 สถานที่ติดตั้งเครื่องอัดอากาศก่อนและหลังดำเนินการปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลประหยัด

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 100 HP ความดันลมอัด 9.5 - 10.3 bar จำนวน 2 เครื่อง				
1.1 พลังไฟฟ้าที่วัดได้	E_1	kW	83.30	ตรวจวัดจริง
1.2 ความดันอากาศที่ผลิต	$P_{o,1}$	Bar.a	10.513	จากโรงงาน
1.3 อุณหภูมิอากาศเข้าก่อนปรับปรุง	$T_{i,1}$	K	323.15	ตรวจวัดจริง
1.4 จำนวนชั่วโมงทำงานต่อวัน	h	วันต่อปี	24	
1.5 จำนวนวันทำงานต่อปี	D	วันต่อปี	300	
เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 100 HP ความดันลมอัด 7.0 - 7.5 bar จำนวน 5 เครื่อง				
1.6 พลังไฟฟ้าที่วัดได้	E_2	kW	82.90	ตรวจวัดจริง

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มา
1.8 ความดันอากาศที่ผลิต	$P_{o,2}$	Bar.a	8.013	จากโรงงาน
1.9 อุณหภูมิอากาศเข้าก่อนปรับปรุง	$T_{i,2}$	K	311.15	ตรวจวัดจริง
1.10 อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_f	บาท/ปี	3.25	
1.11 จำนวนขั้นตอนการอัด	i		1	
1.12 ค่า Isentropic ของอากาศอัด	k		1.4	
1.13 ความดันสมบูรณ์อากาศด้านขาเข้า	P_1	Bar.a	1.013	
1.14 ความหนาแน่นอากาศ	ρ	Kg/litre	0.01300	
1.15 ค่าคงที่ของอากาศ	R	kJ/kg.K	0.287	
1.16 อุณหภูมิอากาศเข้าหลังปรับปรุง	$T_{i,n}$	K	306.25	
2. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 100 HP ความดันลมอัด 9.5 - 10.3 bar จำนวน 2 เครื่อง				
2.1 พลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อปริมาณอากาศอัดก่อนปรับปรุง $(i+k)/(k-1) \times (\rho \times R \times T_{i,1} \times [(P_{o,1}/P_1)^{(k-1/i \times k)}-1]$	$SEC_{1,b}$	kJ/kg	308.7889	
2.2 พลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อปริมาณอากาศอัดหลังปรับปรุง $(i+k)/(k-1) \times (\rho \times R \times T_{i,n} \times [(P_{o,1}/P_1)^{(k-1/i \times k)}-1]$	$SEC_{1,a}$	kJ/kg	292.6399	
2.3 SEC ที่ลดลง $(SEC_{1,b}- SEC_{1,a})\times 100/ SEC_{1,b}$	$SEC_{1,s}$	%	5.2298	
2.4 พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $= SEC_{1,s} \times E1$	$E_{1,s}$	kW	4.3564	
เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 100 HP ความดันลมอัด 7.0 - 7.5 bar จำนวน 5 เครื่อง				
2.5 พลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อปริมาณอากาศอัดก่อนปรับปรุง $(i+k)/(k-1) \times (\rho \times R \times T_{i,2} \times [(P_{o,2}/P_1)^{(k-1/i \times k)}-1]$	$SEC_{2,b}$	kJ/kg	251.7942	
2.6 พลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อปริมาณอากาศอัดหลังปรับปรุง $(i+k)/(k-1) \times (\rho \times R \times T_{i,n} \times [(P_{o,2}/P_1)^{(k-1/i \times k)}-1]$	$SEC_{2,a}$	kJ/kg	247.8290	
2.7 SEC ที่ลดลง $(SEC_{2,b}- SEC_{2,a})\times 100/ SEC_{2,b}$	$SEC_{2,s}$	%	1.5748	
2.4 พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $= SEC_{2,s} \times E_2$	$E_{2,s}$	kW	1.3055	
2.5 พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $= E_{1,s} \times 2 + E_{2,s} \times 5$	E_s	kW	15.25	
2.6 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได $= E_s \times h \times D$	E_{save}	kWh/y	109,800	
2.7 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $= E_{save} \times C_f$	S_c	บาท/ปี	356,850	
3. การวิเคราะห์การลงทุน				
3.1 ค่าอุปกรณ์และดำเนินการ	C	บาท	200,000.00	
3.2 ระยะเวลาคืนทุน $= C / S_c$	PB	ปี	0.56	

กรณีศึกษาที่ 6.26

การลดการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณ Store area และ loading area

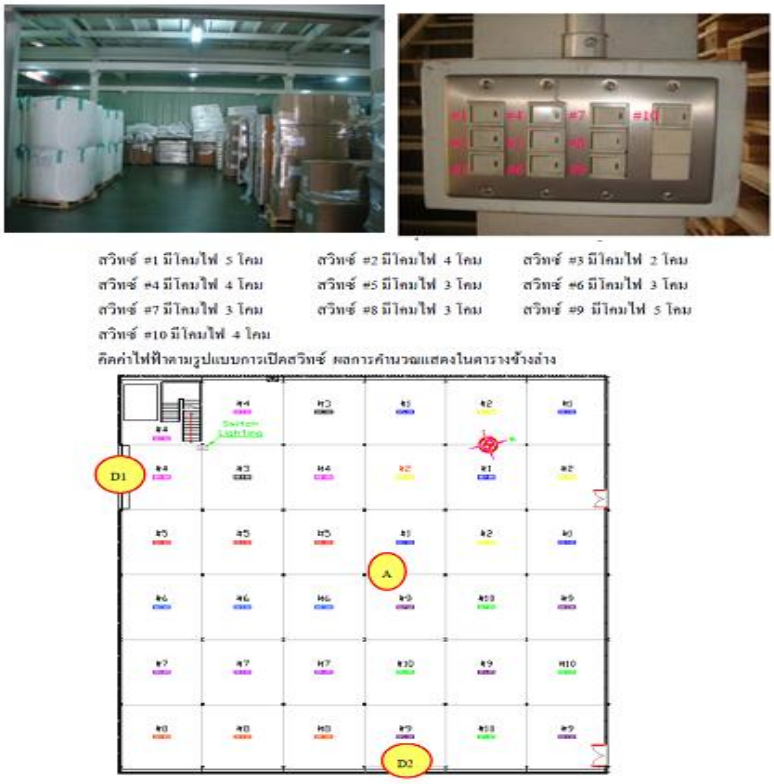
ข้อมูลพื้นฐานบริษัท

ชื่อบริษัท : บริษัท เอ็มเอ็มพี คอร์ปอเรชั่น จำกัด

สถานที่ตั้ง : เลขที่ 124 หมู่18 ถนนมิตรภาพ ตำบลปากช่อง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา 30130

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

จากการสำรวจระบบแสงสว่างพบว่าในส่วนของบริเวณ Store area สามารถลดจำนวนการเปิดใช้งานหลอดไฟได้ และ loading area นั้นสามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาช่วยในช่วงเวลากลางวันได้ทำให้ลดจำนวนหลอดไฟที่เปิดใช้งานได้ โดยในส่วนของบริเวณ Store area มีการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 36 โคม จำนวน 2 หลอดต่อโคม ในส่วนของ Store area สมารถลดจำนวนการเปิดหลอดไฟลงได้ และในส่วนของบริเวณ Loading area มีการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 36 โคม จำนวน 2 หลอดต่อโคม ในส่วนของ Loading area นั้นสามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาช่วยในช่วงเวลากลางวันได้ทำให้ลดจำนวนหลอดไฟที่เปิดใช้งานได้



รูปที่ 6.63 แสดงแผนผังการตำแหน่งของโคมไฟและหมายเลขควบคุมสวิตซ์ปิด/เปิด Store area

Loading area

สวิทช์ #1 มีโคมไฟ 6 โคม สวิทช์ #2 มีโคมไฟ 6 โคม สวิทช์ #3 มีโคมไฟ 3 โคม
สวิทช์ #4 มีโคมไฟ 3 โคม สวิทช์ #5 มีโคมไฟ 3 โคม สวิทช์ #6 มีโคมไฟ 3 โคม
สวิทช์ #7 มีโคมไฟ 6 โคม สวิทช์ #8 มีโคมไฟ 6 โคม
คิดค่าไฟฟ้าตามรูปแบบการเปิดสวิทช์ ผลการคำนวณแสดงในตารางข้างล่าง

รูปที่ 6.64 แสดงแผนผังการตำแหน่งของโคมไฟและหมายเลขควบคุมสวิตซ์ปิด/เปิด loading area

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

การใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ ปกติเวลากลางวันเรามีดวงอาทิตย์ให้แสงสว่างโดยธรรมชาติแต่ในเวลากลางคืน หรือบริเวณทำงานที่ต้องการความสว่างมาก รวมทั้งภายในอาคารซึ่งส่วนมากแสงสว่างจากธรรมชาติเข้าไม่ถึง แสงสว่างจากไฟฟ้าที่เรียกว่า แสงประดิษฐ์ (Artificial Light) จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการให้แสงสว่างภายในอาคาร แต่เราก็ไม่ควรละเลยการนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้เพราะนอกจากเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบแสงสว่างแล้ว ยังเพิ่มคุณภาพให้กับสภาพแวดล้อมภายในอาคารด้วย

การนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้มีอยู่ 2 วิธี คือ

1. การใช้แสงสว่างจากแสงอาทิตย์ ในบริเวณที่สามารถรับแสงจากธรรมชาติได้ ควรพิจารณาปรับปรุงหลังคาบางส่วนให้โปร่งแสง แต่เนื่องจากแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Sun) มีความเข้มแสงสูงถึง 7,500 lumen ต่อตารางฟุต จึงต้องใช้ตัวกลางกระจายแสง เช่น กระเบื้องไฟเบอร์โปร่งแสง เพราะหากใช้กระจกใสจะทำให้เกิดแสงจ้าแยงตาได้ง่าย จากการสะท้อนแสงของวัตถุต่างๆ แสงชนิดนี้ยังมีความไม่แน่นอนแปรเปลี่ยนได้มากในแต่ละช่วงเวลา อีกทั้งควบคุมได้ยาก จึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้ใช้ในพื้นที่ซึ่งแสงสว่างมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน นอกจากนี้ยังไม่ควรใช้ในนพื้นที่ปรับอากาศ หรือพื้นที่เก็บวัตถุที่เสียหายได้เมื่อถูก

ความร้อน เพราะแม้ว่าแสงชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพแสงต่อความร้อนของแสงสูงถึง 110 lumen/W แต่หากไม่มีการควบคุมปริมาณแสง จะทำให้ทั้งปริมาณแสงและความร้อนจะเข้าสู่อาคาร มากกว่าที่เกิดจากหลอดไฟฟ้า จึงไม่ควรให้มีพื้นที่โปร่งแสงเกิน 15% ซึ่งจากการคำนวณตามวิธีการของ CIE No.16 (E-3.2) พบว่าสำหรับประเทศไทยนั้น พื้นที่โปร่งแสงเพียง 5% ทำให้ความสว่างภายในอาคารเกิน 100 Lux ได้ถึง 95% และเกิน 150 Lux ได้ถึง 90% ของชั่วโมงทำงานระหว่างเวลา 9.00 - 17.00 น.

2. การใช้แสงสว่างจากท้องฟ้า การนำแสงธรรมชาติที่มาจากท้องฟ้า และแสงสะท้อน (Indirect Sun) ที่ปราศจากแสงโดยตรงมาใช้ นับเป็นวิธีที่เหมาะอย่างยิ่งกับการใช้งานในอาคาร เนื่องจากแสงชนิดนี้สามารถควบคุมความสม่ำเสมอของแสงได้ง่ายกว่า และมีประสิทธิภาพแสงต่อความร้อนของแสงสูงถึง 140 lumen/W จึงไม่เป็นการเพิ่มความร้อนให้แก่อาคาร ทั้งนี้ต้องอาศัยการออกแบบอาคาร ให้มีหน้าต่างรับแสงสว่างจากท้องฟ้าเข้าสู่ตัวอาคาร โดยมีส่วนยื่นหรือแผงบังแดดที่เหมาะสม หรือออกแบบให้มีช่องรับแสงในด้าน ทิศเหนือที่ปราศจากแสงอาทิตย์โดยตรง

รูปที่ 6.65 ตัวอย่างการใช้แสงสว่างจากแสงอาทิตย์ (ซ้าย) ตัวอย่างการใช้แสงสว่างจากท้องฟ้า (ขวา)

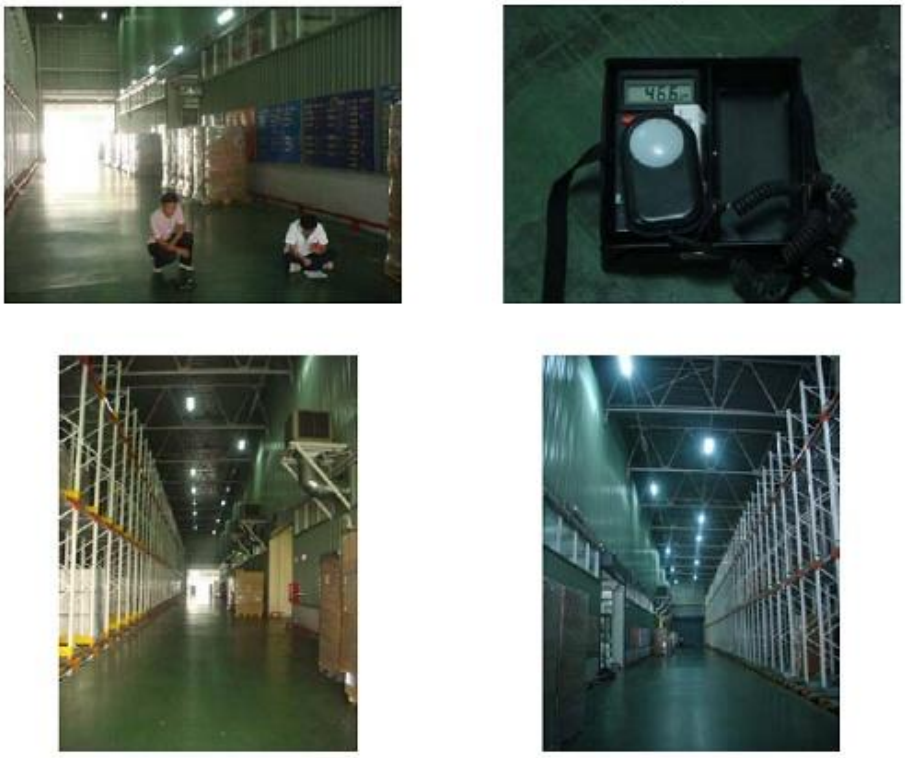
แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

แนวคิดในการลดการใช้พลังงานโดยการลดจำนวนหลอดไฟที่เปิดใช้งาน โดยมีขั้นตอนดำเนินการ ดังนี้

- ทำหมายเลขติดที่สวิตซ์ปิดเปิด
- กำหนดผู้รับผิดชอบในการเปิด ปิด ระบบแสงสว่าง

สภาพหลังปรับปรุง

เนื่องจากมาตรการนี้ไม่มีการลงทุนสามารถดำเนินการได้เร็วจึงควรดำเนินการทันที โดยพบว่าหลังการดำเนินการดังกล่าวส่งผลให้โรงงานสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างสำหรับพื้นที่ Store area และ loading area ลงได้ดังนี้



รูปที่ 6.66 แสดงการตรวจสอบค่าความส่องสว่างหลังปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลประหยัด

ในส่วนของบริเวณ Store area กำหนดให้เปิดใช้งานดังนี้ สวิทซ์ # 2, 3, 5, 7 และ 9 รวมทั้งหมด 17 โคม หรือคิดเป็น 34 หลอด

รายละเอียด	สัญลักษณ์	สูตร	ก่อน การดำเนินการ	หลัง การดำเนินการ	หน่วย	แหล่งที่มา
1. ข้อมูลทั่วไป						
พลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อหลอด	P		36	36	วัตต์/หลอด	
กำลังสูญเสียของบัลลาสต์	P_B		10	10	วัตต์/ชุด	
รวมใช้ไฟ	P_T	$P + P_B$	46	46	วัตต์/ชุด	
จำนวนหลอด	N		72	34	หลอด	
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	E_C		3.15	3.15	บาท/kWh	จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟ
จำนวนชั่วโมงที่หยุดใช้	hr		8	8	ชั่วโมง	จากการใช้งานจริง
วันทำงานต่อปี	D		352	352	วัน	จากการใช้งานจริง
2. การคำนวณ						
พลังงานที่ใช้	E	P_T*N*hr*D/1000	9,327	4,404	kWh/ปี	
รวมพลังงานที่ประหยัดได้	Se	$E_{ก่อน} - E_{หลัง}$	4,923		kWh/ปี	
รวมประหยัดเงิน	S_C		15,507		บาท/ปี	

ในส่วนของบริเวณ Loading area กำหนดให้เปิดใช้งานดังนี้สวิทซ์ # 1, 2, 7 และ 8 รวมทั้งหมด 24 โคม หรือคิดเป็น 48 หลอด

รายละเอียด	สัญลักษณ์	สูตร	ก่อน การดำเนินการ	หลัง การดำเนินการ	หน่วย	แหล่งที่มา
1. ข้อมูลทั่วไป						
พลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อหลอด	P		36	36	วัตต์/หลอด	
กำลังสูญเสียของบัลลาสต์	P_B		10	10	วัตต์/ชุด	
รวมใช้ไฟ	P_T	$P + P_B$	46	46	วัตต์/ชุด	
จำนวนหลอด	N		72	48	หลอด	
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	E_C		3.15	3.15	บาท/kWh	จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟ
จำนวนชั่วโมงที่หยุดใช้	hr		8	8	ชั่วโมง	จากการใช้งานจริง
วันทำงานต่อปี	D		352	352	วัน	จากการใช้งานจริง
2. การคำนวณ						
พลังงานที่ใช้	E	P_T*N*hr*D/1000	9,327	6,218	kWh/ปี	
รวมพลังงานที่ประหยัดได้	Se	$E_{ก่อนปรับปรุง}$ - $E_{หลังปรับปรุง}$	3,109		kWh/ปี	
รวมประหยัดเงิน	S_C		9,793		บาท/ปี	

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ทั้งสิ้น = 8,032 kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 25,301 บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 6.27
การติดตั้งอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท : บริษัท ไทยเดลมาร์จำกัด
สถานที่ตั้ง: 591 หมู่ 2 ซ.หาดอัมรา ถ.ท้ายบ้าน ต.ท้ายบ้าน ต. ท้ายบ้าน อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10230

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ในระบบของโรงงานใช้หม้อแปลงไฟฟ้าจำนวน 3 เครื่อง คือ หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA จำนวน 2 เครื่อง และ 2,000 kVA จำนวน 1 เครื่อง โดยที่หม้อแปลงแต่ละเครื่อง ต่อเชื่อมอยู่กับภาระทางไฟฟ้า หรือ Load ที่มีลักษณะแตกต่างกัน คือ

- TR1 ขนาด 1,000 kVA ส่งพลังงานให้ระบบแสงสว่างระบบปรับอากาศ และ Utility
- TR2 ขนาด 2,000 kVA ส่งพลังงานให้ระบบห้องเย็นและเครื่องจักรในกระบวนการผลิต
- TR3 ขนาด 1,000 kVA ส่งพลังงานให้ระบบห้องเย็นใหม่

จากการสำรวจของโรงงาน พบว่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากหม้อแปลงเข้าสู่ระบบไฟฟ้ามีแรงดันสูงถึง 400V มากกว่ามาตรฐาน 20V ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆใช้กำลังงานไฟฟ้ามากเกินกว่าปกติ ส่งผลให้อายุการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ สั้นลง

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

อุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นอีกอุปกรณ์หนึ่งที่ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยจะติดตั้งไว้ระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้าและตู้จ่ายไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าถูกปรับให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อความต้องการใช้จริง ก่อนจ่ายไปยังอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ทำให้ผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายไฟฟ้าต่อเดือนได้ประมาณ 15-20 % แม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายสูงในการลงทุนเบื้องต้นก็ตาม แต่ผลในระยะยาวจะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าลงได้ โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 ปี

คุณสมบัติของอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า

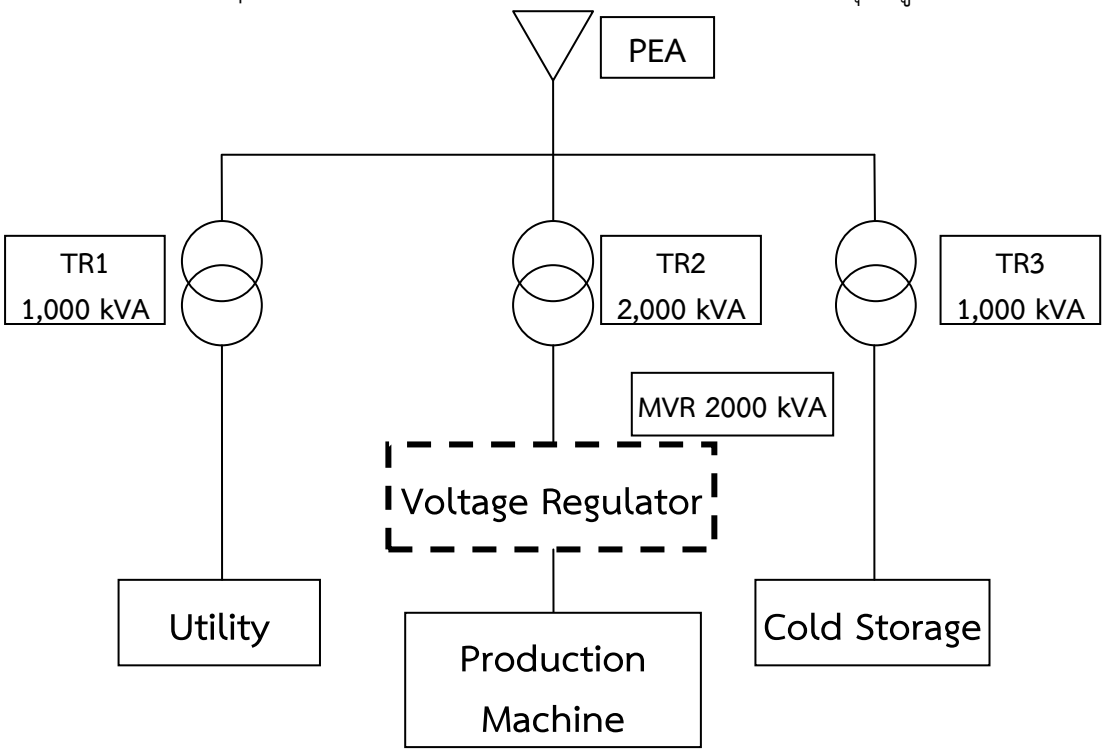
1. ปรับแรงด้นไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม
2. รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าให้คงที่
3. ปรับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำของไฟฟ้าให้สมดุลระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้ากับด้านโหลด
4. ลดฮาร์โมนิก
5. ปรับลดกระแสไฟฟ้าสูญเสียในช่วงเปิดสวิตช์อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

อุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้านี้ สามารถใช้ให้เกิดประสิทธิผลกับระบบกระแสไฟฟ้าแบบ 3 เฟส – 4 สาย ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กันทั่วไปในประเทศไทยการติดตั้งอุปกรณ์ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าดังกล่าว จะติดตั้งใน

ตำแหน่งก่อนตู้จ่ายไฟฟ้า (MDB) จึงจะให้ประสิทธิภาพสูงสุด และผลที่น่าพอใจ โดยสามารถควบคุมได้แม้กระทั่งเพียงหน่วยเดียวของวงจรไฟฟ้าทั้งหมดภายใต้แผงวงจรหลัก

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

โรงงานเกิดแนวคิดในการลดระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบลงให้เท่ากับมาตรฐาน แต่เนื่องจากไม่สามารถทำที่หม้อแปลงได้ จึงได้จัดหาอุปกรณ์ปรับลดระดับแรงดันไฟฟ้ามาใช้งานภายในโรงงานโรงงานได้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้าขนาด 2,000 kVA เข้ากับหม้อแปลงตัวที่ 2 ขนาด 2,000 kVA ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง (Secondary) แล้วจ่ายแรงดันไฟฟ้าออกจากอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้าเข้า Bus Bar ของตู้เมนไฟฟ้าแรงดันต่ำ (MDB) อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้าที่ติดตั้งใหม่ จะมี Tap ที่ตัวอุปกรณ์สำหรับปรับลดแรงดันไฟฟ้า (คล้ายกับ Tap ของหม้อไฟฟ้าทั่วไปที่สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าทุติยภูมิได้)



รูปที่ 6.67 ภาพ Line Diagram

สภาพหลังปรับปรุง

ภายหลังจากการติดตั้งอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้าทำให้ระดับแรงดันฟ้าต่ำลง ส่งผลให้เครื่องจักรในโรงงาน และระบบอื่นๆ ทั้งหมดที่ได้รับพลังงานไฟฟ้าจากหม้อแปลง 2,000 kVA ได้รับแรงดันไฟฟ้าต่ำลง เป็นผลให้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง โดยอุปกรณ์ปรับลดแรงดันไฟฟ้าที่จะนำมาใช้กับระบบไฟฟ้าที่หม้อแปลงขนาด 2,000 kVA มีรายละเอียดทางเทคนิค ดังนี้

ผู้ติดตั้ง A-FOSS (THAILAND)
รุ่น MVR 2000 kVA
Input 380V
Output 380, 369, 365,361,357 V
ขนาด 200 kVA

รูปที่ 6.68 Voltage Regulator ที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร

วิธีการคำนวณผลประหยัด

การประเมินผลประหยัดจากการใช้อุปกรณ์ปรับลดแรงดันไฟฟ้ามีความสลับซับซ้อนเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังขึ้นกับกำลังการผลิตของโรงงาน โรงงานจึงใช้การทดลองติดตั้ง Voltage Regulator แล้วตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้ประเมินถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์ปรับลดระดับแรงดัน

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ปริมาณผลผลิต	Ton	ตัน/ปี	8,878.40	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 พลังงานไฟฟ้า/ผลผลิต	SEC	kWh/ตัน	488.89	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C	บาท/kWh	2.92	ข้อมูลจากโรงงาน
2. ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด (หลังดำเนินการติดอุปกรณ์ปรับแรงดัน)				
2.1 ความต่างศักย์	V	Volt	375.42	
2.2 กระแสไฟฟ้า	I	Amp	846.85	
2.3 Power Factor	PF	-	0.96	
2.4 กำลังไฟฟ้า	P_2	kW	521.2	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 ค่า Load Impedance $Z2 = V/\sqrt{3}/I$	Z2	Ohm/phase	0.2559	
3.2 ค่า Load Impedance $R2 = (P_2 \times 1{,}000/3)/I^2$	R2	Ohm/phase	0.2422	
3.3 ค่า Load Impedance $X2 = [(Z2^2 - R2^2)]^{1/2}$	X2	Ohm/phase	0.0826	
3.4 ค่าแรงดันไฟฟ้าหลังดำเนินการ	V_2	Volt	401.15	
3.5 ค่ากระแสไฟฟ้าหลังปรับปรุง $I_2 = (V_2/\sqrt{3})/Z2$	I_2	Amp	905.08	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
3.6 ค่ากำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุงโดยนำ Load มาต่อเข้าที่บัสโดยตรง $P_1 = 3 \times R2 \times I_2^2/1,000$	P_1	kW	595.21	
3.7 % ผลการประหยัดที่เกิดขึ้น $\%SAV = (P_1 - P_2) \times 100/P_1$	% SAV	%	12.43	
3.8 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $E_s = TON \times SEC \times \%\ SAV$	E_s	kWh/ปี	535,531.73	
3.9 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $C_s = E_s \times C$	S_c	บาท/ปี	1,575,432.65	
4. การวิเคราะห์การลงทุน 4.1 ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้ง 4.2 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C / S_c$	 C PB	 บาท ปี	 3,494,000.00 2.21	

กรณีศึกษาที่ 6.28
การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเป็นแบบไร้ออกซิเจน

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท: บริษัท กรีนสปอต จำกัด
สถานที่ตั้ง: 2 ซอยรังสิต-นครนายก 46 ต.ประชาธิปัตย์ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL) เป็นบ่อขนาดใหญ่ที่มีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอ สำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียในรูปของ BOD ได้ร้อยละ 80-95 โดยอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) โดยใช้เครื่องเติมอากาศซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เพิ่มออกซิเจนในน้ำแล้วยังทำให้เกิดการรดวนผสมของน้ำในบ่อด้วย ช่วยให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงภายในบ่อ

ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน เป็นระบบที่อาศัยจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสิ่งสกปรกชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการทำงาน โดยกระบวนการย่อยสลายเป็นไปอย่างรวดเร็ว จึงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องเติมออกซิเจนในระบบบำบัด

ทั้งนี้ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานใช้เครื่องเติมอากาศที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องขับเคลื่อนใบพัดเติมอากาศเป็นจำนวนมาก ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณมาก โรงงานจึงมีแนวคิดในการเปลี่ยนไปใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเพื่อลดการใช้พลังงานฟ้าของเครื่องเติมอากาศลงไป

รูปที่ 6.69 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศเดิมของโรงงาน

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

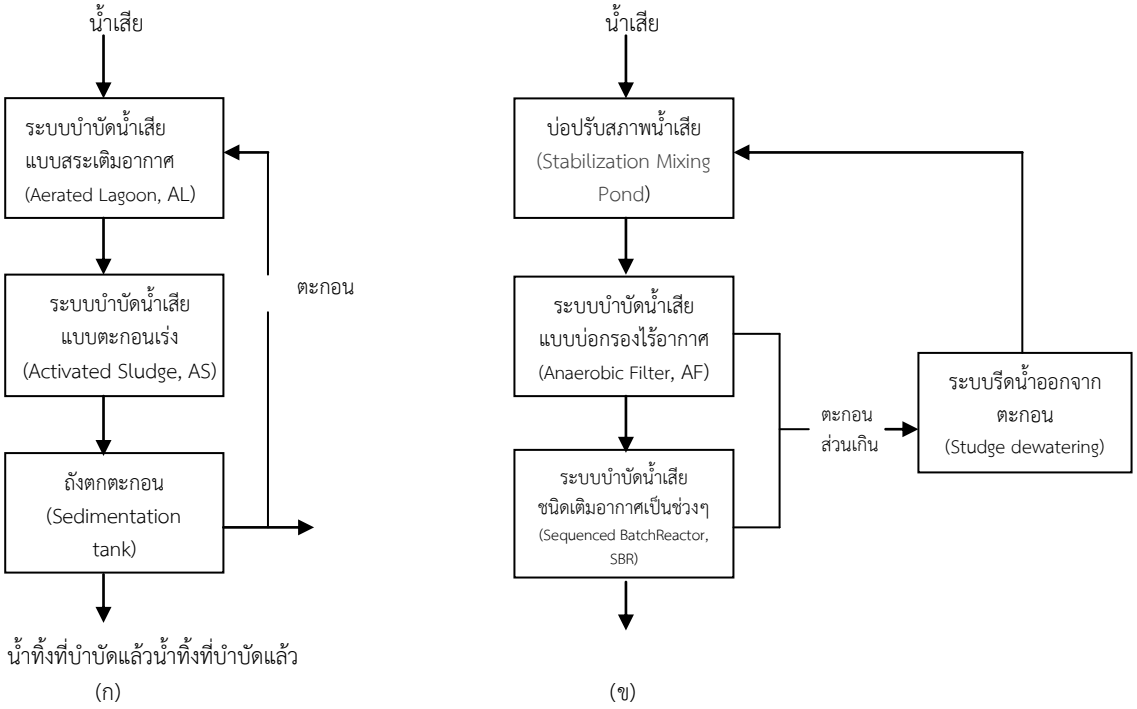
โดยปกติแล้วระบบบำบัดน้ำเสียอาจแบ่งออกเป็น *2* ระบบ คือแบบใช้ออกซิเจน และแบบไร้ออกซิเจน โดยระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนต้องใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนใบพัดหมุนเวียน และผสมน้ำเสียกับอากาศ การเปลี่ยนไปใช้ระบบนำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน จะสามารถประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนใบพัดสำหรับเติมอากาศของระบบบำบัดลง

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนในปัจจุบัน เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ไม่ใช้อากาศเป็นแบบบ่อกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) มีลักษณะเป็นบ่อที่มีจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) เกาะอยู่บนตัวกรอง (Media) ด้านบนของบ่อคลุมด้วยพลาสติกสำหรับก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยการทำงานเริ่มจากเมื่อน้ำเสียผ่านไปบนตัวกรอง จุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อเปลี่ยนไปเป็นก๊าซต่างๆ โดยมีก๊าซมีเทน (Methane) เป็นผลิตภัณฑ์หลัก

นอกจากนี้ยังมีระบบการหมุนวนน้ำเพื่อให้น้ำเสียสัมผัสกับตัวกรองอย่างทั่วถึงสำหรับตะกอนส่วนเกินจะถูกสูบเข้าสู่ระบบรีดน้ำออกจากตะกอนต่อไป อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวไม่สามารถกำจัดสิ่งสกปรกได้ดีพอจึงส่งต่อเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียชนิดเติมอากาศเป็นช่วงๆ (Sequenced BatchReactor, SBR) เป็นระบบแบบใช้อากาศ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่และเป็นที่นิยม เนื่องจากค่าลงทุนถูกไม่ต้องการทักษะในการควบคุมระบบมากนัก อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ จึงทำให้น้ำทิ้งที่ได้มีคุณสมบัติเป็นไปตามกำหนด การทำงานประกอบด้วย 2 บ่อ น้ำเสียจะถูกสูบลงบ่อแรก ที่เรียกว่าบ่อ CAP (continuous Aeration Pond) โดยในบ่อนี้จะมีการเติมอากาศให้เพียงพอ จุลินทรีย์ภายในบ่อจะทำการกำจัดสารอินทรีย์

จากนั้นจึงทำการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่บ่อที่ 2 ซึ่งเรียกว่า บ่อ SAP (Sequenced Aeration Pond) โดยในบ่อนี้จะทำการเติมอากาศระยะหนึ่ง จากนั้นการปิดเครื่องเติมอากาศ และปล่อยให้ตกตะกอน แล้วจึงทำการสูบน้ำใสออกจากบ่อ จากนั้นเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนการเติมอากาศต่อไป สำหรับตะกอนบางส่วนที่มากเกินพอของระบบจะถูกสูบเข้าสู่ระบบรีดน้ำออกจากตะกอนเป็นการต่อไป ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบบำบัดลงได้



รูปที่ 6.70 ระบบบำบัดน้ำเสียก่อนดำเนินการปรับปรุง (ก) และหลังดำเนินการปรับปรุง (ข)

สภาพหลังปรับปรุง

ผลจากการปรับปรุงระบบบำบัดของโรงงานจากแบบใช้ออกซิเจนเป็นแบบไร้ออกซิเจน สามารถช่วยให้การใช้พลังงานของระบบบำบัดลดลงเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องเติมอากาศจำนวนมากตลอกเวลา โดยจะเติมอากาศเป็นช่วงๆแทนอีกทั้งระบบบำบัดยังสามารถลดปริมาณความสกปรกที่ปะปนอยู่ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการดำเนินการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียจากระบบใช้ออกซิเจน เป็นระบบแบบไม่ใช้ออกซิเจนทั้งหมดดำเนินการ โดย BJC Engineering

รูปที่ 6.71 ระบบบำบัดน้ำเสียหลังดำเนินการปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลประหยัด

ระบบบำบัดน้ำเสียก่อนปรับปรุง ประกอบไปด้วยระบบ Activated Sludge เป็นบ่อดินขนาดใหญ่ ใช้เครื่องเติมอากาศแบบ Surface Aerator และ Jet mix Aerator โดยน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบ จะมีบ่อพักน้ำ (Equalization Sludge) นอกจากนี้ยังใช้ระบบ SBR ซึ่งใช้การเติมอากาศจาก Jet mix Aerator การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียจะทำการเพิ่มระบบ Anaerobic Filter หรือ AF ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า โดยทำงานร่วมกับระบบ SBR เพื่อยังคงประสิทธิภาพและความสามารถในการบำบัดน้ำเสียแต่ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบเติมอากาศลดน้อยลงเป็นอย่างมาก

เพื่อตรวจสอบผลการประหยัดพลังงานของการดำเนินตามมาตรการ พบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง				
1.1 สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าต่อ COD-Loading	COD_b	kWh/kg-COD	1.057	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 COD-Loading ต่อปี	COD_t	kg-COD/ปี	3,257,132	
1.3 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_f	บาท/kWh	2.76	
2. ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง				
2.1 สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าต่อ COD-Loading	COD_a	kWh/kg-COD	0.566	ข้อมูลจากโรงงาน
3. ผลการประหยัดพลังงาน				
3.1 ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า	E_s	kWh/ปี	1,599,251.81	
$E_s = COD_t \times (COD_a - COD_b)$				
3.2 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	S_c	บาท/ปี	4,413,940.00	
$C_s = E_s \times C_f$				
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้ง	C	บาท	50,000,000	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน				
$PB = C / S_c$	PB	ปี	11.33	

กรณีศึกษาที่ 6.29
การเปลี่ยนหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวลและหม้อน้ำมันร้อนเชื้อเพลิงชีวมวล

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท: บริษัท จงสถิตย์ จำกัด
สถานที่ตั้ง: 34 หมู่ที่ 1 ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล
แขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานจงสถิตย์เป็นโรงงานทอผ้าดิบ และ ฟอกย้อม โดยใช้วัตถุดิบเป็นเส้นด้ายจากโรงงานภายในเครือนำเส้นด้ายมาเข้ากระบวนทอเป็นผ้าผืน ตามชนิดของผ้าที่ลูกค้าต้องการ และนำผ้ามาทำการฟอกย้อมสีและอบผ้าในกระบวนการฟอกย้อมผ้าให้ได้ตามสีที่ต้องการนั้น

เดิมทางโรงงานใช้พลังงานจากไอน้ำที่ผลิตโดยหม้อไอน้ำ เชื้อเพลิงน้ำมันเตาขนาด 10 ตันไอน้ำ/ชั่วโมง จำนวน 3 เครื่อง ในการผลิตไอน้ำส่งจ่ายเข้าสู่กระบวนการฟอกย้อม ผ้า เพื่อให้สีติดกับเนื้อผ้าได้ดีและหลังจากการย้อมสีผ้าแล้ว จะต้องนำผ้าเข้าเครื่องอบโดย เครื่องอบผ้าใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันร้อนที่ผลิตจากหม้อน้ำมันร้อน เชื้อเพลิงน้ำมันเตาขนาด 10 ตัน/ชั่วโมง จำนวน 2 เครื่อง นำมันที่ผลิตได้จะนำมาแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับผ้าด้วยลูกกลิ้งน้ำมันร้อนเพื่อให้สีนั้นติดกับเนื้อผ้าได้ดียิ่งขึ้นและเป็นการปรับคุณภาพของเนื้อผ้าให้เป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการ ทางโรงงานมีการใช้น้ำมันเตาในการผลิตไอน้ำและน้ำมันร้อนไปใช้ในกระบวนฟอกย้อมสีและอบผ้าอยู่ที่ปีละประมาณ 14 ล้านลิตร คิดเป็นมูลค่าเชื้อเพลิงในการผลิตปีละ 180 ล้านบาท

จากการปรับตัวของราคาเชื้อเพลิงน้ำมันเตาที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอด ทำให้ต้นทุนด้านพลังงานของโรงงานสูงขึ้น ทางโรงงานจึงได้ดำเนินการติดตั้งหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวลขนาด 20 ตันไอน้ำ 1 เครื่อง และหม้อ น้ำมันร้อนขนาด 10.8 Mcal / hr ทดแทนการหม้อไอน้ำและหม้อน้ำมันร้อนเชื้อเพลิงน้ำมันเตา

รูปที่ 6.72 หม้อไอน้ำและหม้อน้ำมันเดิม (ปัจจุบันติดตั้งเป็นเครื่องเดินสำรอง)

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

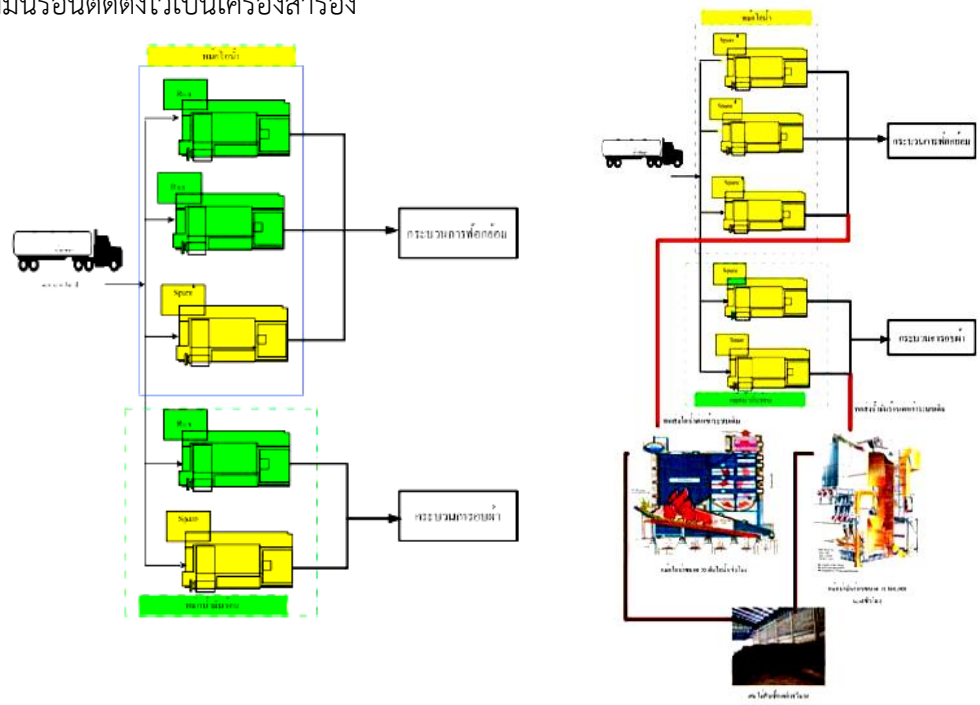
เชื้อเพลิงชีวมวล (biomass fuel) นั้น จัดอยู่ในรูปแบบของสารอินทรีย์ (organic matters) ในทางปฏิบัตินั้น พืชผลทางการเกษตรที่เหลือใช้ หรือเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตรจัดอยู่ในรูปของเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น แกลบ (rice husk) ทะลายปาล์มเปล่า (empty fruit bunch) ปาล์มไฟเบอร์ (palm fiber) ไม้สับ (wood chipped) ก้าน / ใบ/ เปลือก / แกน และเมล็ดของพืชผลต่าง ๆ รวมถึง Sludge จากระบบน้ำเสีย เป็นต้น ข้อดีของสารชีวมวลที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงนั้นอาจสรุปได้ดังนี้

- ไม่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และช่วยลดปัญหาสภาวะเรือนกระจกได้
- สามารถหาได้ในท้องถิ่น หรือภายในประเทศ โดยไม่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งต้นทุนมักจะมาจากอัตราแลกเปลี่ยนเสมอ
- ราคาไม่แพง

เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากชีวมวล (Biomass Energy Technology) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ชีวมวลเพื่อผลิตพลังงานในรูปของพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า หรือ น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ การเผาไหม้ตรง (Direct Combustion) การผลิตก๊าซชีวมวล (Gasification) และเทคโนโลยีที่อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา ได้แก่ การผลิตน้ำมันจากชีวมวล (Bio-Oil) การผลิตพลังงานจากชีวมวลด้วยระบบ Integrated Gasification Combine Cycle (BIGCC) และการสกัดไฮโดรเจนจากชีวมวล

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการติดตั้งหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวลขนาด 20 ตันไอน้ำ 1 เครื่อง และหม้อ น้ำมันร้อนขนาด 10.8 Mcal / hr ทดแทนการหม้อไอน้ำและหม้อน้ำมันร้อนเชื้อเพลิงน้ำมันเตา สำหรับหม้อไอน้ำและหม้อน้ำมันร้อนติดตั้งไว้เป็นเครื่องสำรอง



รูปที่ 6.73 (ซ้าย) หม้อไอน้ำและหม้อน้ำมันเชื้อเพลิงที่ติดตั้งก่อนดำเนินการปรับปรุง และ (ขวา) หม้อไอน้ำและหม้อน้ำมันเชื้อเพลิงชีวมวลและชุดเดิมที่ติดตั้ง

สภาพหลังปรับปรุง

รูปที่ 6.74 ฮอปเปอร์ป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล

รูปที่ 6.75 หม้อไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวลขนาด 20 ตันไอน้ำ/ชั่วโมง

รูปที่ 6.76 หม้อน้ำมันร้อนขนาด 10.8 ล้าน kCal/ชั่วโมง

รูปที่ 6.77 (ซ้าย) ระบบส่งไอน้ำเข้าโรงงาน (ขวา) ระบบส่งน้ำมันร้อนเข้าโรงงาน

วิธีการคำนวณผลประหยัด

การวิเคราะห์ผลประหยัดที่เกิดขึ้นจริงจากการติดตั้งหม้อไอน้ำและหม้อน้ำมันร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทดแทนเครื่องเดิมครื่องเดิม จะตรวจสอบได้จากค่า SEC ของโรงงาน

เพื่อตรวจสอบผลการประหยัดพลังงานของการดำเนินตามมาตรการ พบข้อมูลที่สำคัญดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง				
1.1 ปริมาณการใช้น้ำมันเตา	$Q_{f,b}$	ลิตร/ปี	14,250,881	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 ผลผลิตผ้าย้อมสี	P_b	ตัน/ปี	13,923.36	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 ราคาน้ำมันเตา	C_f	บาท/ลิตร	13	ข้อมูลจากโรงงาน
1.4 ค่าเชื้อเพลิงต่อผลผลิตก่อนปรับปรุง $(Q_{f,b} \times C_f)/ P_b$	SEC_b	บาท/ตัน	13,305.81	
2. ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง				
1.1 ผลผลิตผ้าย้อมสี	P_a	ตัน/ปี	15,404.72	ข้อมูลจากโรงงาน
1.2 ปริมาณการใช้น้ำมันเตา	$Q_{f,a}$	ลิตร/ปี	1,488,000	ข้อมูลจากโรงงาน
1.3 ปริมาณการใช้เศษไม่สับ	$Q_{b,a}$	ตัน/ปี	32,594.00	ข้อมูลจากโรงงาน
1.4 ราคาเศษไม่สับ	C_b	บาท/ตัน	2,314	ข้อมูลจากโรงงาน
3. ผลการประหยัดพลังงาน				
3.1 ค่าเชื้อเพลิงต่อผลผลิตหลังปรับปรุง $SEC_a = [Q_{f,a} \times C_f + Q_{b,a} \times C_b] / P_a$	SEC_a	บาท/ตัน	6,030.44	
3.2 ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ $C_s = [P_a \times SEC_b - (Q_{f,a} \times C_f + Q_{b,a} \times C_b)]$	S_c	บาท/ปี	111,936,824.8	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้ง	C	บาท	50,000,000	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C / S_c$	PB	ปี	0.44	

กรณีศึกษาที่ 6.30
การติดตั้ง Chiller plant management

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท : โรงพยาบาลวิภาราม
สถานที่ตั้ง : 2677 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง
เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงพยาบาลวิภารามใช้ระบบปรับอากาศด้วยเครื่องทำความเย็นแบบรวมศูนย์ คอมเพรสเซอร์ชนิดหอยโข่ง (Chiller) 300 ตัน ระบายความร้อนด้วยน้ำ ทำน้ำเย็นจ่ายให้ชุดส่งลมเย็นในอาคารโรงพยาบาลทั้งหมด เครื่องทำความเย็นของเดิมเป็นรุ่นเก่าไม่มีระบบควบคุมการทำงานที่ทันสมัยและประหยัดพลังงาน แต่ตัวเครื่องทำความเย็น ยังมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นอยู่ และเป็นเครื่องทำความเย็นที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก โรงพยาบาลจึงเลือกที่จะปรับปรุงประสิทธิเครื่องทำความเย็นนี้ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเกิดประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูงสุดโดย โดยการติดตั้งชุด Chiller Plant management เป็นเครื่องมือในการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

การทำงานของระบบ Chiller Plant management เป็นการทำงานโดยอุปกรณ์ระบบปรับอากาศให้อยู่ในความควบคุมของคอมพิวเตอร์เพื่ออำนวยความสะดวกและมีประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งเป็นระบบเครือข่าย Network แบบ LAN (Local Area Network) รูปแบบของการเชื่อมต่อระบบ Network ข้อดีคือ สามารถใช้ Software, ข้อมูล, อุปกรณ์ทางด้าน Hard Ware ร่วมกันได้ ดูจากภาพประกอบโดยมีการแบ่งระดับของการควบคุมทั้งหมด 4 ระดับคือ Management Level, System control Level, Process Control Level และ Equipment Level

ระบบนี้จะควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นกลาง (Chiller plants) เครื่องส่งลมเย็น (Air handing units) ส่วนปรับลมเย็น (VAV box) ฯลฯ โดยจะเฝ้าดูและคอยควบคุมระดับของอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสม การประหยัดพลังงานเกิดจากสามารถควบคุมให้เครื่องทำน้ำเย็นทำงานในอุณหภูมิที่เหมาะสม และควบคุมในส่วนเครื่องจ่ายลมเย็นผ่านอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบอัตโนมัติ (Variable Speed Drive) ซึ่งเป็นการทำงานแบบอัตโนมัติ

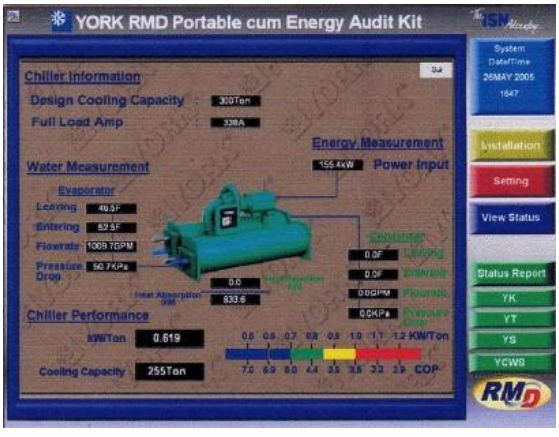
แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการติดตั้งชุด Chiller Plant management เพื่อเป็นเครื่องมือในการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีรายละเอียดในการควบคุมดังนี้

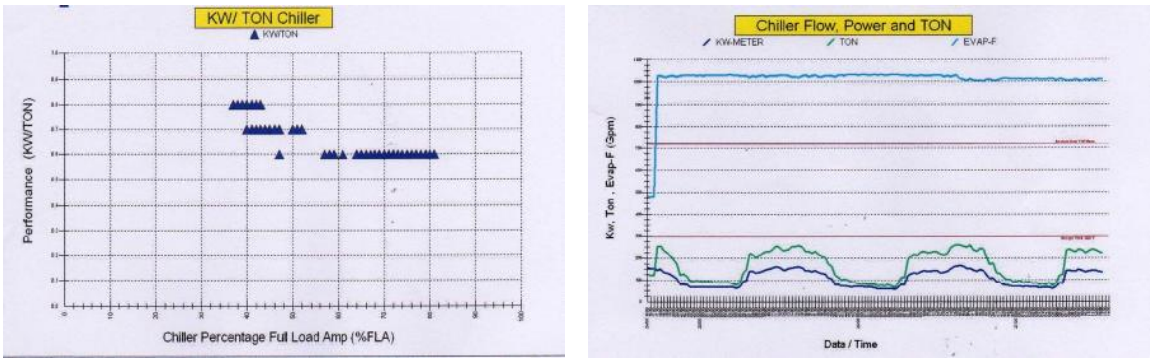
- ติดตั้ง kW-Transmitter สำหรับตรวจวัดพลังงาน
- ติดตั้ง Temperature Transmitter สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิน้ำ
- ติดตั้ง Pressure Differential sensor สำหรับตรวจวัดความดันของน้ำด้านเข้าและออกจาก Chiller
- ติดตั้งโปรแกรมระบบควบคุมระยะไกลเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงระบบการทำงาน เก็บบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและนำข้อมูลมาเปรียบเทียบผลการใช้พลังงาน

รูปที่ 6.78 (ซ้าย) Chiller 300 ตัน และ (ขวา) VSD ควบคุมเครื่องทำความเย็น

สภาพหลังปรับปรุง

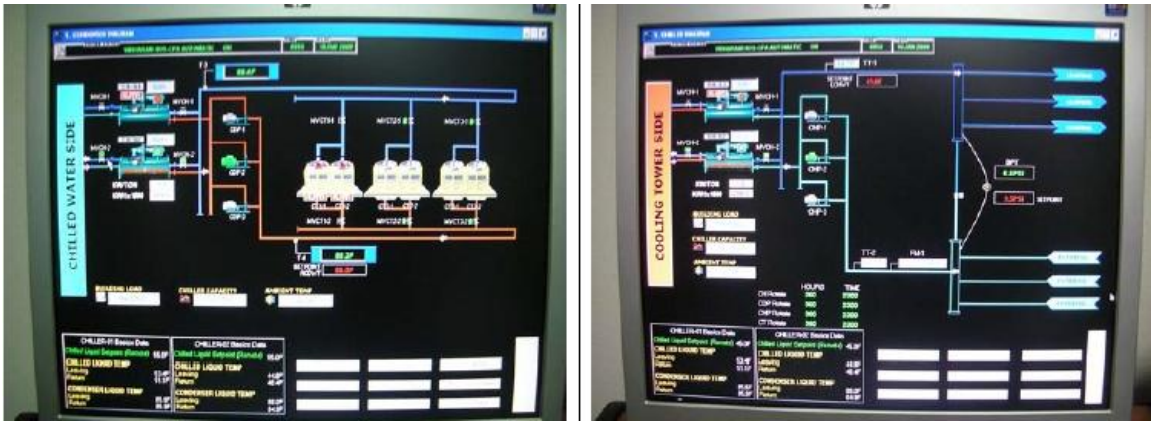


รูปที่ 6.79 (ซ้าย) การควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์
(ขวา) จอรายงานผลการทำงานของ Chiller



รูปที่ 6.80 (ซ้าย) ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพการทำความเย็น
(ขวา) กราฟแสดงพลังงานที่ใช้, ความเย็น, อัตราการไหล

รูปที่ 6.81 ชุดส่งสัญญาณและ Sensor ตรวจวัด



รูปที่ 6.82 ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน

วิธีการคำนวณผลประหยัด

การวิเคราะห์ผลประหยัดที่เกิดขึ้น ตรวจสอบได้จากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน Chiller ก่อนและหลังดำเนินการปรับปรุงหักลบด้วยผลประหยัดที่เกิดจากการเปลี่ยน Thermostat

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง				
1.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าใน Chiller	E_b	kWh/เดือน	200,400	ข้อมูลจากโรงพยาบาล
2. ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง				
2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าใน Chiller	E_a	kWh/เดือน	170,340	ข้อมูลจากโรงพยาบาล
2.2 ผลประหยัดจากมาตรการเปลี่ยนเทอร์โมสตัท	Esave,t	kWh/ปี	96,190	
2.3 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	C_f	บาท/ kWh	2.90	
3. ผลการประหยัดพลังงาน				
3.1 พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	E_s	kWh/ปี	263,808	
$E_s = (E_b - E_a) \times 12$ - Esave,t				
3.2 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	S_c	บาท/ปี	765,043.20	
$S_c = E_s \times C_f$				
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้ง	C	บาท	4,650,000	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน				
$PB = C / S_c$	PB	ปี	6.08	

กรณีศึกษาที่ 6.31
การใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตน้ำร้อน

ข้อมูลพื้นฐานบริษัท
ชื่อบริษัท : โรงแรมภูเก็ตเมอร์ลิน
สถานที่ตั้ง : 158/1 ถนนเยาวราช ตำบลตลาดใหญ่
อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

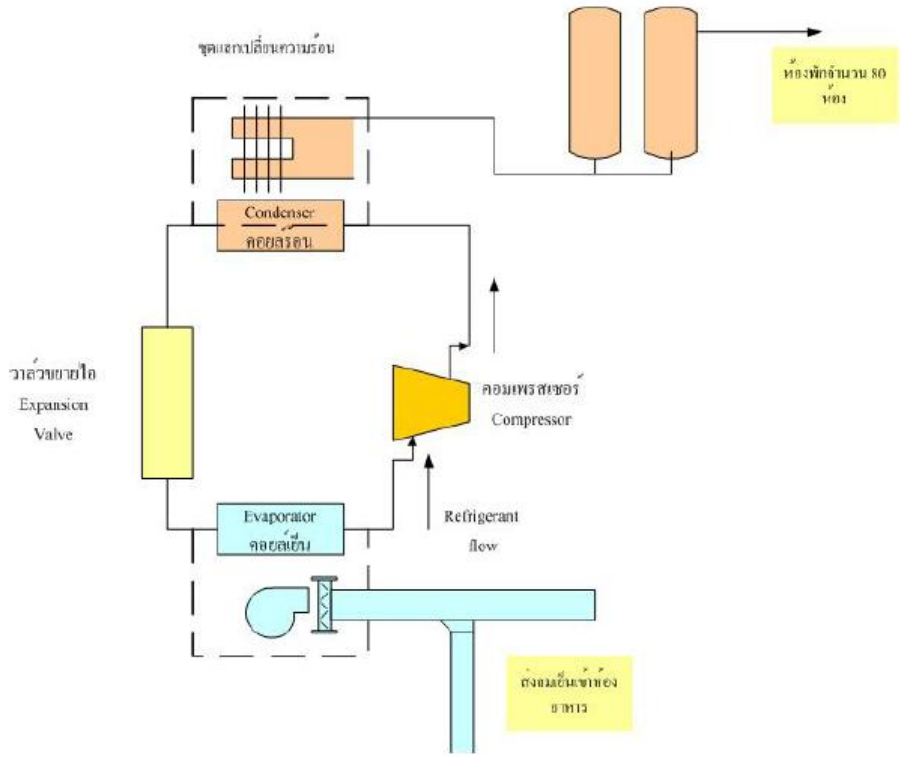
เดิมโรงแรมภูเก็ตเมอร์ลินติดตั้งและใช้งานระบบทำน้ำร้อนด้วยหม้อทำน้ำร้อนเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล ในการเผา ไหม้เพื่อผลิตน้ำร้อนขนาด 2 ตัน/ชั่วโมง น้ำร้อนที่ผลิตจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 60 องศาเซลเซียส และส่งไปถัง เก็บน้ำร้อน เพื่อเก็บสำรองน้ำร้อนไว้สำหรับใช้งานภายในห้องพัก จากราคาน้ำมันที่ปรับตัวสูงขึ้น ทำให้ต้นทุนในการผลิตน้ำร้อนของโรงแรมนั้นสูงขึ้น

หลักการ ทฤษฎี และเทคโนโลยี

หลักการทำงานของปั๊มความร้อน คือการถ่ายเทความร้อนไม่ใช่สร้างความร้อน ปั๊มความร้อนทำงานโดยการดึงความร้อนจากแหล่งความร้อน วัฏจักรการทำงานมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ ต่างกันเพียงแต่ปั๊มความร้อนจะเลือกใช้ประโยชน์จากด้านความร้อนเป็นหลัก และควบคุมอุณหภูมิด้านความร้อน แทนด้านความเย็น ความเย็นเป็นผลพลอยได้ วัฏจักรการทำงานด้านความเย็นกับความร้อนนั้นเชื่อมโยงกันด้วยสาร ทำงาน HFC 134a โดยเริ่มจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์ซึ่งสารทำงานจะถูกอัดเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและความดัน จากนั้นสารทำงานจะถูกนำมากลั่นในคอนเดนเซอร์ ให้สารทำงานคายความร้อนออกไปให้กับน้ำทำให้ได้น้ำร้อน หลังจากนั้นสารทำงานจะถูกลดความดันในเอ็กแพนชั่นวาล์วจนสารทำงานบางส่วนกลายเป็นไอหรือพร้อมที่จะระเหยเมื่อได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนในชุดอีแวปเปอร์เรเตอร์

แนวทางและขั้นตอนการปรับปรุง

ดำเนินการติดตั้งปั๊มความร้อน (Heat Pump) จำนวน 2 เครื่อง กำลังไฟฟ้าเครื่องละ 43.5 กิโลวัตต์ เพื่อทำน้ำร้อนเก็บเข้าถังขนาด 10,000 ลิตร จำนวน 2 ถัง เพื่อเก็บน้ำร้อนที่ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 60 องศาเซลเซียส สำหรับส่งไปใช้งานตามห้องพักและยกเลิกการใช้เครื่องทำน้ำร้อนของเดิมทั้งหมด ลมเย็นที่ได้จาก Heat pump จะส่งไปทำความเย็นในห้องอาหารของโรงแรมเพื่อลดการใช้งานของเครื่องปรับอากาศขนาด 11 ตันที่ติดตั้งอยู่เดิม



รูปที่ 6.83 ไดอะแกรมปั๊มความร้อนที่ใช้งานในโรงแรม

สภาพหลังปรับปรุง

Heat Pump ที่ติดตั้งขึ้นใหม่ผลิตน้ำร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 60C (เท่าเดิม) โดยสามารถผลิตไอน้ำในปริมาณเท่าเดิมและใช้พลังงานจากไฟฟ้าแทนการใช้เชื้อเพลิงดีเซล

รูปที่ 6.84 (ซ้าย) Heat Pump เครื่องที่ 1 (ขวา) Heat Pump เครื่องที่ 2

รูปที่ 6.85 ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 10,000 ลิตร

วิธีการคำนวณผลประหยัด

การวิเคราะห์ผลประหยัดที่เกิดขึ้นตรวจสอบจากค่าพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยผลิตน้ำร้อนก่อนและหลังดำเนินการปรับปรุง

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1.ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง				
1.1 อุณหภูมิน้ำเข้า / อุณหภูมิน้ำออก	T_i /T_o	องศาเซลเซียส	30/60	จากโรงแรม
1.2 อัตราการผลิตน้ำร้อนเฉลี่ยต่อวัน	$m_{w,b}$	ลิตร/วัน	28,800	
1.3 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ยต่อวัน	$m_{d,b}$	ลิตร/วัน	200	
1.4 ชั่วโมงการทำงาน	h	ชั่วโมง/วัน	23	
1.5 วันทำงาน	d	วัน/ปี	365	
1.6 ราคาน้ำมันดีเซล	C_d	บาท/ลิตร	30	
2. ข้อมูลหลังทำการปรับปรุง				
2.1 กำลังไฟฟ้าที่ใช้	P_a	kW	87	จากโรงแรม
2.2 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยต่อวัน	E_a	kWh/วัน	991.8	
2.3 ราคาค่าไฟฟ้า	C_f	บาท/ kWh	3.00	
3. ผลการวิเคราะห์				
3.1 ค่าพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี $S_c = (m_{d,b} \times C_d \times d - Ea \times C_f \times d)$	S_c	บาท/ปี	1,103,979	
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการติดตั้ง	C	บาท	5,000,000	
4.2 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C / S_c$	PB	ปี	4.53	

ภาคผนวก

ตารางแปลงหน่วย

IMPERIAL	x	Factor	=	IMPERIAL	x	Factor	=	IMPERIAL
ENERGY								
Btu	x	1.055	=	kJ	x	0.9478	=	Btu/h
therms	x	105.5	=	MJ	x	0.009478	=	therms
Btu	x	0.000293	=	kWh	x	3412.14	=	Btu
therms	x	29.31	=	kWh	x	0.03412	=	therms
kWh	x	3.6	=	MJ	x	2.2778	=	kWh
hph	x	2.684	=	MJ	x	0.3725	=	nph
also therms	x	10^3	=	Btu	kcal x	4.187	=	kJ
					kcal x	3.968	=	Btu
POWER, HEAT, OR ENERGY FLOW RATE								
Btu/h	x	0.0002931	=	kW	x	3412	=	Btu/h
therms/h	x	29.31	=	kW	x	0.034120	=	therms/h
hp	x	0.7457	=	kW	x	1.3410	=	hp
tons of refrigeration	x	3.5170	=	kW	x	0.2843	=	tons of refrigeration
Steam, lb/h	x	0.2844	=	kW	x	3.517	=	Steam, lb/h
Steam, kg/h	x	0.6269	=	kW	x	1.595	=	Steam, kg/h
kcal/h	x	0.001163	=	kW	x	859.8	=	kcal/h
also ton of refrigeration	x	12000	=	Btu/h	Steam, lb/h x	970.3	=	Btu/h
					therms/h x	103.1	=	Steam, lb/h
CALORIFIC VALUE, HEAT CONTENT								
Btu/lb	x	2.326	=	kJ/kg (MJ/tonne)	x	0.4299	=	Btu/lb
Btu/lb	x	0.002326	=	MJ/kg (GJ/tonne)	x	429.90	=	Btu/lb
Btu/ft^3	x	37.26	=	kJ/m^3	x	0.02684	=	Btu/ft^3
Btu/ft^3	x	0.03726	=	kJ/l (MJ/m^3)	x	26.8	=	Btu/ft^3
Btu/gal	x	0.2321	=	kJ/l (MJ/m^3)	x	4.309	=	Btu/gal
Therms/gal	x	23.21	=	MJ/l (GJ/m^3)	x	0.04309	=	Therms/gal
also: kcal/kg	x	4.187	=	kJ/kg	MJ/kg (GJ/tonne) x	1000	=	kJ/kg (MJ/tonne)
kcal/kg	x	1.8	=	Btu/lb	MJ/l (GJ/m^3) x	1000	=	kJ/l (MJ/m^3)
therms/tonne	x	44.64	=	Btu/lb				

Note : Steam flow rate are given From and At 100 $^{\circ}$ C

SPECIFIC HEAT

Btu/lb $^{\circ}$F	x	4.187	=	kJ/kg $^{\circ}$C	x	0.2388	=	Btu/lb $^{\circ}$F
Btu/ft^3 $^{\circ}$F	x	67.07	=	kJ/m^3 $^{\circ}$C	x	0.01491	=	Btu/ft^3 $^{\circ}$F

THERMAL CONDUCTIVITY

Btu in/ft^2 h $^{\circ}$F	x	0.1442	=	W/m $^{\circ}$C	x	6.933	=	Btu in/ft^2 h $^{\circ}$F

HEAT TRANSFER COEFFICIENT'

Btu/ft^2 h $^{\circ}$F	x	5.678	=	W/m^2 $^{\circ}$C	x	0.1761	=	Btu/ft^2 h $^{\circ}$F

HEAT TRANSFER

Btu/ft^2 h	x	0.003155	=	kW/m^2	x	317	=	Btu/ft^2 h

COMBUSTION INTENSITY, HEAT LOADING

Btu/ft^3 h	x	0.01035	=	kW/m^3	x	96.62	=	Btu/ft^3 h

DENSITY, CONCENTRATION, HUMIDITY

lb/ft^3	x	37.26	=	kg/l	x	62.43	=	lb/ft^3
lb/ft^3	x	0.03726	=	kg/m^3	x	0.06243	=	lb/ft^3
lb/gal	x	0.2321	=	kg/l	x	10.2	=	lb/gal
grains/ft^3	x	0.03726	=	kg/m^3	x	437	=	grains/ft^3
grains/lb	x	23.21	=	kg/kg	x	7000	=	grains/lb

also: kg/l x 1000 = kg/m^3

kg/l kg/d m^3 = relative density (to water at 4 $^{\circ}$ C) specific gravity (water at 4 $^{\circ}$ C)

Density relative to air at 15 $^{\circ}$ C 1 atmasphere x 1.225 kg/m^3

PRESSURE

Psi	x	0.06895	=	bar	x	14.50	=	Psi
Psi	x	6.895	=	kPa	x	0.1450	=	Psi
Psi	x	68.95	=	mbar	x	0.0145	=	Psi
Psi	x	703.1	=	mmH_2O	x	0.001422	=	Psi
in Hg	x	33.86	=	mbar	x	0.02953		in Hg
in H_2O	x	2.491	=	mbar	x	0.4015	=	in H_2O

also : Standard Atmospheres (atm) x 1.013 = bar Standard Atmospheres (atm) x 14.70 = Psi

in Hg	x	0.4912	=	Psi	mm Hg	x	1.333	= mbar
in H_2O	x	0.03612	=	psi	mmH_2O	x	9.807	= mbar
torr			=	mm Hg	bar	=	1000	= mbar
kN/m^2			=	kpa	bar	=	100	= kpa

Notes:

(a) lb/m^2 is abbreviated above to psi

(b) mm Hg, in Hg, mm H_2O and in H_2O are as conventionally measured.

(c) the suffixes-a and -g refer to absolute and gauge pressures respectively.

gague pressure plus atmospheric pressure (in the same units) = absolute Pressure.

(d) Hg and H2 O refer to Mercury and Water respectively.

MASS

grains	x	0.0648	=	g	x	15.43	=	grains
oz	x	28.35	=	g	x	0.03528	=	oz
lb	x	453.6	=	g	x	0.002205	=	lb
lb	x	0.4536	=	kg	x	2.205	=	lb
ton	x	1.016	=	tonne	x	0.9842	=	ton
also: lb	x	7000	=	grains	kg	x	1000	=	g
ton	x	2240	=	lb	tonne	x	1000	=	kg

LENGTH

inches	x	25.4	=	mm	x	0.03937	=	inches
feet	x	0.3048	=	metres	x	3.281	=	feet
miles	x	1.609	=	km	x	0.6214	=	miles

AREA

in^2	x	645.2	=	mm^2	x	0.00155	=	in^2
in^2	x	0.0006452	=	m^2	x	1550	=	in^2
ft^2	x	0.0929	=	m^2	x	10.76	=	ft^2
yd^2	x	0.8361	=	m^2	x	1.96	=	yd^2
also: areas	x	43560	=	ft^2	hectareas (hal)	x	10000	=	m^2

VOLUME

gal (imp)	x	4.5460	=	litres	x	0.22	=	gal (imp)
gal (imp)	x	0.004546	=	m^3	x	220	=	gal (imp)
ft^3	x	28.32	=	litres	x	0.03531	=	ft^3
ft^3	x	0.02832	=	m^3	x	35.31	=	ft^3
yd^3	x	0.7646	=	m^3	x	1.308	=	yd^3
also: ft^3	x	6.229	=	gal (imp)	m^3	x	1000	=	litres
U.S.gal	x	0.8327	=	gal (imp)	U.S. barrel (bbl)	x	159	=	litres
U.S.gal	x	3.785	=	litres	dm^3			=	litres

FLOW RATE

cfm	x	0.0004719	=	m^3/s	x	2119.00000	=	cfm
cfm	x	0.4719	=	l/s	x	2.119	=	cfm
gal/min	x	0.2728	=	m^3/h	x	3.666	=	gal/min
gal/min	x	0.07577	=	l/s	x	13.2	=	gal/min

also: l/s = dm^3/s

เอกสารอ้างอิง

1. **รายงานฉบับสมบูรณ์ แนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมไทย ตามแนวคิดการเพิ่มผลิตภาพสีเขียว (Green Productivity),** สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
2. **รายงานประจำปี 2554,** องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), กรุงเทพฯ.
3. พิชัย ถิ่นสันติสุข**, Carbon footprint ภาระหรือพันธะของผู้ประกอบการ,** Energy saving, กุมภาพันธ์2553**.**
4. ดร.ชัยวัฒน์ มั่นเจริญ, **การศึกษาและกำหนดค่า Carbon Intensity ของอุตสาหกรรมเคมี อาหาร สิ่งทอ แก้วและเซรามิก**, องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), กรุงเทพฯ.
5. **รายงานพลังงานของประเทศไทย 2554,** กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 2554.
6. **รายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย 2554,** กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 2554.
7. **แผนแม่บทการพัฒนาอุตสาหกรรมไทย พ.ศ.2555-2574,** สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
8. **แผนแม่บทการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหาร พ.ศ.2553-2557,** กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, กันยายน 2552
9. **สรุปสภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี 2554 และแนวโน้มปี 2555,** สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, 2554.
10. **รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมรายไตรมาส (ไตรมาสที่ 1 ปี 2555) ,** สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, 2555.
11. **เอกสารเผยแพร่อุตสาหกรรมน่ารู้ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมยา,** สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
12. **เอกสารเผยแพร่อุตสาหกรรมน่ารู้ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยาง,** สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
13. **คู่มือการพัฒนาต่อยอดการดำเนินการจัดการพลังงานตามกฎหมายประเทศไทยไปสู่ระบบการจัดการพลังงานในระดับสากล (ISO50001),** กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

14. **คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอาหารกระป๋อง** โครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือจากโรงงานควบคุมตาม พรบ. 2535, สำนักงานเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

15. **หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ) อุตสาหกรรมแช่แข็ง**, กลุ่มเทคโนโลยีการป้องกันมลพิษ สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2551

16. **คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก** โครงการพัฒนาบุคลากรการอนุรักษ์พลังงานจากกรณีตัวอย่างในอุตสาหกรรมที่ประสบความสำเร็จ, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

17. **คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์** โครงการพัฒนาบุคลากรการอนุรักษ์พลังงานจากกรณีตัวอย่างในอุตสาหกรรมที่ประสบความสำเร็จ, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

18. **กรณีศึกษาที่ประสบความสำเร็จด้านการอนุรักษ์พลังงาน,** 2551, สำนักงานพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

19. **เทคนิคการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานในอาคารและโรงงาน,** สำนักงานพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

20. **คู่มือการฝึกอบรม เทคโนโลยีที่ประสบความสำเร็จและมีผู้นำไปใช้แล้วในอุตสาหกรรมอาหาร,** กองฝึกอบรม, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

21. **Report on the study on Energy Conservation Project in the Kingdom of Thailand Vol.3 –Plastics & Chemical, Food-,** Japan International Cooperation Agency, January, 1984.

22. **Project on Studying of Energy Efficiency Index in Rubber Industry,** DEDE Ministry of Energy, November 2007.

23. **ศูนย์แสดงเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน ภาคอุตสาหกรรม (Technology Display for Industry) ภายในอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ,** กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ
ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

www.dede.go.th

จัดทำโดย

บริษัท เอนเนอร์ยี่ ควอลิตี้ เซอร์วิส จำกัด
599/104 ถนนรัชดาภิเษก แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 0-2192-1847-8 โทรสาร 0-2192-1849

www.eqs.co.th
www.facebook.com/EQSConsult