การจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

ร้อยโท พงศธร ปียวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ENERGY MANAGEMENT IN PRODUCTION PROCESS OF FROZEN SEAFOOD INDUSTRY

LIEUTENANT PONGSATORN PIYAWAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง
โดย	ร้อยโท พงศธร ปียวรรณ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……. ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

……... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

……. กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

……. กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.อุริช อัชชโคสิต)

พงศธร ปียวรรณ : การจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง. (ENERGY MANAGEMENT IN PRODUCTION PROCESS OF FROZEN SEAFOOD INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ, 121 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานอาหารแช่เยือกแข็งสำหรับการส่งออก โดยผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย ฟิชบล็อค ฟิชพอร์ชั่น และ กุ้งแช่แข็ง พบว่าวัตถุดิบมีค่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ในปี 2554 อัตราการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มีค่า 991 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันผลิตภัณฑ์ การใช้พลังงานในโรงงานสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ เป็นพลังงานจากแสงสว่างร้อยละ 15 พลังงานจากระบบทำความเย็นการแช่เยือกแข็งและกระบวนการผลิตร้อยละ 75 และ พลังงานจากเครื่องปรับอากาศสำนักงานและอื่นๆ ร้อยละ 10 การใช้น้ำในการผลิตปลาและกุ้งจะมีค่าอัตราการใช้น้ำในการผลิตมีค่า 29.45 ลบ.ม.ต่อตัน โดยเมื่อมีการปรับปรุงระบบแสงสว่างพบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนหลอดไฟแสงสว่าง จาก T8 เป็น T5 และ LED จะประหยัดพลังงาน 45,291 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปีหรือประหยัดค่าไฟฟ้า 169,886 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 3.31 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 82,023 บาท อัตราผลตอบแทนของโครงการลงทุน (IRR) = 16.5 % และเมื่อมีการปรับปรุงระบบทำความเย็นโดยนำน้ำล้างและละลายน้ำแข็งในห้องแช่แข็งมาระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์จะประหยัดพลังงานไฟฟ้า 79,190 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ ประหยัดค่าไฟ270,039 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 9 เดือน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV) 823,664 บาท อัตราผลตอบแทนของโครงการลงทุน (IRR) มีค่าเท่ากับ 133 % ที่โครงการมีอายุ 5 ปี

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

##5287638420 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

PONGSATORN PIYAWAN : ENERGY MANAGEMENT IN PRODUCTION PROCESS OF FROZEN SEAFOOD INDUSTRY. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. WITHAYA YONGCHAREON, Ph.D, 121 pp.

In this research, energy consumption of the exported frozen seafood industry was studied. The product consists of fish block, fish portion and frozen shrimp. The product was found to be 70% of raw materials by weight. The specific energy consumption was 991 kwh/ton of product in 2012. Energy consumption in the factory was divided into 3 parts, 15% for lighting, 75% for refrigeration of frozen product including processing system, and 10% for air conditioning in the office and others. Where as the water consumption was 29.45 m^3/ ton of product. The improvement of lighting system,by changing the fluorescent bulb from T8 to T5 and LED, could save the energy of 45,291 kwh/year or save the cost of 169,886 Bath/year. The payback period, NPV and IRR were 3.31 years, 82,023 Bath and 16.5%, respectively. The improvement of refrigeration system, by using waste water from cleaning and defrost in freezing storage for cooling the evaporative condenser, could save the energy of 79,190 kwh/year or save the cost of 270,039 Bath/year. The payback period, NPV and IRR were 9 months, 823,664 Bath and 133 % respectively, at 5 years of project.

Field of Study: Energy Technology and Management Student's Signature .....

Academic Year : 2013 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ด้วยดี เนื่องจากการได้รับการดูแลเอาใจใส่ คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำงานวิจัย ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ จากบุคคลหลายท่าน

ท่านแรกขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และให้ความกรุณาในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆให้สมบูรณ์ รวมทั้งคำแนะนำที่ดีและน่าสนใจเสมอมา ตลอดจน ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ ประธานกรรมการ ดร.อุริช อัชชโคสิต และ ผศ.ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการสอบวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ให้โอกาสนำเสนอผลงานและตีพิมพ์ ในงานประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6 ประจำปี 2556 ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ วันที่ 1-4 เมษายน 2556

ขอขอบคุณการให้ความร่วมมือและเอื้อเฟื้อข้อมูลของทางบริษัท ไทยเดลมาร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดเก็บข้อมูลและทำการศึกษาโรงงานอาหารแช่แข็ง

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่คอยเป็นกำลังใจ และคอยดูแลในทุกๆ ด้านมาโดยตลอด ซึ่งเป็นแรงใจที่สำคัญที่สุด ที่ทำให้มีแรงผลักดัน ในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์ 4
2.1 ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต 4
2.2 กระบวนการผลิตอาหารแช่เยือกแข็ง 6
2.3 กลไกของการถนอมอาหารของการแช่แข็ง 10
2.4 ขบวนการแช่เยือกแข็ง 11
2.5 วิธีการแช่เยือกแข็ง 13
2.6 ระบบทำความเย็นและปรับอากาศ 22
2.7 ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านการส่องสว่างในเรื่องการประหยัดพลังงานแสงสว่าง 28
2.8 ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า 32
2.9 แนวทางการลดค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟในอัตราปกติ 35
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง 43
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 43
3.2 สถานที่ทำวิจัย 43
3.3 การดำเนินการวิจัย 43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันวิกฤติการณ์ด้านพลังงานส่งผลกระทบรุนแรงต่อต้นทุนของการผลิตสินค้าในแต่ละภาคอุตสาหกรรม รวมถึงอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก ในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ถือเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญที่สร้างรายได้ให้กับประเทศ โดยในช่วง 11 เดือนแรกของปี 2553 มีมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้น 48,664 ล้านบาท เพิ่มขึ้นถึง 14 % จากช่วงเดียวกันของปี 2552 โดยในปี 2554 มีมูลค่าการส่งออกสินค้าอาหารทะเลแช่เยือกแข็งทั้งหมดมากกว่า 120,000 ล้านบาท (สถิติการส่งออกสินค้าประมง, 2554) ภาพรวมของอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็งของไทย ในปี 2553 มีการเติบโตขึ้นจากปี 2552อย่างมาก อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นดังกล่าวเป็นการเพิ่มขึ้นในเชิงมูลค่าการขายและการผลิต ขณะที่ต้นทุนการผลิตได้ปรับตัวสูงขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะต้นทุนวัตถุดิบ ทำให้อัตรากำไรที่ได้รับอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำมากเมื่อเทียบกับปี 2552 นอกจากนี้อุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ยังเป็นอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูงส่งผลให้โรงงานต้องมีการปรับตัวโดยการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของตนเอง และปรับการดำเนินงานขององค์กรให้สอดคล้องกับสภาวการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่เสมอประกอบกับกระแสการค้าโลก และสถานการณ์ของสินค้าส่งออกในปัจจุบันถูกกำกับดูแลอย่างเข้มงวดโดยมาตรฐานการค้าสากล เช่น มาตรฐานการผลิตในภาคอุตสาหกรรม (Good Manufacturing Practice, GMP) ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์หรือข้อกำหนดขั้นพื้นฐานในการผลิต และการควบคุมผลิตภัณฑ์ให้มีความเสี่ยงจากการปนเปื้อนทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ให้น้อยที่สุดหรือไม่มีเลย ปัจจุบันประเทศไทยได้นำหลักเกณฑ์ดังกล่าวมาบังคับใช้เป็นกฎหมายโดยกำหนดไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 193) พ.ศ. 2543 เรื่องวิธีการผลิต เครื่องมือ เครื่องใช้ในการผลิตและการเก็บรักษาอาหาร เพื่อสร้างความเชื่อถือและมั่นใจอันเป็นหนทางนำไปสู่การขยายตลาดส่งออกให้เป็นที่ยอมรับในตลาดโลกมากขึ้น

การศึกษาฉบับนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็งแห่งหนึ่งเพื่อสำรวจทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆโดยเน้นการวิเคราะห์ค่าปัจจัยหลักที่เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

6 ด้าน กำหนดโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2551) และนำเสนอแนวทางในการลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพให้แก่กระบวนการผลิต

ค่าปัจจัยหลักที่เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็งทั้ง 6 ด้านนี้ ได้แก่

1. ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ หรือผลผลิต (% yield)
2. การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันผลิตภัณฑ์, kWh/ ton)
3. การใช้น้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลิตภัณฑ์, m^3/ ton)
4. การใช้น้ำแข็ง (ตันต่อผลิตภัณฑ์, ton / ton)
5. การใช้คลอรีน (กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์, kg / ton)
6. ของเสียซึ่งพิจารณาจากภาวะบีโอดี (กิโลกรัมบีโอดีต่อตันผลิตภัณฑ์, kg / ton) และภาระซีโอดี (กิโลกรัมซีโอดีต่อตันผลิตภัณฑ์, kg / ton) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตก่อนการบำบัด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานและทรัพยากรในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแช่เยือกแข็งแห่งหนึ่ง นำมาเปรียบเทียบกับตัวเลขในอดีตและตัวเลขมาตรฐานของอุตสาหกรรม
2. เพื่อเสนอแนวทางในการจัดการพลังงานและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่จะสามารถลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพให้แก่ ผู้ประกอบการ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. โรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง กรณีศึกษา ผลิตภัณฑ์ : อาหารทะเลแช่-แข็ง (ปลาและกุ้ง) ขอบเขตการศึกษา: ระบบการผลิต
2. นำเสนอแผนการจัดการพลังงานและทรัพยากรเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพในกระบวนการผลิตให้แก่โรงงานที่ทำการศึกษา

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. จัดทำแบบสอบถามและทำการทดสอบการตรวจประเมินเบื้องต้น
   2.1 ทดสอบแบบสอบถามเบื้องต้นโดยให้เจ้าหน้าที่โรงงานเป็นผู้บันทึก
   2.2 ทำการประมวลข้อมูลเบื้องต้นในการปรับปรุงแบบสอบถามเพื่อจัดทำข้อมูลที่สำคัญในการประเมินการจัดการพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง
   2.3 เก็บข้อมูลจากการสถานประกอบการเบื้องต้น
3. ตรวจประเมินละเอียด เพื่อหาสาเหตุและปัจจัย การสูญเสีย และเพื่อหาวิธีการลดการสูญเสีย
4. นำข้อมูลที่ทำการตรวจประเมินมาสร้างแบบจำลองการจัดการในโรงงานโดยใช้เทคนิคเทคโนโลยีสะอาด Clean Technology (CT)
5. จัดทำสมดุลพลังงานและสมดุลมวลเพื่อให้ทราบพลังงานในแต่ละภาคส่วน
6. ศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน
7. สรุปผลและจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงแนวคิดและมาตรการในการจัดการพลังงานและทรัพยากรการผลิตที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ที่สอดคล้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน
2. สามารถวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอแนวทางในการเพิ่มศักยภาพและประสิทธิภาพ การผลิตให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมอาหารแช่เยือกแข็งที่เป็นกรณีศึกษา
3. สามารถนำผลของรายงานไปเผยแพร่ เป็นความรู้และแนวทางในการจัดการพลังงานและทรัพยากรการผลิตอย่างยั่งยืนต่อผู้ประกอบการอื่นในอุตสาหกรรมเดียวกัน

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 45

4.1 ข้อมูลโรงงานเบื้องต้น 45

4.2 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบการผลิตของโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง 46

4.3 กระบวนการผลิต 53

4.4 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตตามหลักปฏิบัติเทคโนโลยีสะอาด 63

4.5 มาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบการผลิตอาหารแช่แข็ง 66

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 70

สรุปผลการทดลอง 70

ข้อเสนอแนะ 71

รายการอ้างอิง 72

ภาคผนวก 74

ภาคผนวก ก แบบสอบถาม 75

ภาคผนวก ข ค่าไฟฟ้าและน้ำย้อนหลัง 12 เดือน 85

ภาคผนวก ค ปริมาณ น้ำ น้ำแข็ง คลอรีน BOD และ COD ต่อผลิตภัณฑ์ 88

ภาคผนวก ง อุปกรณ์เครื่องทำความเย็น 90

ภาคผนวก จ การคำนวณระบบระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์สำหรับห้องเย็นเก็บสินค้า 96

ภาคผนวก ฉ การคำนวณ มาตรการลดการใช้พลังงานโดยการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างอาคารสำนักงาน 106

ภาคผนวก ช PVIFA ที่ 0-100% ระยะเวลา 5 ปี 116

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 121

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งตามประสิทธิภาพของเครื่องมือ	21
2-2	สมรรถนะของสารทำความเย็นที่นำมาใช้	26
2-3	แสดงการเปรียบค่าความสว่างในอาคารตามมาตรฐาน CIE ,IES ,และ BS	31
2-4	แสดงการเปรียบค่าความสว่างในโรงงานตามมาตรฐาน CIE ,IES ,และ BS สภาพบรรยากาศปกติ	31
2-5	กิจการที่ทำการศึกษาใช้การคิดอัตราค่าไฟฟ้า แบบ TOD	34
2-6	แสดงระยะเวลาการศึกษาอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU	34
4-1	พลังงานที่ใช้ในโรงงาน ปี 2554	49
4-2	แสดงปริมาณการใช้พลังงานและอื่นๆ ที่ใช้ในการผลิตปลาแล	49
4-3	แสดงปริมาณการใช้พลังงานที่ใช้ในโรงงานค่าปัจจัยหลักฯที่ใช้เป็นแนวทางในการเทียบเคียงสมรรถนะด้านการใช้ไฟฟ้าน้ำและน้ำแข็ง	50
4-4	การใช้ไฟฟ้า แบบ (Time of Day Rate:TOD) และการพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TODอัตราตามช่วงเวลาของวัน (TOD)	51
4-5	อัตราค่าการใช้น้ำของการประปานครหลวง	61
4-6	แสดงปริมาณการใช้พลังงานและอื่นๆ ที่ใช้ในการผลิตปลาแช่เยือกแข็ง)	66

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	กระบวนการผลิตอาหารแช่เยือกแข็ง	7
2-2	แผนภาพอุปกรณ์ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ	8
2-3	แผนภาพอุปกรณ์ในขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ต้มสุก 13	9
2-4	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำ (ABCDE) และน้ำเชื่อม (A'B'C'D'E') ที่นำมาแช่เยือกแข็ง	12
2-5	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อสัตว์แช่เยือกแข็ง	12
2-6	ลักษณะภายในของเพลทโลหะ	13
2-7	ส่วนประกอบของเครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทในแนวนอน	14
2-8	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทในแนวตั้ง	15
2-9	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอุโมงค์	17
2-10	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสายพานตรง	18
2-11	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสายพานเกลียวลูกศรแสดงการไหลเวียนของลมเย็น	18
2-12	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบฟลูอิไดซ์เบด	19
2-13	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบจุ่ม	20
2-14	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค	21
2-15	ระบบการทำความเย็น	22
2-16	วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ	23
2-17	วงจรการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบ IQF	23
2-18	วัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดกลืน	24
2-19	คอมเพรสเซอร์ ชนิดสกรู 2 stage	27
2-20	การถ่ายเทความร้อนจาก low stage ที่ใช้ intercooler โดยใช้ thermosyphon	27
2-21	Pressure-Enthalpy Diagram of Two-Stage Compression with Economizer Cycle	28
2-22	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดไฟแต่ละชนิด	30
4-1	ที่ตั้งตำแหน่งของโรงงาน	45
4-2	ผลิตภัณฑ์แซลมอนฟิเลท์ชนิดแล่หนังและไม่แล่หนัง	46

รูปที่ หน้า

4-3 ผลิตภัณฑ์ฟิชบล็อค และ ฟิชพอร์ชั่น 46

4-4 ผลิตภัณฑ์ Shrimp Butterfly และ Shrimp Patty 47

4-5 อัตราการผลิตแต่ละผลิตภัณฑ์ในโรงงาน 47

4-6 กราฟอัตราการผลิตในปี 2554 แต่ละผลิตภัณฑ์และค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption,SEC) 48

4-7 กราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนในปี 2554 52

4-8 กราฟแสดงค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดรายเดือนในปี 2554 52

4-9 ตู้แช่แข็งแบบเพลทนอน มีเพลท 16 ชั้น อุณหภูมิใช้งาน -25 องศาเซลเซียส 54

4-10 คอมเพรสเซอร์สำหรับตู้แช่แข็งแบบเพลทนอน เป็นชนิดสกรู รุ่น MCN200L-EX2 และ N200VLD-HD ของ MYCOM ขนาด 200 และ 190 kW 54

4-11 เครื่องแช่แข็งเป็นระบบสายพานรุ่น MSF-15XX-TJAX ของ MYCOM กำลังการผลิต 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 56

4-12 เครื่องแช่แข็ง Spiral Freezer รุ่น GC600-08-24-14NS ของ JBT FOOD TECH กำลังการผลิต 2300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 56

4-13 เครื่องแช่แข็ง THERMO JACK FREEZER รุ่น MMF-1218TJ-AX2-BELT ของ MYCOM กำลังการผลิต 1400 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 57

4-14 วัฏจักรทำความเย็นและตำแหน่งการตรวจวัดค่าต่างๆเพื่อวิเคราะห์ค่า 58

4-15 วัฏจักรทำความเย็นและตำแหน่งอุปกรณ์เทียบแผนภูมิความดัน-เอนทาลปี 58

4-16 COMPRESSOR (AIR FILLETING) ขนาด 75 กิโลวัตต์ ชนิด RECIPROCATING ของ MYCOM 59

4-17 COMPRESSOR ขนาด 200 กิโลวัตต์ ชนิด SCREW 2 STAGE ของ MYCOM 59

4-18 กราฟแสดงการใช้น้ำประปารายเดือนในปี 2554 62

4-19 ลักษณะการการติดตั้งชุดแลกเปลี่ยนความร้อนในอ่าง Evaporating Condenser 68

4-20 ลักษณะการปรับปรุงพื้นที่และจัดทำการเปลี่ยนหลอด FLUORESCENT LED 15 W 69

4-21 ค่าความสว่างของโคมรีเฟล็กซ์ 1X3 ของหลอด LED T8 ที่ความสูง 2.5 เมตร 69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันวิกฤติการณ์ด้านพลังงานส่งผลกระทบรุนแรงต่อต้นทุนของการผลิตสินค้าในแต่ละภาคอุตสาหกรรม รวมถึงอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก ในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ถือเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญที่สร้างรายได้ให้กับประเทศ โดยในช่วง 11 เดือนแรกของปี 2553 มีมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้น 48,664 ล้านบาท เพิ่มขึ้นถึง 14 % จากช่วงเดียวกันของปี 2552 โดยในปี 2554 มีมูลค่าการส่งออกสินค้าอาหารทะเลแช่เยือกแข็งทั้งหมดมากกว่า 120,000 ล้านบาท (สถิติการส่งออกสินค้าประมง, 2554) ภาพรวมของอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็งของไทย ในปี 2553 มีการเติบโตขึ้นจากปี 2552อย่างมาก อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นดังกล่าวเป็นการเพิ่มขึ้นในเชิงมูลค่าการขายและการผลิต ขณะที่ต้นทุนการผลิตได้ปรับตัวสูงขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะต้นทุนวัตถุดิบ ทำให้อัตรากำไรที่ได้รับอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำมากเมื่อเทียบกับปี 2552 นอกจากนี้อุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ยังเป็นอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูงส่งผลให้โรงงานต้องมีการปรับตัวโดยการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของตนเอง และปรับการดำเนินงานขององค์กรให้สอดคล้องกับสภาวการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่เสมอประกอบกับกระแสการค้าโลก และสถานการณ์ของสินค้าส่งออกในปัจจุบันถูกกำกับดูแลอย่างเข้มงวดโดยมาตรฐานการค้าสากล เช่น มาตรฐานการผลิตในภาคอุตสาหกรรม (Good Manufacturing Practice, GMP) ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์หรือข้อกำหนดขั้นพื้นฐานในการผลิต และการควบคุมผลิตภัณฑ์ให้มีความเสี่ยงจากการปนเปื้อนทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ให้น้อยที่สุดหรือไม่มีเลย ปัจจุบันประเทศไทยได้นำหลักเกณฑ์ดังกล่าวมาบังคับใช้เป็นกฎหมายโดยกำหนดไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 193) พ.ศ. 2543 เรื่องวิธีการผลิต เครื่องมือ เครื่องใช้ในการผลิตและการเก็บรักษาอาหาร เพื่อสร้างความเชื่อถือและมั่นใจอันเป็นหนทางนำไปสู่การขยายตลาดส่งออกให้เป็นที่ยอมรับในตลาดโลกมากขึ้น

การศึกษาฉบับนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็งแห่งหนึ่งเพื่อสำรวจทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆโดยเน้นการวิเคราะห์ค่าปัจจัยหลักที่เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

6 ด้าน กำหนดโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2551) และนำเสนอแนวทางในการลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพให้แก่กระบวนการผลิต

ค่าปัจจัยหลักที่เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็งทั้ง 6 ด้านนี้ ได้แก่

1. ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้เทียบกับวัตถุดิบ หรือผลผลิต (% yield)
2. การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันผลิตภัณฑ์, kWh/ ton)
3. การใช้น้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลิตภัณฑ์, m^3/ ton)
4. การใช้น้ำแข็ง (ตันต่อผลิตภัณฑ์, ton / ton)
5. การใช้คลอรีน (กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์, kg / ton)
6. ของเสียซึ่งพิจารณาจากภาวะบีโอดี (กิโลกรัมบีโอดีต่อตันผลิตภัณฑ์, kg / ton) และภาระซีโอดี (กิโลกรัมซีโอดีต่อตันผลิตภัณฑ์, kg / ton) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตก่อนการบำบัด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานและทรัพยากรในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแช่เยือกแข็งแห่งหนึ่ง นำมาเปรียบเทียบกับตัวเลขในอดีตและตัวเลขมาตรฐานของอุตสาหกรรม
2. เพื่อเสนอแนวทางในการจัดการพลังงานและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่จะสามารถลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพให้แก่ ผู้ประกอบการ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. โรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง กรณีศึกษา ผลิตภัณฑ์ : อาหารทะเลแช่-แข็ง (ปลาและกุ้ง) ขอบเขตการศึกษา: ระบบการผลิต
2. นำเสนอแผนการจัดการพลังงานและทรัพยากรเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพในกระบวนการผลิตให้แก่โรงงานที่ทำการศึกษา

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. จัดทำแบบสอบถามและทำการทดสอบการตรวจประเมินเบื้องต้น
   2.1 ทดสอบแบบสอบถามเบื้องต้นโดยให้เจ้าหน้าที่โรงงานเป็นผู้บันทึก
   2.2 ทำการประมวลข้อมูลเบื้องต้นในการปรับปรุงแบบสอบถามเพื่อจัดทำข้อมูลที่สำคัญในการประเมินการจัดการพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง
   2.3 เก็บข้อมูลจากการสถานประกอบการเบื้องต้น
3. ตรวจประเมินละเอียด เพื่อหาสาเหตุและปัจจัย การสูญเสีย และเพื่อหาวิธีการลดการสูญเสีย
4. นำข้อมูลที่ทำการตรวจประเมินมาสร้างแบบจำลองการจัดการในโรงงานโดยใช้เทคนิคเทคโนโลยีสะอาด Clean Technology (CT)
5. จัดทำสมดุลพลังงานและสมดุลมวลเพื่อให้ทราบพลังงานในแต่ละภาคส่วน
6. ศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน
7. สรุปผลและจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงแนวคิดและมาตรการในการจัดการพลังงานและทรัพยากรการผลิตที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง ที่สอดคล้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน
2. สามารถวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอแนวทางในการเพิ่มศักยภาพและประสิทธิภาพ การผลิตให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมอาหารแช่เยือกแข็งที่เป็นกรณีศึกษา
3. สามารถนำผลของรายงานไปเผยแพร่ เป็นความรู้และแนวทางในการจัดการพลังงานและทรัพยากรการผลิตอย่างยั่งยืนต่อผู้ประกอบการอื่นในอุตสาหกรรมเดียวกัน

บทที่ 2

ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์

การจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็งด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด(Cleaner Technology, CT) เป็นการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์เพื่อให้การใช้วัตถุดิบ พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้เปลี่ยนเป็นของเสียน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย จึงเป็นการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด ทั้งนี้รวมถึงการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบการใช้ซ้ำและการนำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งจะช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนการผลิตไปพร้อมกัน โดยเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดที่ใช้ในสถานประกอบการต้องอาศัยปัจจัยพื้นฐานต่างๆดังนี้

1. ผู้บริหารต้องให้ความสำคัญสนับสนุนรวมถึงมีความมุ่งมั่นในการนำแนวคิดเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาปฏิบัติอย่างจริงจัง

2. ผู้บริหารต้องสร้างแรงจูงใจให้กับพนักงานให้เห็นประโยชน์ที่เกิดจากการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาใช้เพื่อสร้างความมีส่วนร่วมของพนักงาน

3. ผู้ปฏิบัติต้องดำเนินการตามขั้นตอนการตรวจประเมินด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดที่แสดงไว้ในส่วนของผู้ปฏิบัติการ

4. ผู้ปฏิบัติต้องมีการติดตามประเมินผลและนำเสนอผลการปรับปรุงในเชิงตัวเลขมูลค่าให้ผู้บริหารทราบอย่างสม่ำเสมอและควรดำเนินการปรับปรุงตามวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำเห็นผลชัดเจนและดำเนินการได้ง่ายก่อนเพื่อช่วยส่งเสริมให้เกิดแรงจูงใจในการดำเนินการปรับปรุงต่อไป

5. ผู้ปฏิบัติต้องมีการสืบค้นข้อมูลที่ทันสมัยเป็นปัจจุบันเพื่อจะได้นำเทคโนโลยีใหม่ๆมาปรับใช้

2.1 ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งมีค่าปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตอยู่หลายด้านโดยหลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดนี้ได้นำเสนอค่าปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตที่สำคัญไว้ 6 ด้านคือ

1. ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้เทียบกับวัตถุดิบหรือผลผลิต(%Yield)
2. การใช้ไฟฟ้า(กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันผลิตภัณฑ์,kWh/ton)
3. การใช้น้ำ(ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลิตภัณฑ์,m^3/ton)
4. การใช้น้ำแข็ง(ตันต่อตันผลิตภัณฑ์,ton/ton)

5. การใช้คลอรีน(กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์,kg/ton)
6. ของเสียซึ่งพิจารณาจากภาระบีโอดี (กิโลกรัมบี โอดีต่อตันผลิตภัณฑ์ ,kg/ton) และภาระซี โอดี (กิโลกรัมซี โอดีต่อตันผลิตภัณฑ์,kg/ton)ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตก่อนการบำบัด

การพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้คลอรีนและของเสีย

ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้คลอรีน (กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์)

อุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง มีการใช้คลอรีนอย่างแพร่หลาย ในการควบคุมเชื้อจุลินทรีย์แต่จากผลข้างเคียงของการใช้คลอรีนทำให้สถานประกอบการจำเป็นต้องลด หรือหลีกเลี่ยงการใช้หรือใช้เท่าที่จำเป็น

การหาค่าปัจจัยหลักฯ ด้านการใช้คลอรีน คำนวณได้จาก

$$\text{การใช้คลอรีน} = \frac{\text{ปริมาณการใช้คลอรีน (กิโลกรัม)}}{\text{ปริมาณผลิตภัณฑ์ (ตัน)}} \quad (1)$$

เนื่องจากสถานประกอบการในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งมีการใช้คลอรีนน้ำ และหรือ คลอรีนไดออกไซด์ ในการควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งการคำนวณปริมาณคลอรีนสำหรับค่าปัจจัยหลักฯ เป็นดังต่อไปนี้

1. คลอรีนน้ำ (Sodium Hypochlorite, NaOCl) ความเข้มข้นของคลอรีนน้ำที่ใช้โดยทั่วไป คือ 10% โดยปริมาตร น้ำหนักโมเลกุลของ NaOCl และ Cl เท่ากับ 74.5 และ 35.5 ตามลำดับ

$$\text{เนื้อคลอรีน} = \frac{\text{ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม)} \times 10\% \times 35.5}{74.5} \quad (2)$$

2. คลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine Dioxide, ClO_2) คลอรีนไดออกไซด์เกิดจาก 7.5% Sodium Chlorite ($NaClO_2$) ผสมกับ 9% Hydrochloric acid (HCl) ในอัตราส่วน 1:1

สมการการเกิดปฏิกิริยา คือ $5NaClO_2 + 4HCl \rightarrow 5NaCl + 4ClO_2 + 2H_2O$ โดยคลอรีน (Cl) ที่เกิดเป็น ClO_2 จะมาจาก $NaClO_2$ เท่านั้น ส่วนคลอรีนที่เหลืออีก 1 ส่วน จาก $NaClO_2$ และ 4 ส่วนจาก HCl จะเกิดเป็น NaCl น้ำหนักโมเลกุลของ $NaClO_2$ และ Cl เท่ากับ 90.5 และ 35.5 ตามลำดับ

$$\text{เนื้อคลอรีน} = \frac{\text{ปริมาณ } NaClO_2\text{ที่ใช้ (กิโลกรัม)} \times 7.5\% \times 4 \times 35.5}{5 \times 90.5} \quad (3)$$

อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบค่าปัจจัยหลักด้านคลอรีนทำได้ยาก เนื่องจากคลอรีนแต่ละรูปแบบมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่างกัน โดยคลอรีนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ดีกว่าคลอรีนรูปแบบอื่นๆ เช่น คลอรีนน้ำต้องมีค่าความเข้มข้น x เวลา (Concentration x Time, ppm x min) ประมาณ 3 – 4 จึงมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ได้มากกว่า 99.99% ในขณะที่คลอรีนไดออกไซด์ มีค่าประมาณ 1.2 (Schleupen, 1996)

ประสิทธิภาพการผลิตด้านของเสีย

ค่าปัจจัยหลักฯ ด้านของเสียของสถานประกอบการในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง ที่สำคัญประกอบด้วย ภาระบีโอดี (BOD loading) และภาระซีโอดี (COD loading) ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย การหาค่าปัจจัยหลักฯ ด้านของเสีย (ภาระบีโอดี และภาระซีโอดี) คำนวณได้จาก

$$\text{ภาระบีโอดี} = \frac{\text{ความเข้มข้นบีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)} \times \text{ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม/ตันผลิตภัณฑ์)}}{1000} \quad (4)$$

$$\text{ภาระซีโอดี} = \frac{\text{ความเข้มข้นซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)} \times \text{ปริมาณน้ำเสีย(ลบ.ม/ตันผลิตภัณฑ์)}}{1000} \quad (5)$$

2.2 กระบวนการผลิตอาหารแช่เยือกแข็ง

กระบวนการผลิตอาหารแช่เยือกแข็งแสดงตามรูปที่ 2.1

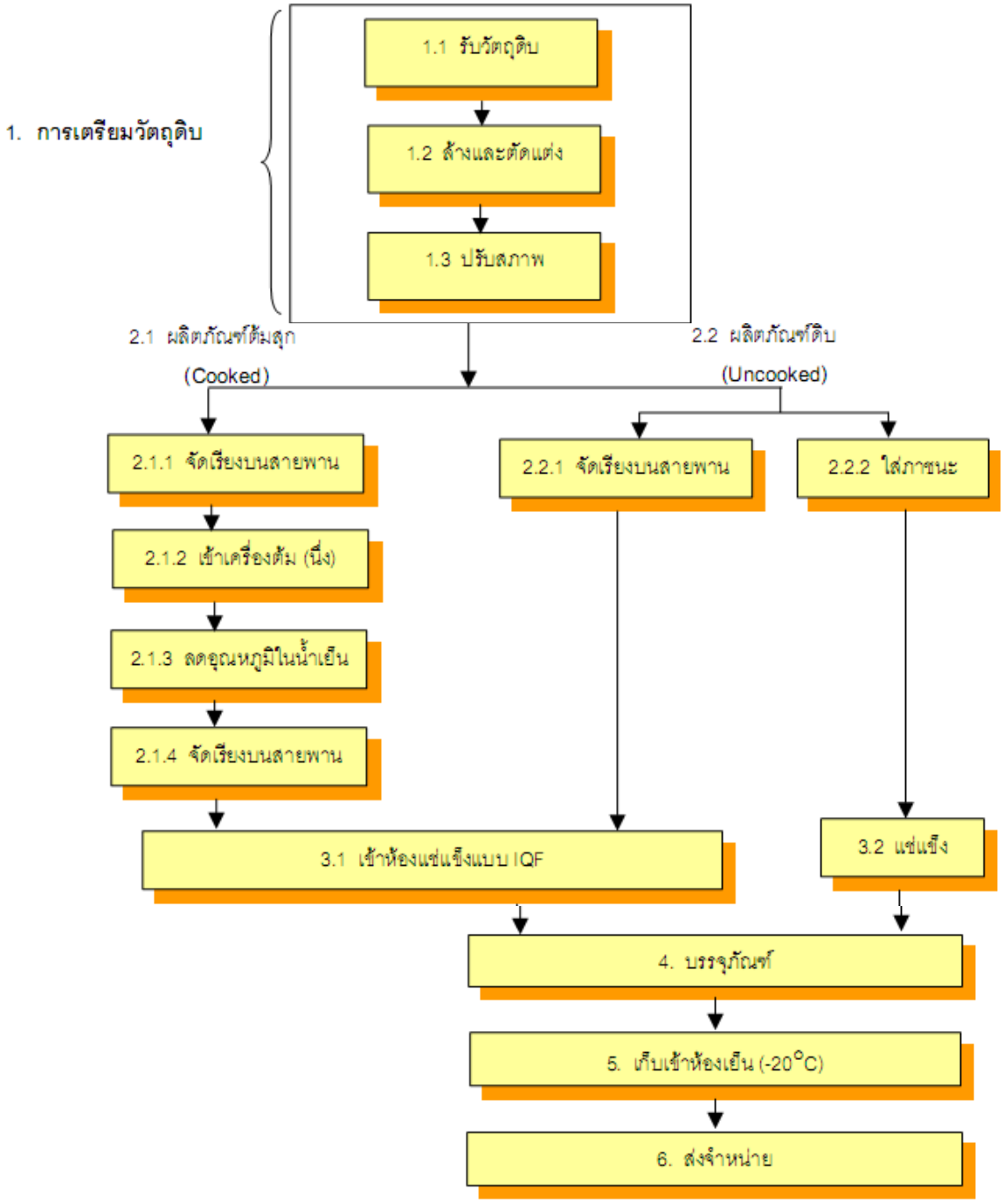
2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบ แสดงตามรูปที่ 2-2

1. การรับวัตถุดิบ

อาหารทะเล เช่น กุ้งและปลาหมึกหรือปลาที่รับเข้ามาจะมาในรูปของการแช่ในน้ำแข็งหรือแช่แข็งมาจากห้องเย็นของเรือ หรืออาจรับมาสดๆจากแหล่งผลิต ซึ่งในการเตรียมจะต้องล้างให้สะอาดโดยปกติจะล้างในน้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของวัตถุดิบแล้วจึงนำไปคัดแยกขนาด

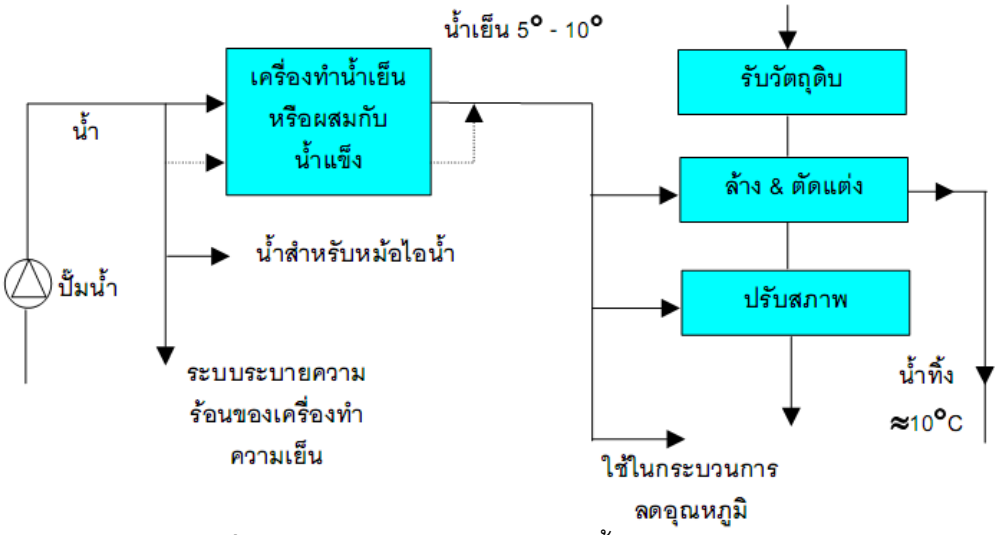
2. การตัดแต่งวัตถุดิบ
3. การปรับสภาพ



รูปที่ 2-1 กระบวนการผลิตอาหารแช่เยือกแข็ง

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2547

หลังจากขั้นตอนนี้แล้วในบางรายจะต้องนำไปแช่ในสารปรับแต่งสภาพ ซึ่งจะทำให้ดูสวยงามและรสชาติดีขึ้นด้วย โดยกระบวนการนี้ต้องแช่น้ำยาในน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนต่อไปยังแบ่งออกเป็นการผลิตแบบต้ม (นึ่ง) สุก (Cooked) และผลิตภัณฑ์แบบดิบ (Raw, Uncooked)



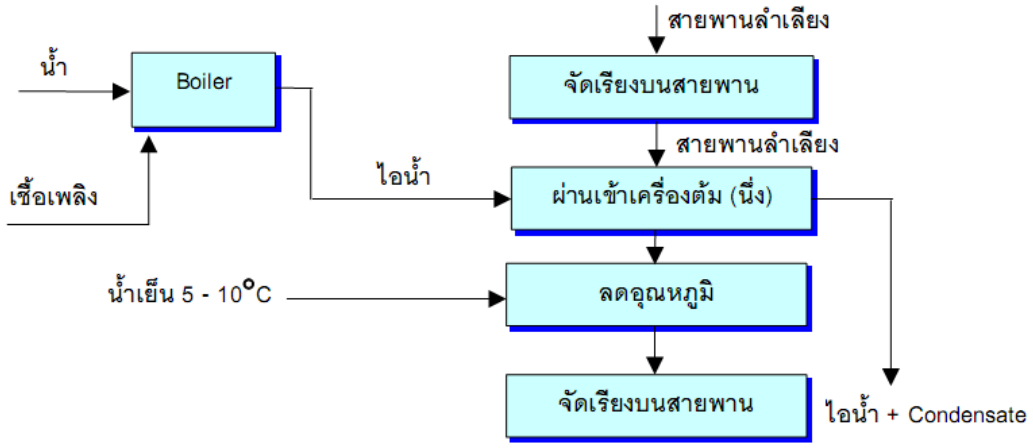
รูปที่ 2-2 แสดงแผนภาพอุปกรณ์ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

ที่มา: (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)

2.2.2 การเตรียมผลิตภัณฑ์ก่อนแช่แข็ง

ผลิตภัณฑ์แบบต้มสุก (Cooked)แสดงตามรูปที่ 2-3

1. จัดเรียงวัตถุดิบที่ตัดแต่งปรับสภาพแล้วลงบนสายพาน
2. สายพานลำเลียงวัตถุดิบเข้าบริเวณต้ม (นึ่ง) โดยใช้ไอน้ำให้ความร้อน ความเร็วของสายพานจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และเวลาที่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์สุกพอดีความต้องการ
3. จากนั้นจะนำผลิตภัณฑ์ที่สุกแล้วลงแช่ในน้ำเย็น (5-10 องศาเซลเซียส) เพื่อลดอุณหภูมิ
4. นำผลิตภัณฑ์ที่ลดอุณหภูมิแล้วจัดเรียงบนสายพานเพื่อนำเข้ากระบวนการแช่แข็งแบบ IQF (Individual Quick Freeze)



รูปที่ 2-3 แสดงแผนภาพอุปกรณ์ในขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ต้มสุก
ที่มา: (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)

ผลิตภัณฑ์แบบดิบ (Raw, Uncooked) **ยังแยกเป็นผลิตภัณฑ์แบบเป็นชิ้น** (Individual) **และเป็นกลุ่ม** (Packed)

1. สำหรับผลิตภัณฑ์แบบเป็นชิ้น (Individual) จะนำมาจัดเรียงในสายพานเพื่อนำเข้ากระบวนการแช่แข็งเพื่อเตรียมเข้าห้องแช่แข็งแบบ IQF (Individual Quick Freeze)

2. สำหรับผลิตภัณฑ์ที่จะจำหน่ายเป็นกลุ่ม (Packed) (หรือเก็บไว้ใช้ในกระบวนการผลิตอื่นๆภายหลัง) จะนำไปใส่ภาชนะขนาดเหมาะสมต่อการเก็บ เพื่อนำเข้าห้องแช่แข็งต่อไป

2.2.3 กระบวนการแช่แข็ง

จุดประสงค์ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิภายใน (Core temperature) ไม่ต่ำกว่า –18องศาเซลเซียส แบ่งวิธีการแช่แข็งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. **แช่แข็งแบบ** Individual Quick Freeze **สามารถแบ่งตามอุปกรณ์ได้ดังนี้**

1.1 แบบ Air blast โดยใช้ลมเย็น (ประมาณ – 40 องศาเซลเซียส) จากเครื่องทำความเย็นเป่าลงไปโดยตรงยังผลิตภัณฑ์ที่ผ่านมาในสายพาน โดยให้ความสัมพันธ์ความเร็วของสายพานกับเวลาของกระบวนการเป่าลมเย็นให้สอดคล้องกับที่กำหนด เพื่อที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิภายใน(Core temperature) ไม่ต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส

1.2 แบบ Cryogenic โดยใช้ก๊าซเหลว (N_2 – Nitrogen หรือ CO_2 – Carbondioxide) ปรับความดันให้ได้อุณหภูมิประมาณ – 70 องศาเซลเซียส แล้วเป่าโดยตรงไปยัง

ผลิตภัณฑ์ โดยอาจมีพัดลมเล็กๆจำนวนหนึ่ง หมุนเวียนความเย็นให้ทั่วถึงผลิตภัณฑ์ซึ่งเคลื่อนที่บนสายพานจนอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ภายใน (Core temperature) ได้ไม่ต่ำกว่า – 18 องศาเซลเซียส หลังจากผ่านกระบวนการ IQF ผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่กระบวนการบรรจุต่อไป

2. แช่แข็งแบบ Packed ส่วนใหญ่จะมี 2 ระบบ ดังนี้

2.1 แบบห้องแช่แข็ง (Freezing Room) นำผลิตภัณฑ์ใส่ภาชนะขนาดพอเหมาะแล้วใส่ในชั้นที่มีล้อเข็นนำเข้าไปแช่แข็งในห้องแช่แข็ง (ซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบ Air blast และแบบคอยล์ไส้ไก่) ที่อุณหภูมิ – 40 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิถึงกลางผลิตภัณฑ์ (Core temperature) ได้ไม่ต่ำกว่า - 18 องศาเซลเซียส

2.2 แช่แข็งโดยใช้เครื่องระบบ Contact Plate freezer วัตถุดิบจะถูกนำไปบรรจุลงในถาดเฉพาะสำหรับเครื่อง โดยใส่น้ำเติมลงจนเต็ม แล้วนำถาดนี้วางไว้บนชั้นของเครื่อง Contact Plate freezer เมื่อเรียงถาดเสร็จแล้วจะมีอุปกรณ์เลื่อนชั้นต่างๆ ให้กดลงชิดกับถาดพอดี (Contact) ภายในชั้นต่างๆ จะมีสารทำความเย็นหมุนเวียนอยู่ดึงความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์จนกระทั่งอุณหภูมิถึงกลางผลิตภัณฑ์ได้ – 18 องศาเซลเซียส จึงนำออกจากเครื่อง

2.2.4 การบรรจุภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากห้องแช่แข็งอาจจะต้องนำเข้าบรรจุหีบห่อเพื่อเตรียมจำหน่าย โดยการบรรจุจะกระทำภายในห้องที่มีอุณหภูมิต่ำ เพื่อป้องกันการเสียหายของผลิตภัณฑ์

2.2.5 การเก็บในห้องเย็น

หลังจากนั้นจะนำผลิตภัณฑ์ที่บรรจุหีบห่อแล้วจัดเรียงในชั้นที่มีรถเข็นมาเข้าเก็บในห้องเย็นโดยจะรักษาอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ – 20 องศาเซลเซียส

2.2.6 การส่งจำหน่าย

เมื่อมีการจำหน่ายหรือทำกระบวนการผลิตจะนำผลิตภัณฑ์ออกจากห้องเก็บ เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมแช่แข็งและเก็บอาหารทะเล

2.3 กลไกของการถนอมอาหารของการแช่แข็ง คือ ขบวนการที่เปลี่ยนน้ำ(ของเหลว)ไปเป็นน้ำแข็ง(ของแข็ง) (Crystallization) การทำให้เย็นเป็นการดึงความร้อนออกเพื่อลดอุณหภูมิ (Sensible heat) เราสามารถดึงความร้อนและลดอุณหภูมิของอาหารลงเรื่อยๆ จนต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส โดยที่น้ำในอาหารยังไม่เป็นน้ำแข็ง ในสภาวะที่อุณหภูมิของอาหาร (หรือระบบ) ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของอาหารนั้น จะเป็นสภาวะที่เรียกว่า เย็นยิ่งยวด (Subcool) ซึ่งมักจะพบอยู่เสมอในการแช่แข็งอาหาร

2.3.1 ในสภาวะที่อาหารมีอุณหภูมิต่ำจะทำให้เอนไซม์และจุลินทรีย์มีกิจกรรมลดน้อยลง

2.3.2 การเปลี่ยนสถานะของน้ำไปเป็นน้ำแข็ง เป็นการลดปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ (water activity) ซึ่งจำเป็นต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ และปฏิกิริยาที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย

กลไกการควบคุมอุณหภูมิเยือกแข็งที่ถูกต้องและการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอตามสมควรให้ผลิตภัณฑ์มีการสัมผัสของอุณหภูมิที่ต่ำกว่า -18องศาเซลเซียส ในกรณีที่จำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้และในช่วงเวลาสั้นที่สุดเท่านั้น โดยแนะนำอุณหภูมิที่ -20 องศาเซลเซียส เป็นเกณฑ์ ขณะที่ตามหลักเกณฑ์ทั่วไปแล้วมีการแนะนำ -18 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Fluctuation) ในสภาพการเก็บรักษา 1-2 องศาเซลเซียส เป็นเรื่องปกติที่พบได้ทั่วไป ดังนั้นในประเทศเราซึ่งอยู่ในเขตร้อนและระบบการจัดการในบางหน่วยงานยังไม่สามารถควบคุมได้ดีพอ จึงได้แนะนำให้ใช้อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

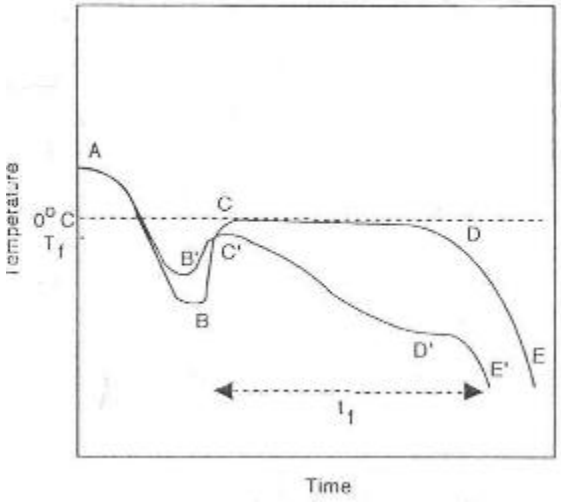
2.4 **ขบวนการแช่เยือกแข็ง** (freezing process)

ขบวนการแช่เยือกแข็งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ 2-2

ช่วงที่ 1 จะเป็นการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จากอุณหภูมิเริ่มต้นที่นำมาทำการแช่เยือกแข็งจนถึงอุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์เริ่มจะแข็งตัว

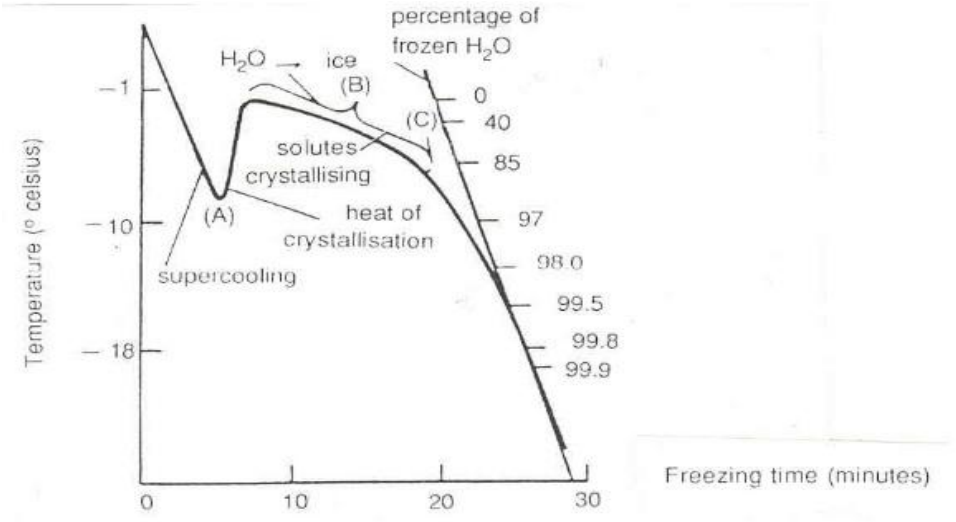
ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่เกิดน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ ในช่วงนี้น้ำส่วนที่สามารถเป็นน้ำแข็งได้ (freezable water) ได้เริ่มกลายเป็นน้ำแข็ง ในช่วงนี้จะมีการคายความร้อนแฝงเพื่อการเปลี่ยนสถานะออกจากผลิตภัณฑ์จำนวนมาก ระบบการแช่เยือกแข็งที่ดีจะต้องสามารถนำความร้อนออกจากระบบให้ได้ มิเช่นนั้นผลิตภัณฑ์จะไม่สามารถแข็งตัวอีกต่อไป ในช่วงนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยหรือมากขึ้นกับองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 2-4 จะเป็นการแข็งตัวของน้ำและน้ำเชื่อม และรูปที่ 2-5 จะเป็นการแข็งตัวของเนื้อสัตว์ อย่างไรก็ตามในช่วงนี้น้ำส่วนที่สามารถเป็นน้ำแข็งได้ส่วนใหญ่จะกลายเป็นน้ำแข็งจึงเรียกว่า zone of maximum crystal formation

ช่วงที่ 3 จะเป็นช่วงที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการใช้เก็บรักษา โดยทั่วไปจะต้องต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2-4 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำ (ABCDE) และน้ำเชื่อม (A'B'C'D'E') ที่นำมาแช่เยือกแข็ง

ที่มา: (Sahagian and Goff, 1996)



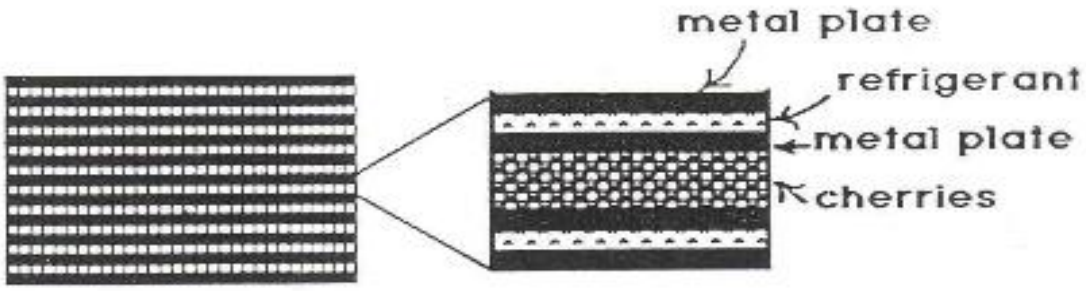
รูปที่ 2-5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อสัตว์แช่เยือกแข็ง

ที่มา: (Marsden และ Henrickson, 1993)

2.5 วิธีการแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งแบ่งวิธีการแช่เยือกแข็งตามอัตราเร็วของการส่งผ่านความร้อน หรืออาจแบ่งโดยอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธีคือ.....

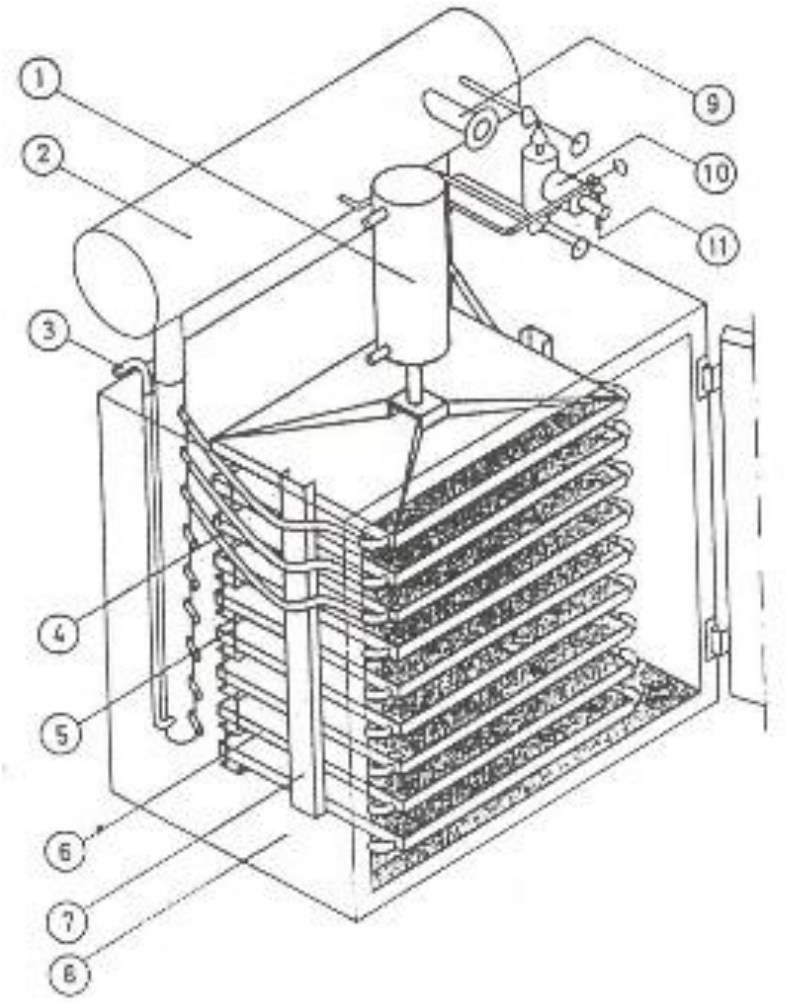
2.5.1 วิธีการแช่เยือกแข็งโดยอาศัยโลหะในการถ่ายเทความร้อน วิธีนี้เป็นการอาศัยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลท (plate freezer) ประกอบด้วยแผ่นโลหะที่บรรจุอาหาร 2 แผ่น โดยแผ่นเพลทจะมีลักษณะกลวงให้สารทำความเย็นไหลผ่านได้ ดังรูปที่ 2-6 สารทำความเย็นอาจใช้น้ำเกลือเย็น แอมโมเนียหรือฟรีออน เมื่อนำอาหารมาทำการแช่เยือกแข็งโดยวิธีนี้ทำได้โดยบรรจุอาหารลงในถาดโลหะ ให้เต็ม แล้วนำเข้ามาวางในเครื่อง จากนั้นระบบไฮโดรลิคของเครื่องจะเลื่อนเพลทด้านบนให้ลงมาสัมผัสกับอาหาร แผ่นโลหะจะสัมผัสกับอาหารทั้งด้านบนและด้านล่าง เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างรวดเร็วอาหารจะแข็งตัว เครื่องแช่เยือกแข็งแบบนี้สามารถแบ่งตามลักษณะของเครื่องตามวิธีการใช้เป็น 2 แบบคือ



รูปที่ 2-6 ลักษณะภายในของเพลทโลหะ

ที่มา: (Singh, 1996)

1. เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทในแนวนอน (Horizontal plate freezer) เครื่องแช่เยือกแข็งชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นเพลทประมาณ 15-20 แผ่น ดังในรูปที่ 2-7 อาหารจะถูกบรรจุในถาดจนเต็มแล้วจึงนำถาดอาหารไปวางระหว่างเพลท



รูปที่ 2-7 ส่วนประกอบของเครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทในแนวนอน

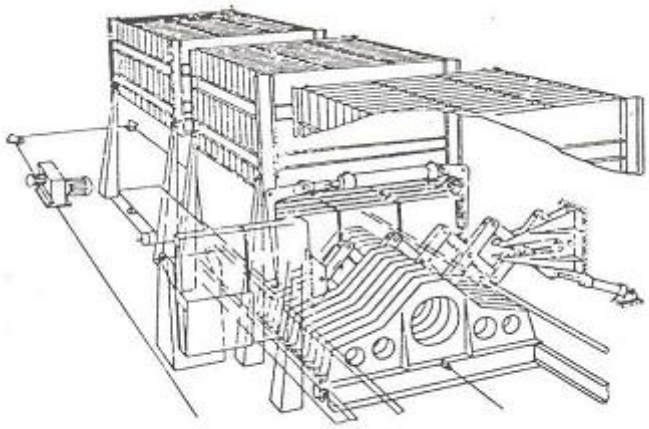
ที่มา: (IIR, 1972)

ตำแหน่งในรูป

1. Hydraulic cylinder,
2. Liquid separator,
3. Hot gas defrost,
4. Flexible hoses,
5. Link bolts,
6. Freezing plate,
7. Guide,
8. Insulated cabinet,
9. Suction outlet,
10. Float valve,
11. Liquid inlet.

วิธีการนี้หากใช้คนลำเลียงถาดอาหารจะต้องใช้คนงานจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงมีการออกแบบเครื่องโดยใช้สายพานลำเลียงอาหารเข้าไปในเครื่อง ขณะเดียวกันสายพานลำเลียงอาหารจะดันถาดอาหารที่แข็งตัวแล้วออกจากเครื่องแช่เยือกแข็ง

2. เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทในแนวตั้ง (vertical plate freezer) เครื่องแช่เยือกแข็งชนิดนี้นิยมติดตั้งในท้องเรือประมงขนาดใหญ่ที่ออกไปจับ ปลาในที่ไกลๆ ด้านบนจะเปิดได้เมื่อปลาถูกจับขึ้นมาและเทลงในบล๊อคจนเต็ม จากนั้นบล๊อคจะถูกลำเลียงวางลงระหว่างแผ่นเพลท แผ่นเพลทจะทำให้ปลาแข็งตัว เมื่อปลาแข็งตัวดีแล้วจะถูกดันออกด้านบน ด้านล่างหรือด้านข้างแล้วแต่รูปลักษณะของเครื่อง ดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลทในแนวตั้ง

ที่มา:(Kreuzer, 1969)

2.5.2 **วิธีการแช่เยือกแข็งประเภทอาศัยอากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน** การถ่ายเทความร้อนโดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน อาจแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้เป็น 2 แบบคือ

1. การอาศัยอากาศที่หยุดนิ่งเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนในลักษณะนี้อากาศจะเคลื่อนที่อย่างช้าๆ หรือไม่มีการเคลื่อนที่เลย ตัวอย่างที่เป็นการถ่ายเทแบบนี้คือ ห้องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่งหรือตู้แช่เยือกแข็ง (still air freezer หรือ sharp freezer) ห้องแช่เยือกแข็งชนิดนี้มีอุณหภูมิระหว่าง -18 ถึง -40 องศาเซลเซียส ในการแช่เยือกแข็งแบบนี้จะช้ากว่าการแช่เยือกแข็งแบบอื่น แต่ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีขนาดใหญ่ และจะต้องนำไปทำการแปรรูป ใน

ภายหลัง การแช่เยือกแข็งวิธีนี้อาจให้ผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งที่มีคุณภาพไม่ดีนัก ห้องแช่เยือกแข็งประเภทนี้มักใช้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งที่ผ่านการ แช่เยือกแข็งแล้ว และเพื่อรอการขนส่งหรือจำหน่ายในภายหลัง

2. การอาศัยอากาศที่เคลื่อนที่เป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน การแช่เยือกแข็งแบบนี้จะใช้อากาศที่มีอุณหภูมิ -18 ถึง -34 องศาเซลเซียส มีความเร็วลมในการไหลผ่าน 0.5-17.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งแล้วแต่ชนิดของผลิตภัณฑ์ การแช่เยือกแข็งโดยวิธีนี้อาจมีการสูญเสียน้ำไปกับกระแสลมเย็นในบางครั้งอาจ สูงถึงร้อยละ 5 ดังนั้นจึงควรบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะที่เหมาะสมจะช่วยลดการสูญเสียน้ำได้ แต่ภาชนะบรรจุอาจเป็นอุปสรรคในการถ่ายเทความร้อนบ้าง จึงควรมีการออกแบบการแช่เยือกแข็งให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ พบว่าหากมีการออกแบบทั้งภาชนะบรรจุ การเลือกระบบแช่เยือกแข็งและการปรับอุณหภูมิและความเร็วของลมให้เหมาะสมอาจ มีการสูญเสียน้ำเพียงร้อยละ 0.1-1.5 เท่านั้น การแช่เยือกแข็งแบบอากาศเคลื่อนที่สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 4 รูปแบบคือ

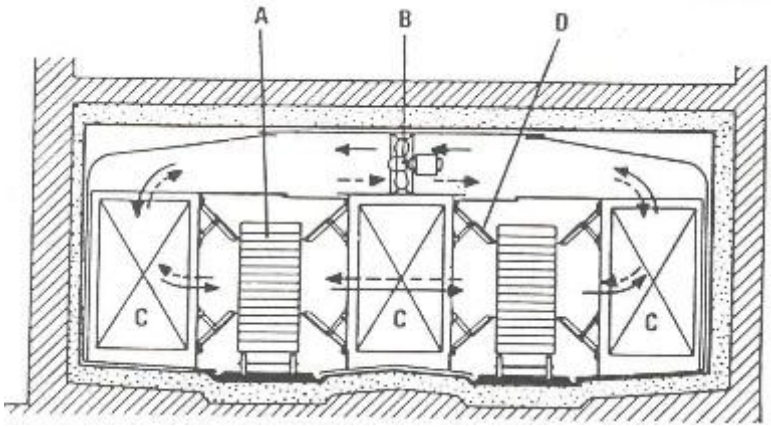
ก) การใช้ห้องแช่เยือกแข็งแบบลมพ่น (air blast freezer) การแช่เยือกแข็งนี้คล้ายกับ sharp freezer แต่ต่างกันที่อากาศจะเคลื่อนที่ ทำให้อัตราการแช่เยือกแข็งเร็วขึ้น Fennema และคณะ (1973) ได้แนะนำว่าวิธีนี้ควรใช้อุณหภูมิ -29 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 12.5 เมตรต่อวินาที

ข) การใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอุโมงค์ (tunnel freezer) วิธีนี้ต้องบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในถาดแล้วนำถาดผ่านเข้าไปในอุโมงค์ ที่มีลมเย็นพ่นอยู่ ผลิตภัณฑ์อาจวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ บนรถเข็น (trolleys) หรือรถยก (forklift) แล้วเลื่อนเข้าไปวางในช่องอุโมงค์ลมดังรูปที่ 2-9หรืออาจใช้ราวแขวนซากของสัตว์ผ่านเข้าไปก็ได้

ค) เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสายพาน (belt freezer) เครื่องแช่เยือกแข็งแบบนี้จะใช้สายพานในการลำเลียงผลิตภัณฑ์แบบสายตรงดังรูปที่ 2-10 หรือสายพานขดเป็นวงซ้อนกัน (spiral belt freezer) ดังรูปที่ 2-11 การแช่เยือกแข็งแบบนี้จะบรรจุอาหารลงในถาด แล้ววางถาดลงบนสายพาน (belt) ที่ทำจากเหล็กปลอดสนิม (stainless steel) สายพานจะลำเลียงผลิตภัณฑ์เข้าไปในเครื่องแช่เยือกแข็ง ลมเย็นที่พ่นผ่านจะทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งตัว และลำเลียงออกมาอีกด้านหนึ่ง ในการแช่เยือกแข็งโดยวิธีนี้ต้องเกลี่ยให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาเท่ากัน ผลิตภัณฑ์จะแข็งตัวอย่างสม่ำเสมอ และถ้าวางผลิตภัณฑ์เรียงเป็นชิ้น ผลิตภัณฑ์จะแข็งตัวเป็นรายหน่วยเรียกว่า individual quick frozen (IQF)

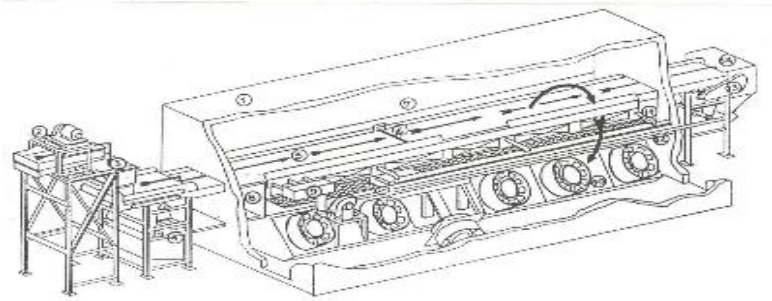
ง) เครื่องแช่เยือกแข็งแบบฟลูอิไดซ์ (fluidized bed freezer) วิธีนี้อาศัยแรงลมพัดผ่านผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดสม่ำเสมอและมีชิ้นเล็กๆ เช่น เมล็ดถั่วลันเตา แครอทหั่นแบบลูกเต๋า เป็น

ต้น อาหารจะวางบนสายพานโดยให้มีความหนาสม่ำเสมอกัน สายพานจะลำเลียงผลิตภัณฑ์เข้าไปในเครื่องแช่เยือกแข็งที่มีลมเย็นอุณหภูมิ -34 องศาเซลเซียส พัดผ่านด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 1.9 เมตรต่อนาที อย่างไรก็ตามความเร็วของลมและความหนาของการเกลี่ยชิ้นของผลิตภัณฑ์ จะปรับให้เหมาะสมกับชนิดและขนาดผลิตภัณฑ์ ลมเย็นจะพัดผ่านในแนวตั้งฉากกันการเคลื่อนที่ของ ผลิตภัณฑ์ทำให้ชิ้นของผลิตภัณฑ์ลอยตัวได้ คล้ายกับการเดือดของน้ำ การใช้ลมเย็นที่มีอัตราการเคลื่อนที่น้อยเกินไปจะไม่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ ลอยตัวและเย็นตัวได้อย่างรวดเร็ว แต่การให้อัตราการไหลของลมมากเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียน้ำหนักได้ วิธีการแช่เยือกแข็งแบบนี้จะมีอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็งเร็วกว่าวิธีการใช้ลมเย็นอื่นๆ เนื่องจากลมเย็นได้มีโอกาสสัมผัสกับอาหารทั่วทั้งชิ้น



รูปที่ 2-9 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอุโมงค์ ตำแหน่ง A. Trolleys with trays, B. Reversing fans, C. Air coolers, D. System of baffles with allows adjustment of the airflow.

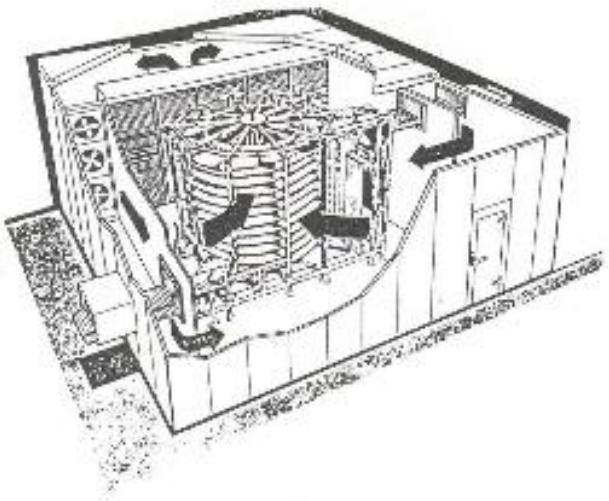
ที่มา: (IIR, 1972)



1. Insulated wall of the tunnel,
2. De-water vibrator,
3. Loading hopper,
4. Belt drying system,
5. Variable speed belt,
6. Product spreader,
7. Air agitation zone,
8. Evaporator,
9. High velocity air,
.10. Variable air flow fan,
11. Defrost water,
12.Refrigerant piping,
13. Belt speed changer,
14. Unloading hopper

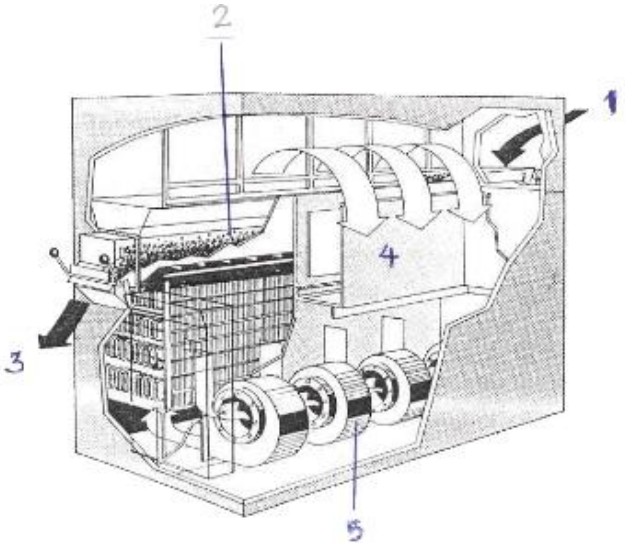
รูปที่ 2-10 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสายพานตรง

ที่มา: (IIR, 1972)



รูปที่ 2-11 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสายพานเกลียวลูกศรแสดงการไหลเวียนของลมเย็น

ที่มา: (IRR, 1972)

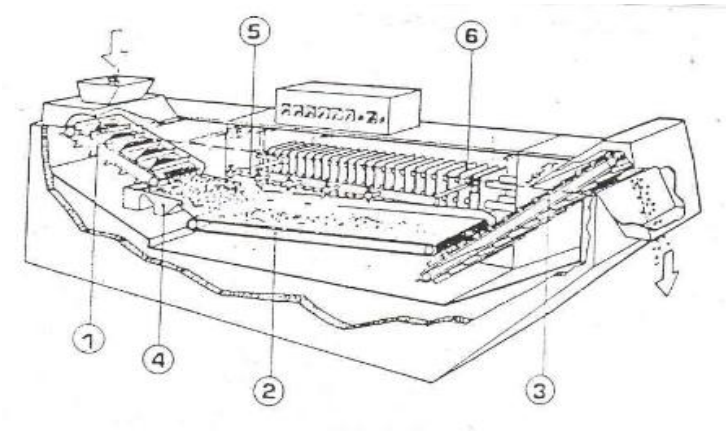


ตำแหน่ง 1. Unfrozen product conveyor, 2. Product trough,3. Frozen product discharge, 4. Air coolers, 5. Fan....

รูปที่ 2-12 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบฟลูอิไดซ์เบด

ที่มา: (IIR, 1972)

2.5.3 **วิธีการแช่เยือกแข็งโดยอาศัยของเหลวเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน** วิธีการนี้จะอาศัยของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำได้แก่ น้ำเกลือเย็น สารละลายโพรพิลีนไกลคอล สารละลายกลีเซอรอล สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ หรือสารละลายน้ำตาลที่ทำให้เย็นตัวมาฉีดพ่นหรือจุ่มลง ส่วนใหญ่ใช้วิธีจุ่มในเครื่องแช่เยือกแข็งแบบจุ่ม (immersion freezer) วิธีการนี้มีข้อดีในแง่ผลิตผลไม่สูญเสียน้ำเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอกันหรือมีซอกมุมที่ลมเย็นพัดเข้าไม่ถึง แต่การแช่เยือกแข็งวิธีนี้ใช้เพียงเพื่อทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์แข็งตัวเป็นส่วนใหญ่ การแช่เยือกแข็งนี้มีข้อไม่เหมาะสมคืออาจมีการปนเปื้อนบ้าง โดยเฉพาะสารเคมีอาจทำให้รสชาติเปลี่ยนไป เช่นมีรสเค็มหรืออาจทำให้สารละลายขังในผลิตภัณฑ์ หากต้องการใช้วิธีนี้ให้ปลอดภัยควรบรรจุผลิตภัณฑ์ในพลาสติกที่บรรจุแบบแนบเนื้อ การแช่เยือกแข็งวิธีนี้มักจะต้องใช้ร่วมกับการแช่เยือกแข็งวิธีอื่นๆ ดังเช่นการแช่เยือกแข็งไก่ กุ้งหรือปลาจุ่มลงในสารละลายเย็น เนื่องจากการแช่เยือกแข็งวิธีนี้เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งที่มีความเร็วปานกลาง จึงมีการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ต่อโดยใช้ลมเย็นพ่น

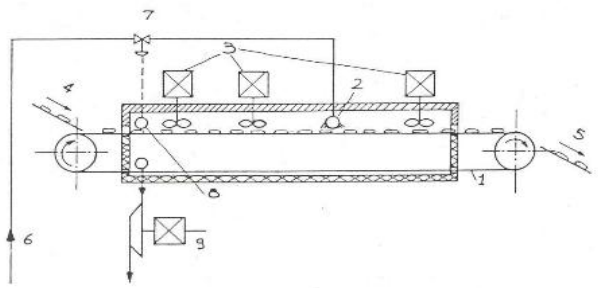


ตำแหน่ง 1. Product input conveyor, 2. Freezing conveyor,3. Frozen product exit conveyor, 4. I.Q.F. bath, 5. Spray nozzles, 6. Condenser.

รูปที่ 2-13 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบจุ่ม

ที่มา: (IRR, 1972)

2.5.4 **วิธีการแช่เยือกแข็งโดยอาศัยการระเหยของของเหลวในการถ่ายเทความร้อน (evaporating liquid freezer)** วิธีการแช่เยือกแข็งโดยการระเหยนี้อาจเรียกว่า การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค (cryogenic freezing) วิธีการแช่เยือกแข็งแบบนี้ใช้ของเหลวเช่นกัน แต่ของเหลวที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งวิธีนี้ต้องมีคุณสมบัติในการระเหยง่าย เช่น ไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen) คาร์บอนไดออกไซด์เหลว หรือสารประกอบฟลูออโรคาร์บอน ซึ่งไนโตรเจนเหลวเป็นสารที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเนื่องจากเป็นสารเฉื่อย ไม่ทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ ไนโตรเจนเหลวมีอุณหภูมิประมาณ -196 องศาเซลเซียส เมื่อฉีดพ่นลงบนผลิตภัณฑ์ที่ลำเลียงอยู่บนสายพาน ดังรูปที่ 2-14 ไนโตรเจนเหลวเมื่อสัมผัสกับผลิตภัณฑ์จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน ไนโตรเจนเหลวจะเดือดกลายเป็นไอ โดยดูดเอาความร้อนจากชิ้นของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะเย็นตัวและแข็งอย่างรวดเร็ว มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีสภาพเนื้อสัมผัสที่ดี วิธีการนี้ทำได้ง่ายแต่ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ในการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัมต้องใช้ไนโตรเจนเหลวประมาร 1-1.5 กิโลกรัม และการใช้ค่อนข้างจำกัด ต้องระมัดระวังเนื่องจากการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว อาจทำให้ผิวของผลไม้เป็นรอยแตกได้ และผลิตภัณฑ์อาจติดบนสายพาน อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่ยุ่งยากสลับซับซ้อน ค่าเครื่องมือไม่แพงนัก



ตำแหน่ง 1. Belt, 2. Spraying nozzles, 3.Fans, 4. Infeed, 5. Outlet, 6. Nitrogen tank supply line, 7. Regulating valve, 8. Temperature sensing unit, 9. Nitrogen gas exhauster.

รูปที่ 2-14 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

ที่มา: (IIR, 1972)

อัตราการแช่เยือกแข็ง

วิธีการแช่เยือกแข็งแต่ละแบบที่กล่าวมาจะมีอัตราเร็วในการทำให้อาหารแข็งตัวต่างกัน ขึ้นกับวิธีการส่งถ่ายความร้อนของตัวกลางความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการ และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งอัตราเร็วการแช่เยือกแข็งตามประสิทธิภาพของเครื่องมือได้ดังตารางที่ 2-1

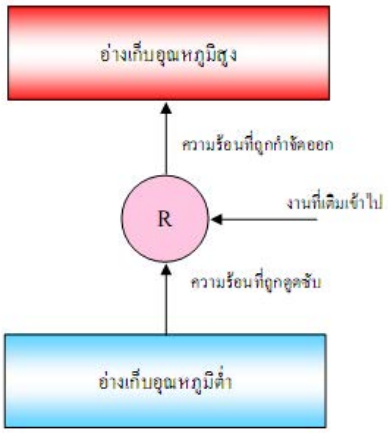
ตารางที่ 2-1 อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งตามประสิทธิภาพของเครื่องมือ

อัตราการแช่เยือกแข็ง (เซนติเมตรต่อชั่วโมง)	**การจัดประเภทอัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง**	**ใช้ในผลิตภัณฑ์**
0.2	แบบช้า (slow freezing)	อาหารที่มีขนาดใหญ่โดยใช้ลมเย็นเป่า
0.5-3	แบบเร็ว (quick freezing)	อาหารที่บรรจุขนาดย่อย (retail package) โดยใช้ลมเย็นเป่าหรือใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบเพลท
5-10	แบบเร็วมาก (rapid freezing)	อาหารแบบรายหน่วย (IQF) สำหรับอาหารขนาดเล็กโดยใช้เครื่องฟลูอิไดซ์เบด
10-100	แบบเร็วยวดยิ่ง (ultra rapid freezing)	อาหารที่ใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจนิค

ที่มา: IIR (1972)

2.6 ระบบทำความเย็นและปรับอากาศ

ระบบทำความเย็นหรือระบบปรับอากาศ จะถ่ายเทความร้อนจากแหล่งพลังงานต่ำที่เย็นกว่าไปแหล่งพลังงานสูงที่มีอุณหภูมิที่สูงกว่าดังรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 ระบบการทำความเย็น

ที่มา: UNEP.(2554)

2.6.1 ประเภทของการทำความเย็นและการปรับอากาศ

หลักการทำความเย็นจะ 2 ประเภท คือ 1) ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System) และ 2) ระบบการทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption Chiller System)

1) ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System)

วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอแสดงตามรูปที่ 2-16 และวงจรการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบ IQFแสดงตามรูปที่ 2-17

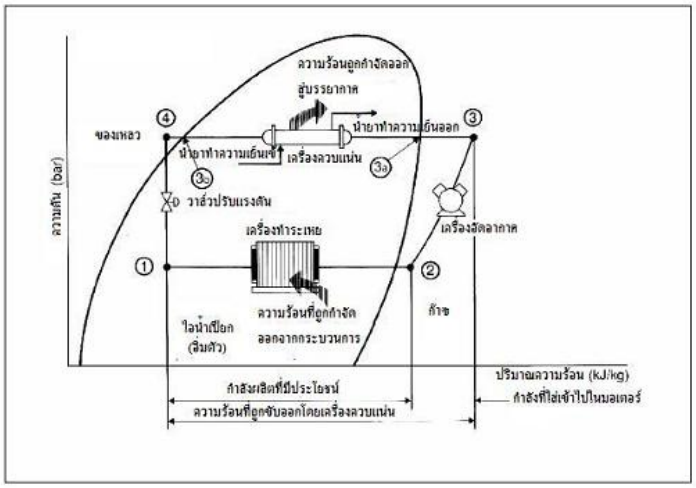
1 – 2 สารทำความเย็นที่เป็นของเหลวซึ่งอยู่ในเครื่องทำระเหยนั้นจะดูดกลืนความร้อนจากสภาพแวดล้อม ในระหว่างขั้นตอนนี้มันจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นก๊าซและที่ทางออกจะมีสภาวะเป็นไอร้อนยิ่งยวด

2 – 3 สภาวะไอร้อนยิ่งยวด เข้าเครื่องอัดอากาศเพิ่มความดัน อุณหภูมิก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เพราะว่าสัดส่วนของพลังงานที่ใส่เข้าไปในกระบวนการบีบอัดนั้น จะถูกถ่ายเทให้กับสารทำความเย็นต่อไป

3 – 4 ไอร้อนยิ่งยวดที่แรงดันสูง ที่ผ่านมาจากเครื่องอัดอากาศไปยังเครื่องควบแน่น ส่วนแรกเริ่มของกระบวนการหล่อเย็น (3-3a) จะลดความร้อนยิ่งยวดของก๊าซที่จะกลายเป็นของเหลว (3a - 3b) การหล่อเย็นสำหรับกระบวนการนี้ทำได้โดยอากาศหรือน้ำ การลด

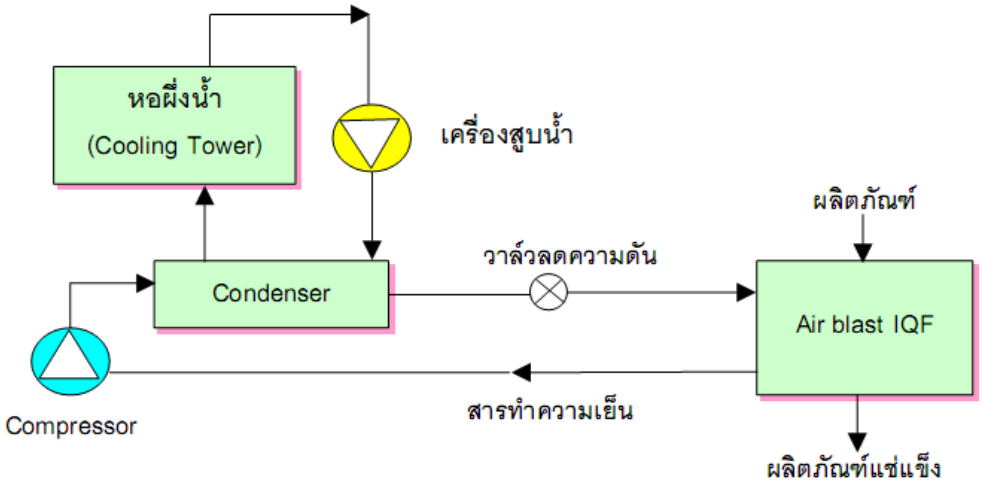
อุณหภูมิลงอีกจะมีขึ้นที่ระบบท่อและอ่างรับของเหลว(3b-4) ซึ่งสารของเหลวทำความเย็นก็จะถูกทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวในขณะที่มันเข้าไปยังอุปกรณ์ลดความดัน

4 – 1 ของเหลวยิ่งยวด ซึ่งมีแรงดันสูงนี้จะผ่านอุปกรณ์ลดแรงดัน ซึ่งจะลดแรงดันและควบคุมการไหลเข้าสู่เครื่องทำระเหย



รูปที่ 2-16 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

ที่มา: Bureau of Energy Efficiency. 2004



รูปที่ 2-17 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบ IQF

ที่มา: (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)

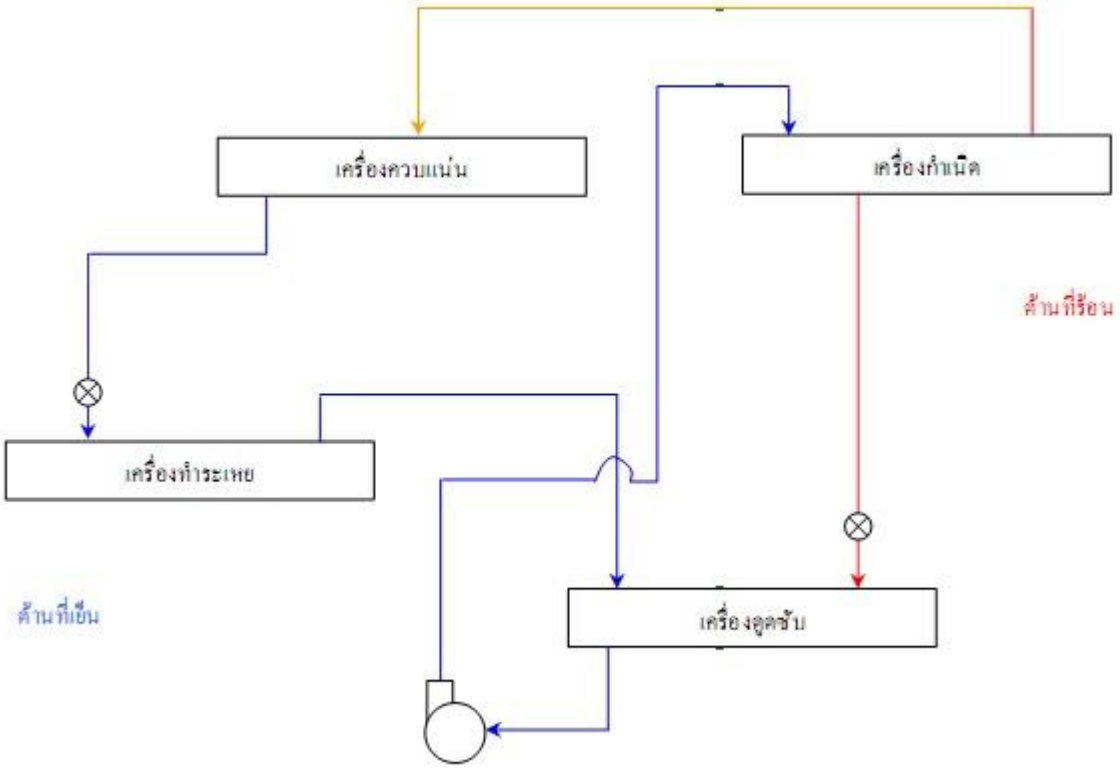
2) **ระบบการทำความเย็นแบบดูดกลืน** (Absorption Chiller System)

วัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดกลืนแสดงตามรูปที่ 2-18 ระบบการทำความเย็นแบบดูดกลืนประกอบด้วย

1) เครื่องดูดซับ เป็นการดูดซับไอของสารทำความเย็นโดยการใช้ตัวดูดซับที่เหมาะสมจะทำให้มีสารทำความเย็นที่ละลายเข้มข้นได้ภายในตัวดูดซับนั้น

2) เครื่องสูบ จะสูบสารละลายเข้มข้นและเพิ่มแรงดัน จนถึงค่าแรงดันของเครื่องควบแน่น

3) เครื่องกำเนิด การกลั่นของไอจากสารละลายเข้มข้นจะทิ้งสารละลายของไอไว้สำหรับการนำมาใช้หมุนเวียน



รูปที่ 2-18 วัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดกลืน

ที่มา: UNEP.(2554)

2.6.2 การประเมินสมรรถนะของระบบทำความเย็น

1) TR: คือ ผลกระทบของความเย็นที่ผลิตขึ้นโดยวัดปริมาณเป็นตันของการทำความเย็น

$$TR = Q \times C_p \times (T_i - T_o) / 3024 \quad (6)$$

โดยที่

Q คือ อัตราการไหลของมวลของน้ำยาทำความเย็นในหน่วย กิโลกรัม / ชั่วโมง

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำยาทำความเย็น ในหน่วย กิโลแคลอรี/กิโลกรัม องศาเซลเซียส

T_i คือ อุณหภูมิน้ำยาทำความเย็นที่เข้าสู่เครื่องระเหย (เครื่องทำความเย็น) ในหน่วยองศาเซลเซียส

T_o คืออุณหภูมิน้ำยาทำความเย็นที่ออกจากเครื่องระเหย (เครื่องทำความเย็น) ในหน่วยองศาเซลเซียส

1 TR ของการทำความเย็น = 3024 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง ของความร้อนที่ถูกขับออก

2) ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะทางทฤษฎี (Carnot cycle)

□ COP_{Carnot} เป็นการวัดประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบทำความเย็น ในวัฏจักรอุดมคติจะขึ้นอยู่กับสองค่าอุณหภูมิหลักของระบบ ได้แก่ อุณหภูมิของเครื่องทำระเหย T_e และอุณหภูมิในการควบแน่น T_C โดยคำนวณค่า COP ได้ดังสมการ (7) และCOP_{Carnot} เป็นอัตราส่วนของอุณหภูมิโดยไม่คำนึงถึงชนิดเครื่องอัดอากาศ ในทางปฏิบัติ ค่า COP มักจะถูกคำนวณดังสมการ (8)

$$COP_{Carnot} = T_e/(T_c-T_e) \quad (7)$$

$$COP = \text{ขนาดการทำความเย็น(kW)/กำลังที่ใส่ให้เครื่องอัดอากาศ(kW)} \quad (8)$$

ถ้าคอมเพรสเซอร์เป็น Multistage

$$COP = Q_e/(W_{Low}+W_{High}) \quad (9)$$

ที่ Q_e = การระบายความร้อนจากอิวาเปอเรเตอร์ (kW)

W_{Low} = งานจากคอมเพรสเซอร์จาก stage 1 (kW)

W_{High} = งานจากคอมเพรสเซอร์จาก stage 2 (kW)

$$Q_e = m_{Low}/(h_1+h_9) \quad (10)$$

$$W_{Low} = m_{Low}/(h_2+h_1) \quad (11)$$

$$W_{High} = m_{High}/(h_8+h_3) \quad (12)$$

ที่ m_{Low} = อัตราการไหลที่ผ่านคอมเพรสเซอร์ Low Stage (kg/s)

M_{High} = อัตราการไหลที่ผ่านคอมเพรสเซอร์ High Stage (kg/s)

h_1,h_2 etc = ค่าเอนทัลปีที่ตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ (2-21)(kJ/kg)

สมรรถนะของสารทำความเย็นที่นำมาใช้แสดงในตาราง 2-2

ตาราง 2-2 สมรรถนะของสารทำความเย็นที่นำมาใช้

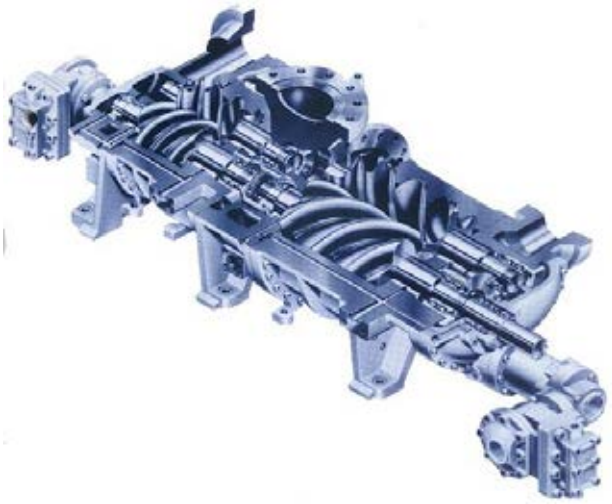
สารทำความเย็น	แรงดันการระเหย (kPa)	แรงดันการควบแน่น (kPa)	อัตราส่วนแรงดัน	ความจุความร้อนของไอ (kJ / kg)	COP^{**}_{carnot}
R – 11	20.4	125.5	6.15	155.4	5.03
R – 12	182.7	744.6	4.08	116.3	4.70
R – 22	295.8	1192.1	4.03	162.8	4.66
R - 502	349.6	1308.6	3.74	106.2	4.37
R - 717	236.5	1166.5	4.93	103.4	4.78

*ที่ – 15 °C อุณหภูมิของเครื่องทำระเหย, และ 30 °C อุณหภูมิควบแน่น

** COP_{carnot} = ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ = $Temp_{evap}$/ ($Temp_{Cond}$-$Temp_{Evap}$)

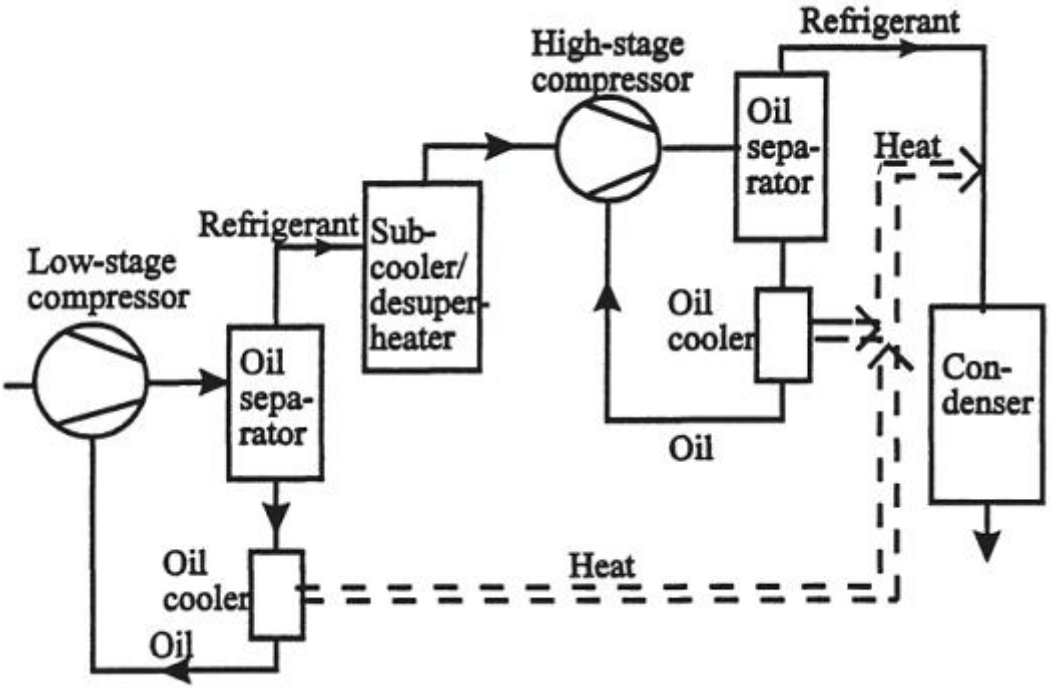
ที่มา: UNEP.(2554)

รูปที่ 2-19 แสดงคอมเพรสเซอร์ ชนิดสกรู 2 stage



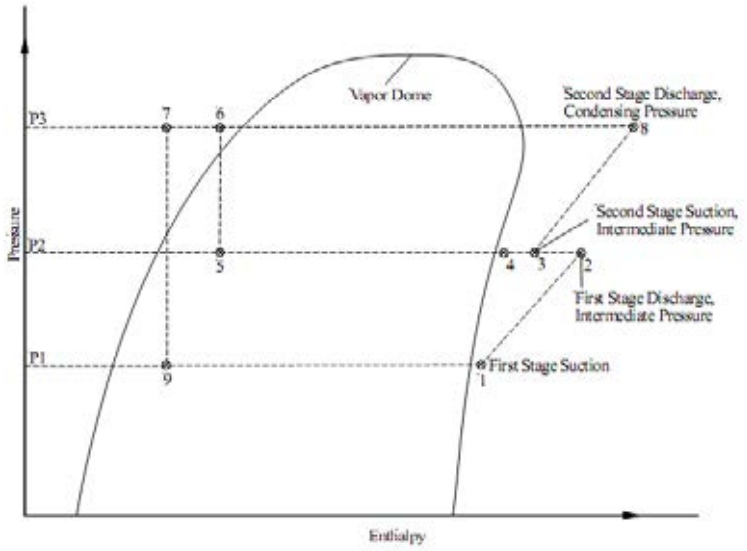
รูปที่ 2-19 คอมเพรสเซอร์ ชนิดสกรู 2 stage

รูปที่ 2-20 แสดงการใช้ Sub-cooler ระหว่าง low stage compressor กับ high stage compressor และรูปที่ 2-21 แสดง Pressure-Enthalpy Diagram of Two-Stage Compression with Economizer



รูปที่ 2-20 การใช้ Sub-cooler ระหว่าง low stage compressor กับ high stage compressor

source: Wilbert F.Stoecker.1998



รูปที่ 2-21 Pressure-Enthalpy Diagram of Two-Stage Compression with Economizer source:Doron Shapiro and Clay Rohrer. 2006.

ประสิทธิภาพการอัดแบบอะเดียบาติค(Adiabatic Compression Efficiency) ของคอมเพรสเซอร์แบบสกรู ดังสมการ (13)

$$\eta_a = \frac{\text{isentropic work of compression, kJ/kg}}{\text{actual work of compression, kJ/kg}} \times 100 \qquad (13)$$

2.7 ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านการส่องสว่างในเรื่องการประหยัดพลังงานแสงสว่าง

1) ความส่องสว่าง (อิลูมิแนนซ์) หมายถึงปริมาณแสงที่กระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น *ลูเมนต่อตารางเมตร หรือ ลักซ์* (ถ้าหน่วยเป็น ลูเมนต่อตารางฟุต ความส่องสว่างก็เป็น ฟุตแคนเดิล)

อิลูมิแนนซ์ = ปริมาณแสง(ลูเมน)/ พื้นที่(ตารางเมตร) (14)

2) ความสว่าง (ลูมิแนนซ์) หมายถึงปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น *แคนเดลาต่อตารางเมตร* ปริมาณแสงที่เท่ากันเมื่อตกกระทบลงมาบนวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน นั่นคือ *ลูมิแนนซ์* ต่างกัน สาเหตุที่ต่างกันก็เนื่องมาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุต่างกัน

3) ชนิดของหลอดไฟฟ้าแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆได้ดังนี้

3.1 หลอดอินแคนเดสเซนต์ หรือหลอดมีไส้

3.2 หลอดปล่อยประจุ เป็นหลอดที่ไม่ต้องใช้ไส้หลอด หลอดในตระกูลนี้มี หลอดฟลูออเรสเซนต์ (หลอดปรอทความดันไอต่ำ) หลอดคอมแพคท์ หลอดปรอทความดันไอต่ำ หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ และความดันสูง หลอดเมทัลฮาไลด์

3.3 หลอดอินแคนเดสเซนต์ เป็นหลอดมีไส้ที่มีประสิทธิผล (Efficacy) ต่ำ และมีอายุการใช้งานสั้นในเกณฑ์ประมาณ 1,000-3,000 ชม. หลอดประเภทนี้มีอุณหภูมิสีประมาณ 2,800 องศาเคลวิน แต่ให้แสงที่มีค่าความถูกต้องของสี 100 %

3.4 หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดปล่อยประจุความดันไอต่ำ สีของหลอดมี 3 แบบคือ daylight, cool white และ warm white ชนิดของหลอดชนิดนี้ที่ใช้งานกันทั่วไปคือแบบ Linear ขนาด 18 และ 36 วัตต์ และ Circular 22 32 และ 40 วัตต์ และมีประสิทธิผลประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ ถือว่าสูงพอสมควรและประหยัดค่าไฟฟ้าเมื่อเทียบกับหลอดอินแคนเดสเซนต์ซึ่งมีค่าประมาณ 10-15 ลูเมนต่อวัตต์ และมีอายุการใช้งาน 9,000-12,000 ชม.

3.5 หลอดคอมแพคท์ฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดปล่อยประจุความดันไอต่ำ สีของหลอดมี 3 แบบคือ daylight, cool white และ warm white เช่นเดียวกันกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบที่ใช้งานกันมากคือหลอดเดี่ยว มีขนาดวัตต์ 5, 7, 9, 11 วัตต์และหลอดคู่ มีขนาดวัตต์ 10, 13, 18, 26 วัตต์ เป็นหลอดที่พัฒนาขึ้นมาแทนที่หลอดอินแคนเดสเซนต์ และมีประสิทธิผลสูงกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ คือประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ และ อายุการใช้งานประมาณ 5,000-8,000 ชม

3.6 หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ หลอดประเภทนี้มีสีเหลืองจัดและประสิทธิผลมากที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด คือ มีประสิทธิผลประมาณ 120-200 ลูเมนต่อวัตต์ แต่ความถูกต้องของสีน้อยที่สุด คือ มีความถูกต้องของสีเป็น 0 % ข้อดีของแสงสีเหลืองเป็นสีที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ดีที่สุด หลอดประเภทนี้จึงเหมาะเป็นไฟถนนและอายุการใช้งานนานประมาณ 16,000 ชม หลอดมีขนาดวัตต์ 18, 35, 55, 90, 135 และ180 วัตต์

3.7 หลอดโซเดียมความดันไอสูง หลอดโซเดียมความดันไอสูงมีประสิทธิผลรองจากหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ คือ มีประสิทธิผลประมาณ 70-90 ลูเมนต่อวัตต์แต่ความถูกต้องของสีดีกว่าหลอดโซเดียมความดันไอต่ำ คือ 20 % และมีอุณหภูมิสีประมาณ 2,500 เคลวิน เป็นอุณหภูมิสีต่ำเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความส่องสว่างมาก เช่น ไฟถนน ไฟบริเวณ ซึ่งต้องการความส่องสว่างประมาณ 5-30 ลักซ์ และอายุการใช้งานประมาณ 24,000 ชม มีขนาดวัตต์ 50, 70, 100, 150, 250, 400 และ 1,000 วัตต์

3.8 หลอดปรอทความดันไอสูง หรือที่ชาวบ้านเรียกว่าหลอดแสงจันทร์ และมีประสิทธิผลสูงพอกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ คือ มีประสิทธิผลประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ แสงที่ออกมามีความถูกต้องของสีประมาณ 60 % ส่วนใหญ่ใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เมื่อต้องการวัตต์สูงๆในพื้นที่ที่มีเพดานสูง อุณหภูมิสีประมาณ 4,000-6,000 เคลวิน แล้วแต่ชนิดของหลอด และอายุการใช้งานประมาณ 8,000-24,000 ชม มีขนาดวัตต์ 50, 80, 125, 250, 400, 700 และ 1,000 วัตต์

3.9 หลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดเมทัลฮาไลด์ก็เหมือนกับหลอดปล่อยประจุอื่นๆ แต่มีข้อดีที่ว่ามีสเปกตรัมแสงทุกสี ทำให้สีทุกชนิดเด่นภายใต้หลอดชนิดนี้ นอกจากความถูกต้องของสีสูงแล้ว แสงที่ออกมาก็อาจมีตั้งแต่ 3,000-4,500 เคลวิน (ขึ้นอยู่กับขนาดของวัตต์) ส่วนใหญ่นิยมใช้กับสนามกีฬาที่มีการถ่ายทอดโทรทัศน์ มีอายุการใช้งานประมาณ 6,000-9,000 ชม และมีขนาดวัตต์ 100, 125, 250, 300, 400, 700 และ 1,000 วัตต์

3) ข้อมูลของหลอดชนิดต่างๆ

รูปที่ 2-22 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดไฟแต่ละชนิด ตารางที่ 2-3 แสดงการเปรียบค่าความสว่างในอาคารตามมาตรฐาน CIE ,IES ,และ BS และตารางที่ 2-4 แสดงการเปรียบค่าความสว่างในโรงงานตามมาตรฐาน CIE ,IES ,และ BS

	LED	Incandescent	Halogen	Fluorescent	CFL	HID			
						Metal Halide	HPS	LPS	Mecury Vapour
Lamp Type									
Light Conversion Efficiency	90%	5 - 10%	5 - 10%	25%	40%	25%	30%	30%	15%
Average Lifespan	50K hours	1 - 2K hours	2 - 4K hours	7 - 15K hours	7 - 10K hours	6 - 20K hours	≤24K hours	≤16K hours	≤16K hours
Power Consumption	Low	Very High	Very High	High	Mid	High	High	High	High
Maintenance Cost	Low	High	High	High	High	High	High	High	High
Efficacy	65 - 168 lm/W	12 lm/W	18 lm/W	80 lm/W	60 lm/W	65 - 115 lm/W	50 - 90 lm/W	50 - 90 lm/W	30 - 65 lm/W
Color Temperature	2,700 - 10,000K	2,500 - 2,700K	3,000 - 3,200K	2,700 - 6,000K	2,700 - 6,000K	3,000 - 20,000K	1,900 - 2,200K	2,200K	2,200K
CRI	65 - 95	>90	>90	>60	80 - 90	>60	>60	40 - 60	40 - 60
Flicker	Na	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
UV Radiation	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Lead content	No	Yes	Yes	No	No	Selective Yes	Yes	-	-
Mercury	Na	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
Infra Red Radiation	No	Yes	Yes	-	-	-	-	-	-

รูปที่ 2-22 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดไฟแต่ละชนิด

ที่มา: LEO Industries(s) Pte Ltd. 2556

ตารางที่ 2-3 แสดงการเปรียบค่าความสว่างในอาคารตามมาตรฐาน CIE ,IES ,และ BS

พื้นที่ต่าง ๆ	CIE	IES	BS
ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500	750W
ห้องเขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	750W
ห้องทำงานทั่วไป	300-500-750	200-300-500	500W
ห้องคอมพิวเตอร์	300-500-750	200-300-500	500W
ห้องสมุด	300-500-750	200-300-500	500W
ร้านค้าในอาคารพานิชย์	500-750	500-750-1000	500W
เคานเตอร์	200-300-500	200-300-500	200W
ห้องเก็บของ	100-150-200	100-150-200	150S
ห้องล็อบบี้หรือบริเวณต้อนรับ	100-150-200	100-150-200	150S
ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200	150S
ทางเดิน	50-100-150	100-150-200	100S
บันได	100-150-200	100-150-200	150F
ลิฟท์	100-150-200	100-150-200	150F

หมายเหตุ... มาตรฐานของ BS

ตัวเลข คือ ค่าความส่องสว่าง

ตัวหนังสือ คือ ตำแหน่งของความสว่าง (W = Working Plane , S = Switch , F = Floor)

ตารางที่ 2-4 แสดงการเปรียบค่าความสว่างในโรงงานตามมาตรฐาน CIE ,IES ,และ BS

พื้นที่ต่าง ๆ	CIE	IES	BS
งานทั่วไป	150-200-300	200-300-500	200
งานหยาบ	200-300-500	500-750-1000	300
งานละเอียดปานกลาง	300-500—750	1000-1500-2000	500
งานละเอียด	500-750-1000	2000-3000-5000	750
งานละเอียดมาก	1000-1500-2000	5000-7500-10000	1000

2.8 ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าเป็นต้นทุนการผลิตที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งส่วนใหญ่ถูกใช้ไปกับระบบทำความเย็น ได้แก่ การแช่เยือกแข็ง ห้องเย็นการผลิตน้ำแข็ง และการผลิตน้ำเย็นซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เข็งมีหลายประการ ได้แก่ ชนิดของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ระบบและสารทำความเย็นที่เลือกใช้ สภาพและการดูแลรักษาเครื่องจักรกระบวนการผลิตและลำดับการผลิตนอกจากนี้ผลของฤดูกาล เช่น ปริมาณวัตถุดิบ คำสั่งผลิต อุณหภูมิและความชื้นของภูมิอากาศเป็นต้น รวมถึงโครงสร้างด้านไฟฟ้าที่สถานประกอบการเลือกใช้ (แบบปกติตามช่วงเวลาของวัน และตามช่วงเวลาการใช้) ยังมีผลต่อค่าไฟฟ้าเช่นกัน ดังนั้นในการประเมินความเป็นไปได้ในการลดค่าไฟฟ้าจึงควรนำปัจจัยเหล่านี้มาพิจารณาร่วมด้วย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้แบ่งผู้ใช้ไฟฟ้าออกเป็นประเภทต่างๆ 8 ประเภท เพื่อใช้ในการคิดค่าใช้ไฟฟ้ากิจการที่กำลังศึกษาอยู่นี้จัดอยู่ในประเภทที่ 4 ซึ่งเป็นกิจการขนาดใหญ่ที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในรอบ 3 เดือนเกิน 250,000 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน

ค่าไฟฟ้าแต่ละเดือน การคิดค่าไฟฟ้ามีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand charge) – บาท/กิโลวัตต์ สะท้อนถึงการลงทุนในการขยายกำลังของระบบผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า ตามระดับแรงดัน ซึ่งเรียกเป็น Capacity cost โดยในแต่ละเดือนการไฟฟ้า คิดจากค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วง 15 นาทีที่สูงสุด

2. ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy charge) – บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง เป็นค่าที่สะท้อนถึงค่าใช้จ่ายใน การบำรุงรักษา การดำเนินงาน และค่าเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยแบ่งออกไปตามระดับแรงดัน ซึ่งเรียกเป็น Energy cost

3. ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor charge) – บาท/กิโลวาร์ เป็นค่าที่สะท้อนถึงการลงทุนการสูญเสียในระบบส่งหรือระบบจำหน่าย การบำรุงรักษาเครื่องวัดการติดตั้ง Capacitor ในระบบไฟฟ้าโดยกำหนดให้ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป มีค่าตัวประกอบกำลังไม่ต่ำกว่า 0.85 การไฟฟ้าฯจะเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังจากผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังล้าหลัง โดยคิดจากความต้องการ พลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เฉพาะส่วนที่เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด หากเศษจากการคำนวณไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ให้ปัดทิ้งตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ให้ปัดเป็น 1 กิโลวาร์

4. ค่าบริการ (Service charge) สะท้อนถึงต้นทุนค่าบริการที่การไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า เรียกเป็น Customer cost

5. ค่าไฟฟ้าต่ำสุด (Minimum charge) ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องมีการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา สิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน เป็นการสะท้อนถึงการลงทุนที่การไฟฟ้าได้ลงทุนขยายระบบไฟฟ้าให้เพียงพอ แต่ผู้ใช้ไฟฟ้ากลับไม่ใช้ไฟฟ้าตามที่แสดงความจำนงไว้

6. ค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติหรือค่าไฟฟ้าผันแปร (FT) – บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็นส่วนหนึ่งของค่าไฟฟ้าที่ปรับเปลี่ยนเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามการเปลี่ยนแปลงของต้นทุน เช่น ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง ค่าซื้อไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งเป็นความผันแปรที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของการไฟฟ้าฯ ค่าไฟฟ้าส่วนนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) ในปัจจุบันเก็บในอัตราร้อยละ 7 ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าอยู่ 3 แบบคือ (1) แบบอัตราปกติ, (2) แบบ TOD, (3) แบบ TOU

ตารางที่ 2-5 แสดง กิจการที่ทำการศึกษาใช้การคิดอัตราค่าไฟฟ้า แบบ TOD และตารางที่ 2-6 แสดงระยะเวลาการคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU

ตารางที่ 2-5 กิจการที่ทำการศึกษาใช้การคิดอัตราค่าไฟฟ้า แบบ TOD

อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of day rate :TOD)	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)
	Peak	Partial	Off park	
แรงดันตั้งแต่ 69kV ขึ้นไป	224.30	29.91	0	1.6660
แรงดัน 22-33 kV หรือ 12-33 kV	285.05	58.88	0	1.7034
แรงดันต่ำกว่า 22 kV หรือ 12 kV	332.71	68.22	0	1.7314

ตารางที่ 2-6 แสดงระยะเวลาการคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU

TOU Peak	เวลา 09.00 - 22.00 น.	วันจันทร์ – ศุกร์
TOU Off Peak	เวลา 22.00 – 09.00 น.	วันจันทร์ – ศุกร์
	เวลา 00.00 – 24.00 น.	วันเสาร์ – อาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)
TOD Peak	เวลา 18.30 – 21.30 น.	ของทุกวัน
TOD Partial Peak	เวลา 8.00 – 18.30 น.	ของทุกวัน (ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าคิดเฉพาะส่วนที่เกินPeak)
TOD Off Peak	เวลา 21.30 – 8.00 น.	ของทุกวัน

โหลดแฟคเตอร์ (Load factor, LF)

เป็นดัชนีตัวหนึ่งที่สะท้อนให้ผู้ใช้ไฟฟ้ารู้ถึงความสม่ำเสมอของการใช้ไฟฟ้า การคำนวณโหลดแฟคเตอร์จากบิลค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนสามารถทำได้ดังนี้

$$\text{ตัวประกอบโหลด (Load Factor)} = \frac{\text{จำนวนกิโลวัตต์ชั่วโมงที่ใช้ทั้งหมดต่อเดือน} \times 100\%}{\text{กิโลวัตต์สูงสุด} \times \text{จำนวนชั่วโมงในเดือนนั้น}} \quad (15)$$

การพิจารณาสมการโหลดแฟคเตอร์จะเห็นว่าตัวแปรที่ทำให้เปอร์เซ็นต์โหลดแฟคเตอร์สูงหรือต่ำจะมีอยู่สองตัวคือ จำนวนหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง) และความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้นการเพิ่มโหลดแฟคเตอร์ให้สูงขึ้นสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. ลดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด โดยปรับรูปแบบการใช้ไฟฟ้าให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น

2. ลดจำนวนหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลง เพื่อให้สมดุลกับค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่ลดลงซึ่งจะทำให้อัตราส่วนของค่าทั้งสองเพิ่มขึ้น แต่การลดจำนวนหน่วยพลังงานไฟฟ้าจะมีผลต่อการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดไม่มากนัก แต่จะส่งผลโดยตรงต่อค่าไฟฟ้าที่ลดลง

2.9 แนวทางการลดค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟในอัตราปกติ

2.9.1 ประเภทของมาตรการประหยัดพลังงาน

มาตรการต่าง ๆ ในการประหยัดพลังงาน หากพิจารณาในแง่ของการปรับปรุงหรือระดับการลงทุนโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 มาตรการ คือ

1. มาตรการบำรุงรักษาเครื่องจักร (House Keeping) เป็นมาตรการที่ไม่ต้องลงทุนหรือมีการลงทุนน้อยมาก ดำเนินการได้ง่าย เช่น การปรับความตึงสายพาน ปิดไฟในตำแหน่งที่ไม่ใช้งาน การลดของเสีย การจัด lay out โรงงาน เป็นต้น

2. มาตรการปรับปรุงกระบวนการผลิต (Process Improvement) เป็นมาตรการที่มีการลงทุนแต่ลงทุนไม่มาก เช่น การหุ้มฉนวน การนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ประโยชน์ การเปลี่ยนหัวเผา (Burner) ของหม้อไอน้ำ การเปลี่ยนบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

3. มาตรการเปลี่ยนเครื่องจักรหนัก (Major Change of Equipment) เป็นมาตรการที่ต้องมีการลงทุนสูงโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงเครื่องจักรอุปกรณ์หรือกระบวนการผลิตใหม่ เช่น การเปลี่ยนหม้อไอน้ำ การติดตั้งระบบ Cogeneration เป็นต้น

2.9.2 การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน (Energy Audit)

การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน คือการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานเพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงาน โดยทั่วไปการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน มีขั้นตอนปฏิบัติตามลำดับ 4 ขั้นตอน คือ

1. การตรวจสอบการใช้พลังงานจากข้อมูลการใช้พลังงานในอดีต เป็นการรวบรวมและศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในปีก่อน ๆ ที่ทางโรงงานจดบันทึกไว้เพื่อต้องการทราบ ปริมาณพลังงานทุกรูปแบบที่ใช้ ค่าใช้จ่ายพลังงานทุกรูปแบบที่ใช้ ผลผลิตที่ได้ต่อปริมาณพลังงานที่ใช้และรูปแบบของการใช้พลังงานในแต่ละช่วงการผลิต

2. การตรวจสอบการใช้พลังงานโดยการเข้าสำรวจในโรงงาน ขั้นตอนแรกเป็นการสำรวจแผนผังของโรงงานเพื่อให้ทราบถึงลักษณะทั่วไปของโรงงานรวมถึงกระบวนการผลิตและอุปกรณ์ต่างๆ พิจารณาบริเวณที่มีการใช้พลังงานสูง ระบบการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ บริเวณที่เกี่ยวข้อง จากนั้นเป็นขั้นตอนการเข้าสำรวจในโรงงานเพื่อหาตำแหน่งที่มีการสูญเสียพลังงานและต้นเหตุการณ์สูญเสียพลังงาน ทำการสำรวจระบบการใช้พลังงานทุกระบบ ทั้งในช่วงทำการผลิตและหยุดการผลิต รวมทั้งสำรวจมาตรวัดต่างๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์การใช้พลังงานต่อไป

3. การตรวจสอบและการวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียด ผลจากการตรวจสอบขั้นต้น นำข้อมูลมาวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียดโดยการทำสมดุลพลังงาน เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบ อุปกรณ์และปริมาณพลังงานสูญเสีย ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้เมื่อนำมาสร้างรูปแบบการใช้พลังงานจะทำให้ทราบว่าจะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขส่วนใดบ้าง จะทำให้ทราบว่าจะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขส่วนใดบ้าง และวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข คัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมทั้งในด้านเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ต่อไป

4. การทำบัญชีพลังงาน (Energy Auditing) การทำบัญชีพลังงานเป็นการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานการใช้พลังงานเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและหาแนวทางการประหยัดพลังงาน ข้อมูลพื้นฐานได้จากการตรวจสอบการใช้พลังงาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

4.2 การตรวจสอบการใช้พลังงานจากใบเสร็จค่าใช้จ่ายพลังงาน (The billing audit) โดยการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลค่าใช้จ่ายพลังงานและราคาเชื้อเพลิงจากใบเสร็จค่าใช้จ่าย (เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา และค่าเชื้อเพลิงต่าง ๆ) เพื่อเป็นแนวทางในการหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลผลิต (สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม)

4.2 การตรวจสอบการใช้พลังงานโดยศึกษาจากการลงสนามสำรวจ (The field audit) เป็นขั้นตอนหลังจากเสร็จสิ้นการตรวจสอบการใช้พลังงานโดยศึกษาจากใบเสร็จค่าใช้จ่ายพลังงาน เพื่อจัดทำรายละเอียดการใช้พลังงานในขั้นตอนของกระบวนการผลิตของอุปกรณ์และเครื่องจักรต่างๆ

ก) แนวทางการลดค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟในอัตรา TOU

1. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดการสูญเสีย หรือเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้งานเครื่องจักรให้สูง เช่นเดียวกับผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราปกติ
2. เพิ่มโหลดแฟคเตอร์ให้สูงขึ้น
3. ลดสัดส่วนการใช้พลังงานในช่วง Peak ของวันจันทร์ – ศุกร์ ลงให้มากที่สุด
4. เพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง Off peak ให้มากที่สุด

5. ใช้ไฟฟ้าในช่วง Peak ให้สม่ำเสมอเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Peak สูงกว่าที่ควรจะเป็น นอกจากนี้ยังมีการใช้งานหลายวิธีร่วมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการออกแบบ

ข) ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะเป็นค่าที่แสดงถึงการใช้พลังงานในการผลิตต่อผลผลิตที่ได้จากการผลิตนั้น ๆ ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในระยะเวลาหนึ่ง}}{\text{ปริมาณผลผลิตที่ได้ในระยะเวลาเดียวกัน}} \quad (16)$$

โดยทั่วไปพลังงานที่ใช้มักจะประกอบด้วยพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า พลังงานที่ป้อนให้กับกระบวนการผลิตอาจเป็น พลังงานความร้อนจากไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต จากเตาเผา หรือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ ระยะเวลาที่ใช้เก็บข้อมูลอาจกำหนดเป็นวัน เดือน หรือปี ก็ได้ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาดังกล่าว หน่วยของค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้กันมีหลายอย่าง เช่น ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ค่าของความร้อนเป็นเมกะจูล (MJ) หรือ แคลลอรี่ (Cal) หรือเป็นค่าเทียบเท่าน้ำมันดิบ (TOE) ต่อหนึ่งหน่วยผลิต เป็นต้น

ค) การคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ คือ ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของโรงงาน ค่านี้มีประโยชน์ที่จะช่วยบอกว่า โรงงานหนึ่ง ๆ ใช้พลังงานเฉลี่ย เท่าใดในการผลิตสินค้า 1 หน่วย การติดตามและควบคุมค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงาน เป็นวิธีการจัดการอนุรักษ์พลังงานที่ได้ผลดีที่สุดวิธีหนึ่ง ค่าการใช้พลังงานจำเพาะหาได้โดยเอาพลังงานที่โรงงานใช้ ในช่วงเวลาที่สนใจ ซึ่งมักจะเป็นเดือน หารด้วยผลผลิตในเดือนเดียวกัน สามารถคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะของพลังงานไฟฟ้า (SEC_E) หรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะของพลังงานความร้อน (SEC_H) หรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้พลังงานรวมขึ้นอยู่กับประเภทของพลังงานที่สนใจ โดยทั่วไปเป็นค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้พลังงานรวม

$$SEC_{\text{รวม}} = SEC_E + SEC_H \quad (17)$$

ในกรณีที่หาค่าการใช้พลังงานจำเพาะรวมให้แปลงพลังงานไฟฟ้าในหน่วย kWh ให้เป็น MJ โดยคูณด้วย 3.6 และนำมารวมกับ MJ ของพลังงานความร้อน ซึ่งได้จากปริมาณเชื้อเพลิง คูณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้น ๆ หน่วยพลังงานที่นิยมใช้ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะมักจะเป็น MJ หรือ GJ ในขณะที่ปริมาณผลผลิตขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของผลผลิต ที่นิยมใช้มักเป็นหน่วยน้ำหนัก เช่น ตัน เป็นต้น ในกรณีที่โรงงานมีหลายผลผลิต และไม่มีเครื่องวัดการใช้พลังงานของแต่ละผลผลิต ให้ตรวจสอบว่าการใช้พลังงานต่อหน่วยของผลผลิตใดสูงกว่าผลผลิตอื่นมากหรือไม่ ถ้ามีเราสามารถคำนวณโดย ใช้ผลผลิตนั้นมาเป็นตัวแทนคิดเลขเพียงตัวเดียวก็ได้ แต่ถ้าไม่มีความแตกต่างกันที่ชัดเจน การใช้พลังงานของแต่ละผลผลิตใกล้เคียงกัน และหน่วยนับผลผลิตเหมือนกัน เช่น อาจจะจับรวมกันเป็นปริมาณเดียวแล้วคิดเลขก็ได้ ในกรณีที่ผลผลิตหลายอย่าง และหน่วยนับแตกต่างกัน ใช้พลังงานต่างกัน การจับรวมกันจะทำให้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะผิดความหมายไป ให้คำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะจากราคาผลผลิตรวมแทน โดยแทนที่จะใช้ปริมาณผลผลิต ก็ใช้ราคาต่อหน่วย ของแต่ละผลผลิต มาคิดหาราคาสินค้ารวมที่ขายในเดือนนั้น และนำราคารวมนี้มาคิดค่าการใช้พลังงานจำเพาะราคาต่อหน่วยที่นำมาใช้คำนวณควรใช้ค่าเฉลี่ยกลาง ๆ และใช้ตัวเลขนี้คงที่ในทุกเดือน เพื่อไม่ให้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะเบี่ยงเบน

ง) ปัจจัยของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ค่าการใช้พลังงานนั้นจะลดลงเมื่อโรงงานผลิตมากขึ้น เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่แปรผันตามปริมาณการผลิต และส่วนที่คงที่ไม่ขึ้นกับผลผลิต เช่น ส่วนของสำนักงาน เป็นต้น เมื่อปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานต่อหน่วยในส่วนนี้จะลด จึงทำให้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะรวมลดลงนั่นคือในโรงงานเดียวกันยิ่งผลิตมากการใช้พลังงานจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานจำเพาะ ในแต่ละเดือนก็คือปริมาณผลผลิต แต่จะเห็นว่าแม้ในบางเดือนผลผลิตใกล้เคียงกัน การใช้พลังงานหรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะก็มีความแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความยากง่ายของชิ้นงานในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน วัตถุดิบที่นำเข้ามาคุณภาพต่างกัน หรือมีของเสียในเดือนนั้นมากหรือจำนวนวันหยุดมาก ฯลฯ ถ้าเราสามารถควบคุมปัจจัยเหล่านี้ได้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะก็ค่อนข้างสม่ำเสมอ และอยู่ในค่าที่ต้องการ

จ) ประโยชน์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ถ้ามีการเก็บข้อมูลค่าการใช้พลังงานจำเพาะในแต่ละเดือน ข้อมูลของเดือนใหม่ที่เข้ามาจะทำให้รู้ว่าการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น หรือ แย่ลง และถ้าแย่ลง คือสูงกว่าค่าเฉลี่ยที่เคยทำได้ ก็จะต้องอธิบาย หรือหาสาเหตุมาให้ได้ว่าความสิ้นเปลืองที่เกิดขึ้น เกิดจากอะไร บริษัทขนาดใหญ่หลายแห่งโดยเฉพาะอย่างยิ่ง บริษัทญี่ปุ่นจะกำหนดให้แต่ละ

หน่วยผลิตย่อยหรือแต่ละแผนกมีเครื่องวัดการใช้พลังงานของตัวเองได้ และคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะของตัวเองเทียบกับชิ้นงาน หรือ Output ที่หน่วยงานนั้นทำได้ในแต่ละเดือน คือมีการเก็บข้อมูลค่าการใช้พลังงานจำเพาะกันทุกระดับ ตั้งแต่ระดับแผนก จนถึงค่าการใช้พลังงานจำเพาะรวมของบริษัท ทุกแผนกหน่วยงานจะต้องรายงานค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ของตัวเองอย่างสม่ำเสมอในเดือนที่ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของบริษัทโด่งขึ้นมาก็จะดูรู้ว่าเกิดจากจุดไหน สิ่งที่ต้องทำไปพร้อม ๆ กับการติดตามเฝ้าระวังค่าการใช้พลังงานจำเพาะก็คือ การตั้งเป้าหมายหรือ Targeting จากข้อมูลในอดีตจะมีทั้งเดือนที่การใช้พลังงานดี และบางเดือนที่ไม่ดีหลายบริษัทใช้วิธีแบ่งเป็นเดือนที่ใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย และเดือนที่ใช้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ถ้าสนใจเดือนที่ดีกว่าค่าเฉลี่ยแล้ว หาค่าเฉลี่ยของกลุ่มดีนี้ตั้งเป็นเป้าหมายของแต่ละหน่วยงานให้ปรับปรุงไปสู่ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ดีกว่า ก็จะทำให้การใช้พลังงานของทั้งบริษัทปรับปรุงขึ้นด้วย จากการรวบรวมและวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน บางโรงงานสามารถบรรลุเป้าการลดการใช้พลังงานต่อหน่วยลงได้ 3-5% โดยไม่ต้องลงทุน เปลี่ยนอุปกรณ์ใดเลย ทั้งนี้เพราะการใช้พลังงานนั้นเกิดจากองค์ประกอบ 2 ส่วน คือประสิทธิภาพเครื่องจักรอุปกรณ์เอง และการใช้งาน

ฉ) การจัดการไฟฟ้าแสงสว่าง

การประหยัดพลังงานหรือลดการสูญเสียในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง สามารถกระทำได้โดยการให้ความสนใจองค์ประกอบหลาย ๆ อย่างด้วยกัน ซึ่งไม่เฉพาะแต่ด้านไฟฟ้าเท่านั้น แต่ต้องพิจารณาถึงชนิดของงานที่กระทำและพื้นที่ที่กระทำงานนั้น ๆ หลักการสำคัญที่ทำให้การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างมีประสิทธิภาพสูงมีดังนี้

1. การทำความเข้าใจพื้นที่ที่จะใช้แสงสว่างว่าเป็นงานชนิดใด ต้องการระดับความสว่างสูงต่ำมากน้อยเพียงใด ในขณะเดียวกันก็พิจารณาหรือเลือกสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ ด้วยเช่น การใช้สีโทนสว่างเพื่อช่วยสะท้อนแสง

2. การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างอย่างเหมาะสมสำหรับงานแต่ละประเภท ระบบแสงสว่างจะต้องได้รับการออกแบบและติดตั้งเพื่อให้การประกอบกิจกรรมต่างๆ ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและทำให้สภาพแวดล้อมทั่วๆ ไปของการมองเห็นมีความปลอดภัย

3. การใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างอย่างเหมาะสม เพื่อการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย เช่น การใช้แสงสว่างอย่างถูกต้องในสถานที่ที่ต้องการ ในเวลาที่ต้องการ

4. การซ่อมบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เมื่อใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างไปเป็นระยะเวลานานๆ จะพบว่าความสว่างจะลดลงตามระยะเวลา เนื่องจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ความสกปรกที่เกิดขึ้นกับโคมไฟฟ้า หรือพื้นเพดานฝาผนังห้องสกปรก

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิพรรธ, (2539) ศึกษาการลดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้ระบบเก็บน้ำแข็งในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งรวมถึงการออกแบบให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของโรงงานอุตสาหกรรมทั้ง 2 แห่ง ซึ่งได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกจัดทำบัญชีพลังงาน (Energy Audit) พบว่าโรงงาน ณรงค์ซีฟูดส์ จำกัด และยูเนียนโพรเซ่นโปรดักส์ จำกัดมีการ ใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดช่วง On Peak เฉลี่ย 100 และ 1750 กิโลวัตต์, ช่วง Partial Peak 1180 และ 1900 กิโลวัตต์ พลังงานไฟฟ้ารวม 7,520,000 และ 1,400,000 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ตัวประกอบภาระเฉลี่ย 0.74 และ 0.8 ค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานไฟฟ้า 11,846,000 และ 21,440,000 บาทต่อปี สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็น 84.5% และ 68% ระบบแสงสว่าง 4.5% และ 3%, สำนักงาน 2.7% และ 3%, COP ของระบบทำความเย็น 3.3 และ 2.6 ตามลำดับ ส่วนที่สองนำข้อมูลที่เก็บได้มาออกแบบระบบเก็บ ความเย็นในรูปน้ำแข็งแบบ Full, Partial และ Modified Demand-limited Storage พบว่า โรงงานณรงค์ซีฟูดส์ จำกัด โดยมีการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดช่วง On Peak เฉลี่ยลดลง 10%, 5% และ 10%, ช่วง Partial Peak เฉลี่ยลดลง 27.7%, 22.2% และ 16.7% ค่าใช้ จ่ายพลังงานไฟฟ้าลดลง 3.2%, 1.8% และ 3.3%, ค่าตัวประกอบ ภาระเพิ่มขึ้น 1.4%, 4.0% และ 10.8% โรงงาน ยูเนียนโฟรเซ่นโปรดักส์ จำกัด มีการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดช่วง On Peak เฉลี่ยลดลง 3.5%, 1.8% และ 3.5%, ช่วง Partial Peak เฉลี่ยลดลง 30%, 10% และ 50% ค่าใช้ จ่ายพลังงานไฟฟ้าลดลง 1.3%, 0.3% และ 0.2%, ค่าตัวประกอบภาวะเพิ่มขึ้น 1.3%, 2.5% และ 5% ระบบเก็บความเย็นไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับ โรงงานณรงค์ซีฟูดส์ จำกัด และ โรงงานยูเนียนโฟรเซ่นโปรดักส์ จำกัด ที่จะนำมาใช้เนื่องจากมีอัตราผลตอบแทนลงทุนภายในค่อนข้างต่ำ และระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 15 ปี

จุติพรรษ์,(2543) ศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในอุตสาหกรรมอาหารโดยอุตสาหกรรมอาหารที่ศึกษามี 4 ประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมน้ำมันจากพืช อุตสาหกรรมอาหารกระป๋องและอุตสาหกรรมนมโดยใช้วิธีการรวบรวมข้อมูลค่าดัชนีจากวิทยานิพนธ์งานวิจัยที่ผ่านมา รวมถึงการสำรวจข้อมูล จากผลการศึกษาพบว่า อุตสาหกรรมน้ำตาลมีค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะอยู่ในช่วง 16.748 ถึง 33.624 GJ/ton sugar มีค่าเฉลี่ย 25.186 GJ/ton sugar เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีเฉลี่ยแล้วมีแนวโน้มลดลง แต่ยังมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีของประเทศอื่น อุตสาหกรรมน้ำมันจากพืชพบว่า มีช่วงของค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะกว้างมากคืออยู่ระหว่าง 4.536 ถึง 80.88 GJ/ton product ไม่สามารถสรุปแนวโน้มค่าดัชนีได้ เนื่องจากมีข้อมูลน้อยมาก อุตสาหกรรมอาหารกระป๋องแบ่งเป็นอุตสาหกรรมปลากระป๋อง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะอยู่ระหว่าง 1.995 ถึง 6.607 GJ/ton product มีค่าเฉลี่ย 4.301 GJ/ton

product มีแนวโน้มค่าดัชนีลดลง ส่วนอุตสาหกรรมผัก ผลไม้กระป๋อง พบว่า มีค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.524 ถึง 3.918 GJ/ton product มีค่าเฉลี่ย 2.221 GJ/ton product มีแนวโน้มค่าดัชนีไม่แน่นอนและโดยทั่วไปค่าดัชนีของประเทศไทยยังมีค่าสูงกว่าค่าดัชนีมาตรฐานโลก สำหรับอุตสาหกรรมนมเป็นอุตสาหกรรมที่มีค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะต่างกันมากขึ้นอยู่กับการผลิตและการแปรรูปของผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลของ จำนวน 2 โรงงานของโรงงานนมพบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.91 GJ/ton milk โดยมีค่าดัชนีอยู่ระหว่าง 1.83 ถึง 3.99 GJ/ton milk แนวโน้มของการพัฒนาและการเปรียบเทียบค่าดัชนีของอุตสาหกรรม ชนิดนี้ไม่ชัดเจน

ถนอม ,(2546). ได้ศึกษาการตรวจประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดมาประยุกต์ใช้ในการผลิตถั่งเหลืองฝักสดแช่เยือกแข็ง พบว่าในกระบวนการผลิตมีการสูญเสียทางสิ่งแวดล้อมอยู่ 6 ประเด็น ได้แก่ การใช้น้ำ การใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง กากอุตสาหกรรม เสียงรบกวน และกลิ่น เมื่อประเมินการใช้น้ำเป็นประเด็นสูญเสียและสามารถทำการปรับปรุงแก้ไข การนำน้ำล้างสายพานแช่เยือกแข็งมาใช้ล้างวัตถุดิบเบื้องต้นซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้น้ำลง 2,750 ลบ.ม./ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 2.5 ปี

พัชรี , (2545). ศึกษาประเมินการนำเทคโนโลยีสะอาดมาใช้ในอุตสาหกรรมนม 3 โรงงาน พบว่าการใช้น้ำโรงงานขนาดใหญ่มีค่าสูงสุด 7.95 ลบ.ม./ตันน้ำนมดิบ และมีปริมาณน้ำเสียสูงสุด 6.11 ลบ.ม./ตันน้ำนมดิบ โดยน้ำส่วนใหญ่เกิดจากการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องมือ และปริมาณน้ำนมสูญเสียสูงสุดอยู่ที่ โรงงานขนาดใหญ่สูญเสียร้อยละ 6.11

เนตรนภิส ,(2547).การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดการใช้น้ำในอุตสาหกรรมอาหาร โดยมุ่งเน้นแนวทางเชิงป้องกันด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อเกิดประโยชน์ทั้งด้านธุรกิจและสิ่งแวดล้อมมากที่สุดทั้งด้าน การใช้ทรัพยากร พลังงาน หรือวัตถุดิบอย่างมีประสิทธิภาพ และการป้องกันหรือลดการเกิดของเสียหรือมลพิษ ซึ่งแนวทางการดำเนินการเทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อลดการใช้น้ำที่ฟุ่มเฟือยที่ศึกษาโดยสถาบันสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิต ดังนี้ การเตรียมวัตถุดิบ การทำความสะอาด การปฏิบัติงานและนโยบายด้านความปลอดภัย การฟอกขาว การใช้น้ำในการนำความร้อน/หล่อเย็น การแช่แข็ง และ นโยบายการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและส่งผลไปถึงการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งในแง่การประหยัดทรัพยากรน้ำ และการลดผลกระทบจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ

กรมควบคุมมลพิษ,(2548).ได้เสนอแนวทางปฏิบัติการเพิ่มศักยภาพในการจัดการมลพิษจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมอาหารทะเลเยือกแข็ง ซึ่งตัวอย่างของการวิเคราะห์ และแนวทางในการปรับปรุงทำการวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลโรงงานที่ใช้ในการศึกษานำร่องในพื้นที่จังหวัดสงขลา โดยกระบวนการผลิตและปัญหาสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

จำพวก กุ้ง ปลา ปลาหมึก และปู นำไปตัดแต่งและแปรรูป โดยจะเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ซึ่งปัญหาจากกระบวนการผลิต เป็นจำพวกน้ำเสีย กากของเสีย กลิ่น โดยการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมและการแก้ไขจากกระบวนการผลิต ประสิทธิภาพการใช้น้ำของโรงงานมีค่าต่ำสุด 48.3 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลิตภัณฑ์ และมากที่สุด 69.2 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลิตภัณฑ์ เฉลี่ย 59.1 ลูกบาศก์เมตรต่อตันผลิตภัณฑ์ การใช้ปริมาณวัตถุดิบมีความแปรผันทุกเดือน ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้ไฟฟ้าในการผลิตเพื่อการเก็บวัตถุดิบ ปริมาณน้ำเสีย ความสกปรกและการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย แนวทางการลดการใช้พลังงานสามารถปฏิบัติตั้งอุณหภูมิในห้องเย็นให้เหมาะสมกับวัตถุดิบที่แช่ เนื่องจากการลดอุณหภูมิลง 1 องศาเซลเซียส จะใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 3 % ในช่วงที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส ถึง -40 องศาเซลเซียส และส่วนปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการล้างวัตถุดิบ อุปกรณ์และพื้นที่การผลิตสามารถจัดการโดยพัฒนาบุคลากรในการตัดแต่งและทำความสะอาด

W. BOONSUPTHIP AND D.R. HELDMAN, (2007) ศึกษาคุณสมบัติของอาหารแช่แข็งระหว่างการแข็งพบว่า สัดส่วนน้ำของการแข็ง Frozen water fraction (FWF) จะเป็นตัวแปรที่สำคัญและสร้างแบบจำลองจากความเข้มข้นและโมเลกุลของผลิตภัณฑ์เพื่อเปรียบเทียบกับการทดลอง FWF โดยอุณหภูมิแช่แข็งที่ลดลงมีผลต่อผลิตภัณฑ์อาหารรวมถึงน้ำหนักโมเลกุลของน้ำหรือสารละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยมีค่าความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 μmol ต่อ 100 g อาหาร

กัญญทอง,(2551). ได้ทำการศึกษาการใช้ระบบสารสนเทศในการจัดการคลังสินค้าของแช่แข็งเนื่องจากมีผลิตภัณฑ์หลายชนิด โดยการออกรหัสสินค้า ประเภทและตำแหน่งบ่งชี้ พบว่า การใช้ระบบสารสนเทศในการจะทำให้ประหยัดเวลาการรับ-จ่ายภายในห้องสินค้าได้ถึง 67.39% ทำให้ลดภาระการใช้ห้องเย็นได้

กรมโรงงานอุตสาหกรรม, (2551). ได้ทำการศึกษาหลักการปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดสำหรับอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และป้องกันมลพิษ ซึ่งได้กำหนดปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต 6 ด้าน คือ ผลผลิต การใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้น้ำ การใช้น้ำแข็ง การใช้คลอรีน และของเสียที่เกิดขึ้น พบว่า ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ กุ้ง ปลาหมึก ซูริมิ และปลา มีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 1,315.61 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน การใช้น้ำ 44.6 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน การใช้น้ำแข็ง 2.46 ตันต่อตันผลิตภัณฑ์ การใช้คลอรีน 0.73 กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์ คุณภาพน้ำเสียมีภาระบีโอดี 76.17 กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์ และภาระซีโอดี 115.04 กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์ โดยผลผลิตไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยได้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน

นุชจิเรศ,(2553). ศึกษาพลังงานทางเลือกในอุตสาหกรรมอาหาร พบว่า การใช้พลังงานทดแทนจะช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยพลังงานทางเลือกที่มีความเหมาะสมในการใช้ร่วมกับพลังงานหลักคือพลังงานชีวมวล

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบสอบถามโรงงานและการสำรวจโรงงาน (ผนวก ก)
2. เครื่องมือและอุปกรณ์วัดประสิทธิภาพเครื่องจักร
   - 2.1 เครื่องมือวัดกระแสและกำลังไฟฟ้า(Digital Power Meter) รุ่น C.A.8210
   - 2.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
   - 2.3 เกจวัดความดัน
   - 2.4 เครื่องมือวัดอื่นๆ วัดขนาดอุปกรณ์และพื้นที่

3.2 สถานที่ทำวิจัย

โรงงานอาหารแช่แข็ง บริษัท ไทยเดลมาร์ จำกัด สถานที่ตั้งอาคาร : 591 หมู่ 2 ซ.หาดอัมรา ถ.ท้ายบ้าน ต.ท้ายบ้าน อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10280

3.3 การดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อสร้างแบบสอบถาม ดังภาคผนวก ก
   - 1.1 สร้างแบบทดสอบโดยปรึกษากับเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิศวกรรมของโรงงาน

     ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

     ข้อมูลกระบวนการผลิต

     ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง 12 เดือน

     ข้อมูลการใช้น้ำย้อนหลัง 12 เดือน

     ข้อมูลการผลิตย้อนหลัง 12 เดือน

     ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงอื่นๆ

     ข้อมูลการใช้น้ำแข็งหรือการผลิตน้ำแข็ง

     ข้อมูลการใช้คลอรีน

     ข้อมูลเครื่องจักรในโรงงานพร้อมข้อมูลการวิเคราะห์การใช้พลังงาน

     ข้อมูลเชิงนโยบายการใช้พลังงานทดแทนและการลดของเสีย

     ข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานในโรงงาน

2. ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามและร่วมสำรวจกับวิศวกรพลังงานของโรงงาน

3. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามเพื่อกำหนดแนวทางการนำเทคโนโลยีสะอาดไปใช้ในโรงงานอาหารแช่แข็ง

4. ทำการเก็บข้อมูลเชิงเทคนิค เช่น อุณหภูมิ ความดัน พลังงานไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องจักรหรือกระบวนการผลิต

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน

4.2 ทำการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรม เช่น สมรรถนะของระบบทำความเย็น COP

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลนำข้อมูลที่สำรวจในโรงงานมาทำสมดุลพลังงานและสมดุลมวลและใช้เทคโนโลยีสะอาดวิเคราะห์แต่ละปัจจัยในการเพิ่มประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขการประเมินประสิทธิภาพของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

4.4 เสนอมาตรการประหยัดพลังงานหรือการปรับปรุงเครื่องจักรให้เหมาะสมในการผลิตที่มีประสิทธิภาพ

5. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์

5.1 ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period = PB)

ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุน/ รายได้ต่อปี

5.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value = NPV)

ประเมินเงินลงทุนเริ่มต้น

กำหนดอายุโครงการ 5 ปี

คำนวณกระแสเงินสดรับต่อปี

อัตราลดค่า (Discount rate) 10 %

ตาราง PVIFA ภาคผนวก ช

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสุทธิตลอดอายุโครงการลงทุน(PV)-เงินลงทุน เริ่มแรก

5.3. อัตราผลตอบแทนจากโครงการลงทุน (Internal rate of return = IRR)

คำนวณ PV Factor = เงินลงทุนเริ่มต้น /กระแสเงินสดรับต่อปี

เปิดตาราง PVIFA และ อายุโครงการ

6. จัดทำการสรุปผลและจัดทำรายงาน

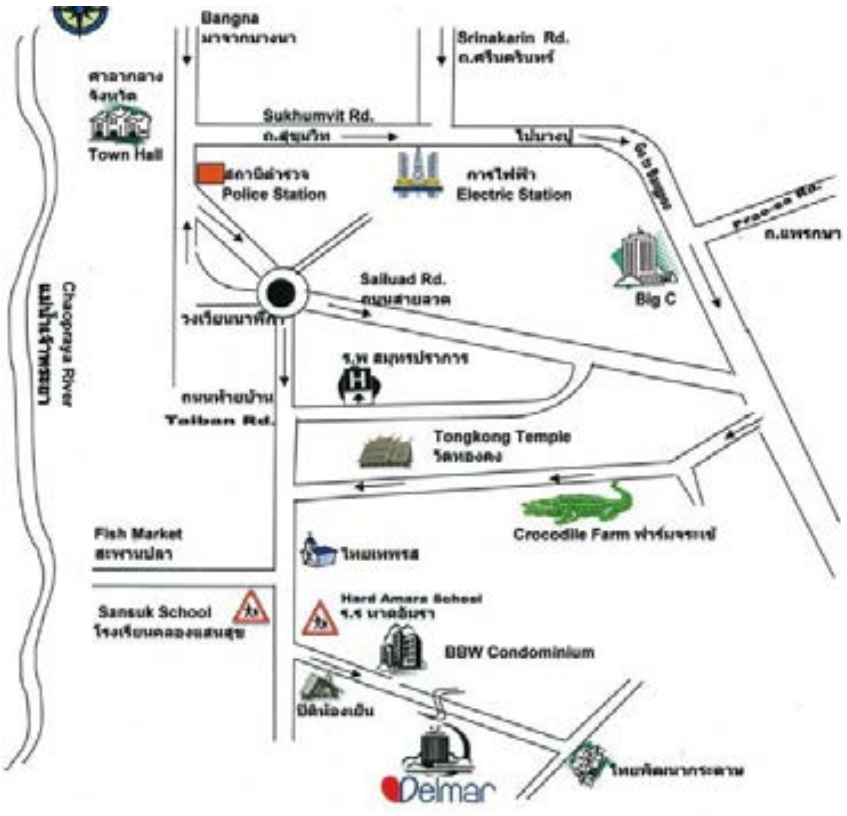
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ข้อมูลโรงงานเบื้องต้น

1. ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบการผลิตของโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง

จากการศึกษาระบบโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก บริษัท ไทยเดลมาร์ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทร่วมทุนระหว่างญี่ปุ่นและไทย ก่อตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน 2532 ประกอบธุรกิจผลิตและจำหน่ายอาหารทะเลแช่แข็งทั้งภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ ตั้งอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ



รูปที่ 4-1 แสดงที่ตั้งตำแหน่งของโรงงาน

จากรูปที่ 4-1 ข้อมูลการสำรวจตำแหน่งของสถานที่ตั้งโรงงานเป็นโรงงานที่ภูมิประเทศที่มีความเหมาะสมเป็นแหล่งใกล้วัตถุดิบและใกล้สถานที่ส่งออก ซึ่งทำให้โรงงานมีการจัดการระบบปัจจัยจากการขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพมีการใช้พลังงานในภาคขนส่งวัตถุดิบที่ต่ำ

4-2 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบโรงงานได้แบ่งแยกข้อมูลตาม ค่าปัจจัยหลักที่เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็งทั้ง 6 ด้านนี้ ได้แก่

1. ชนิดผลิตภัณฑ์และปริมาณวัตถุดิบ

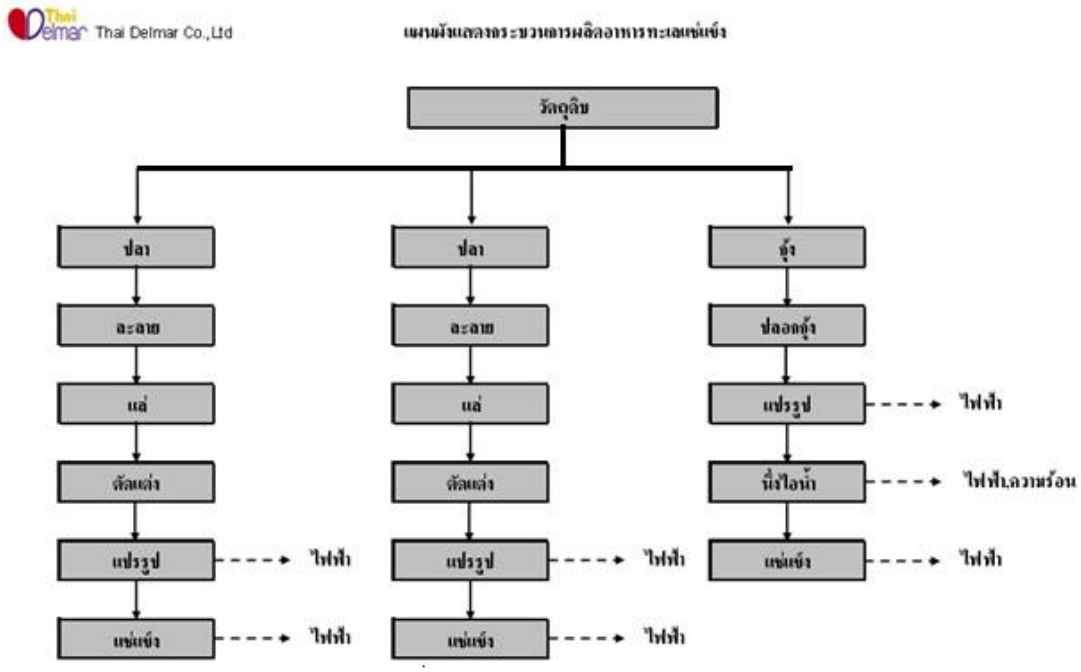
ผลิตภัณฑ์ของโรงงานที่ทำการศึกษา จะเป็นปลาแช่แข็งดังรูปที่ 4-2 และกุ้งแช่แข็งเป็นผลิตภัณฑ์หลักโดยปัจจุบันมีการพัฒนาถึงการผลิตอาหารสำเร็จรูป เช่น ฟิชบล็อค และ ฟิชพอร์ชั่น ดังรูปที่ 4-3 ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่เพิ่มขึ้นมา เช่น การชุบน้ำแป้ง การชุบเกล็ดขนมปัง ดังรูปที่ 4-4

รูปที่ 4-2 แสดงผลิตภัณฑ์แซลมอนฟิเลท์ชนิดแล่หนังและไม่แล่หนัง

รูปที่ 4-3 แสดงผลิตภัณฑ์ฟิชบล็อค และ ฟิชพอร์ชั่น

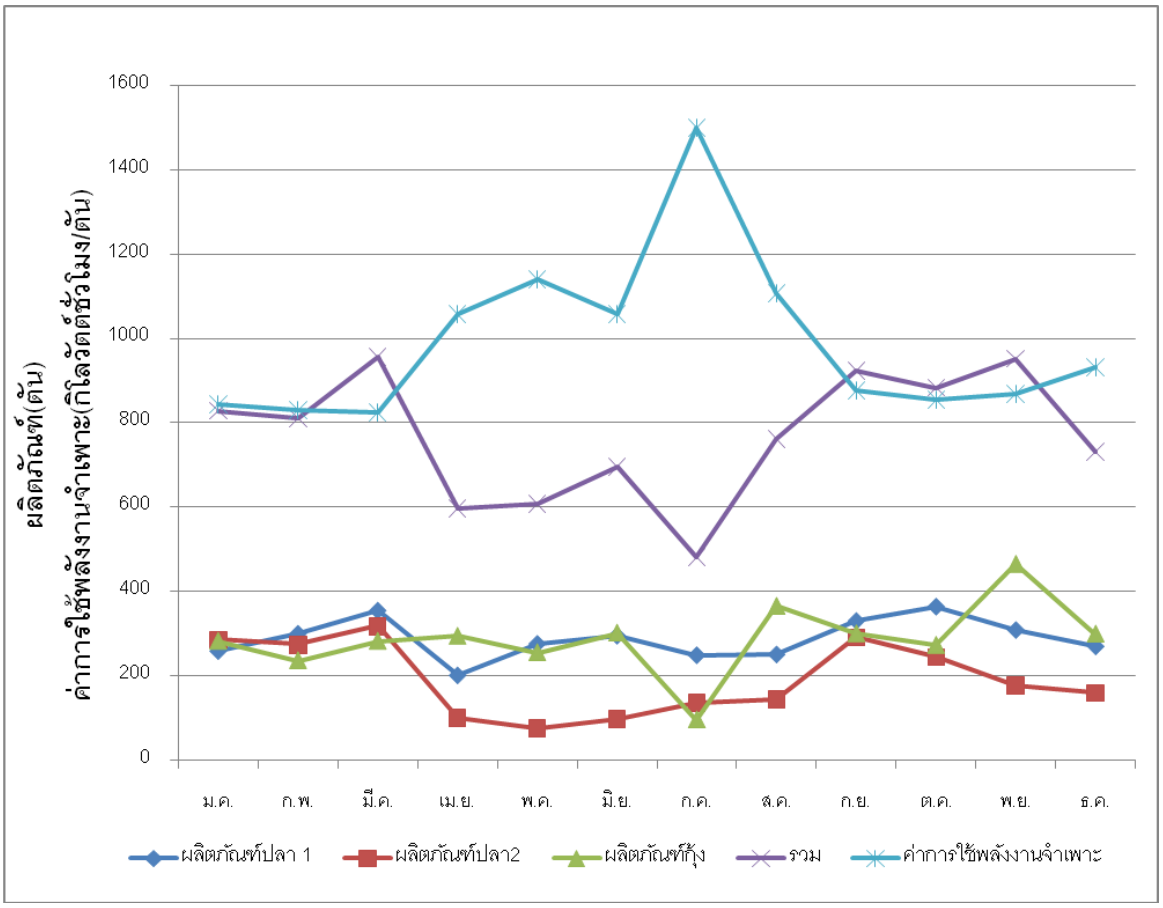
รูปที่ 4-4 แสดงผลิตภัณฑ์ Shrimp Butterfly และ Shrimp Patty

โดยระบบการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น 3 รายการผลิต คือ 1) AP 1 รายการผลิตปลาฟิชบล็อค (Fish Block) 2) AP 2 รายการผลิตปลาฟิชพอร์ชั่น(Fish Portion) และ 3) AP 3 รายการผลิตกุ้ง (Shrimp Patty) ดังรูปที่ 4-5 จากข้อมูลที่สอบถามโรงงานพบว่า อัตราของการผลิตจะอยู่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ



รูปที่ 4-5 แสดงอัตราการผลิตแต่ละผลิตภัณฑ์ในโรงงาน

การผลิตจะผลิตตามการสั่งซื้อซึ่งอัตราการผลิตจะไม่คงที่ สายการผลิตที่ 1 เป็นปลาการผลิตเฉลี่ยต่อปี 288.40 ตันต่อเดือน สายการผลิตที่ 2 เป็นปลาการผลิตเฉลี่ย 193.21 ตัน ต่อเดือน รวมการผลิตปลา 481.61 ตันต่อเดือน ส่วนกุ้ง สายการผลิตที่ 3 การผลิตเฉลี่ย 288.11 ตันต่อเดือน



รูปที่ 4-6 กราฟอัตราการผลิตในปี 2554 แต่ละผลิตภัณฑ์และค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption,SEC)

2. ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและการใช้เชื้อเพลิง

การวิเคราะห์การใช้พลังงานใช้ข้อมูลจากใบแจ้งหนี้พลังงานจะมี 2 ส่วน 1) น้ำมันดีเซล 2) ไฟฟ้า ซึ่งพลังงานทั้งสองส่วนจะนำมาพิจารณาในภาพรวมเพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาพลังงานทดแทน

ตารางที่ 4-1 พลังงานที่ใช้ในโรงงาน ปี 2554

พลังงาน	จำนวน			ราคา	
	หน่วย	เมกะจูล	เปอร์เซ็นต์	บาท	บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง
ไฟฟ้า	8,869,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง	31,928,400	90.42	30,279,177	3.41
น้ำมันดีเซล	84,000 ลิตร	3,059,280	9.58	2,604,000	3.06

หมายเหตุ: ค่าความร้อนไฟฟ้า 3.60 เมกะจูลต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

ค่าความร้อนน้ำมันดีเซล 36.42 เมกะจูลต่อลิตร และราคาน้ำมันดีเซล 31 บาทต่อลิตร

จากตารางที่ 4-1 การใช้พลังงานต่อผลผลิตพบว่า พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของโรงงานมีค่าเท่ากับ 9,155,444 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี สามารถผลิตภัณฑ์ได้ 9,236.63 ตันต่อปี เมื่อพิจารณาสมรรถนะการใช้พลังงานต่อผลผลิตมีค่า 991.2 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน หรือถ้าพิจารณาเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวพบว่า พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตจะมีค่า 960 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อตัน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไฟฟ้าดังตารางที่ 4-2 และ 4-3 ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่า ค่าเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2551 และ ปี พ.ศ. 2546 ทั้งในการผลิตปลาและกุ้ง ซึ่งเมื่อพิจารณาส่วนใหญ่เป็นการผลิตปลาแล่ การใช้พลังงานอยู่ในกลุ่มที่ใช้พลังงานต่ำคือ 991.2 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน หรือ การใช้ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวมีค่า 960 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อตัน มีค่าต่ำกว่าในปี 2551 ประมาณ 5.69 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าพิจารณาการใช้พลังงานทั้งหมดยังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปี พ.ศ. 2551 ประมาณ 2.63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นแนวโน้มการพัฒนาระบบการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4-2 แสดงปริมาณการใช้พลังงานและอื่นๆ ที่ใช้ในการผลิตปลาแล่

ประเด็น	หน่วย	กลุ่มปลาแล่ ค่าต่ำสุด-สูงสุด
ผลผลิต	%	46.29-55.82
การใช้ไฟฟ้า	kWh/ton	1,017.98-1,546.12
การใช้น้ำ	M^3/ton	2,578-2,927
การใช้น้ำแข็ง	Ton/ton	0.64-3.33
การใช้คลอรีน	kg/ton	0.20-1.24
ภาระบีโอดี	kg/ton	47.51-105.73
ภาระซีโอดี	kg/ton	82.55-134.92

หมายเหตุ: เก็บข้อมูลช่วงมกราคม-มีนาคม 2551

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2551

ตารางที่ 4-3 แสดงปริมาณการใช้พลังงานที่ใช้ในโรงงานค่าปัจจัยหลักฯที่ใช้เป็นแนวทางในการเทียบเคียงสมรรถนะด้านการใช้ไฟฟ้า น้ำและน้ำแข็ง

	กุ้ง			ปลาหมึก			ซูริมิ		
	การใช้ไฟฟ้า (kWh/ton)	การใช้น้ำ (m^3/ton)	การใช้น้ำแข็ง (ton/ton)	การใช้ไฟฟ้า (kWh/ton)	การใช้น้ำ (m^3/ton)	การใช้น้ำแข็ง (ton/ton)	การใช้ไฟฟ้า (kWh/ton)	การใช้น้ำ (m^3/ton)	การใช้น้ำแข็ง (ton/ton)
ค่าเฉลี่ยจากข้อมูลปี 2551	1,315	44	2.4	952	31	1.9	925	41	2.1
ค่าต่ำสุดจากข้อมูลปี 2551	1,132.95	28.51	0.86	827.49	25.45	0.95	727.36	26.18	1.28
ค่าต่ำสุดจากข้อมูลปี 2546	1,324.08	30.6	2.1	-	-	-	610.0	32.6	1.0
ค่าต่ำสุดจากข้อมูลปี 2546 และปี 2551	1,132	28	0.8	827	25	0.9	610	26	1.0
จำนวนสถานประกอบการที่เก็บข้อมูลปี 2551	5			5			4		
จำนวนสถานประกอบการที่เก็บข้อมูลปี 2546	6			ไม่มีข้อมูล			3		
จำนวนสถานประกอบการทั้งหมด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550)	57			22			18		

ที่มา: ข้อมูลปี 2546 เป็นข้อมูลจากการจัดทำหลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษครั้งที่ 1 ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

การใช้ไฟฟ้าโรงงาน

การใช้ไฟฟ้าของโรงงานเป็นแบบ TOD และมีหม้อแปลง 3 ลูก

ลูกที่ 1 = 1,000 KVA ใช้สำหรับไฟฟ้าแสงสว่างทั้งโรงงานรวมทั้งใน Line ผลิต

ลูกที่ 2 = 2,000 KVA ใช้สำหรับเครื่องจักรในการผลิต เช่น Compressor ห้องเย็น, ห้องเก็บสินค้า

ลูกที่ 3 = 1,000 KVA ใช้สำหรับบ่อบำบัดน้ำเสีย ห้องเย็นเก็บวัตถุดิบเริ่มต้น

รวมทั้งหมด 4,000 KVA

ซึ่งพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่จะใช้ในส่วนการผลิตและการทำความเย็นและห้องเก็บสินค้า ซึ่งจากข้อมูลสถิติเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน สามารถแบ่งพลังงานเป็นเปอร์เซ็นต์ด้วยกันดังนี้

1. พลังงานจากแสงสว่างประมาณ 15%
2. พลังงานจากเครื่องปรับอากาศสำนักงานประมาณ 5%
3. พลังงานจากเครื่องทำความเย็นประมาณ 40%
4. พลังงานจากเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตประมาณ 30%
5. พลังงานจากระบบอัดอากาศประมาณ 5%
6. พลังงานจากส่วนอื่นๆประมาณ 5%

ตารางที่ 4-4 การใช้ไฟฟ้า แบบ (Time of Day Rate:TOD) และการพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD อัตราตามช่วงเวลาของวัน (TOD)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท / กิโลวัตต์)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท / หน่วย)
	Peak	Partial	Off Peak	
1. แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	224.30	29.91	0	2.7441
2. แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	285.05	58.88	0	2.7815
3. แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	332.71	68.22	0	2.8095

Peak : เวลา 18.30 - 21.30 น. ของทุกวัน

Partial : เวลา 08.00 - 18.30 น. ของทุกวัน (ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า คิดเฉพาะส่วนที่เกิน Peak)

Off Peak : เวลา 21.30 - 08.00 น. ของทุกวัน

ที่มา http://www.pea.co.th/th/rates/rates_tou_tod_ft.htm (2555)

ข้อมูลการลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าใช้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง 12 เดือนในปี 2554 ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และกราฟแสดงค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดรายเดือนดังแสดงในรูปที่ 4.8 การใช้ไฟฟ้าเป็นแบบ TOD แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 8,869,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 30,279,177 บาท/ปี

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2,136 กิโลวัตต์

ค่าตัวประกอบโหลดเฉลี่ย 45.39 เปอร์เซ็นต์

จำนวนหม้อแปลง 3 หม้อแปลง

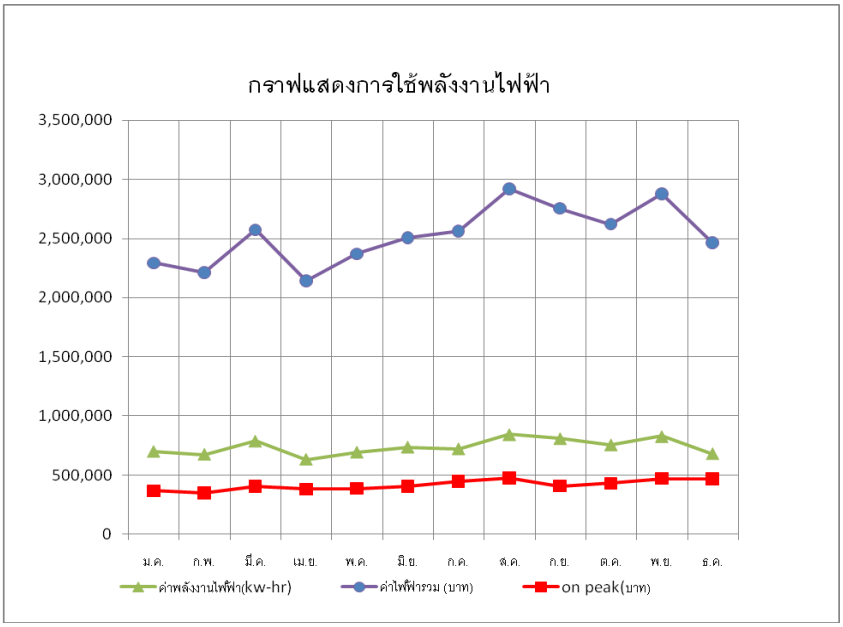
- ลูกที่ 1 = 1,000 KVA
- ลูกที่ 2 = 2,000 KVA
- ลูกที่ 3 = 1,000 KVA

แรงดันไฟฟ้า 400 โวลต์

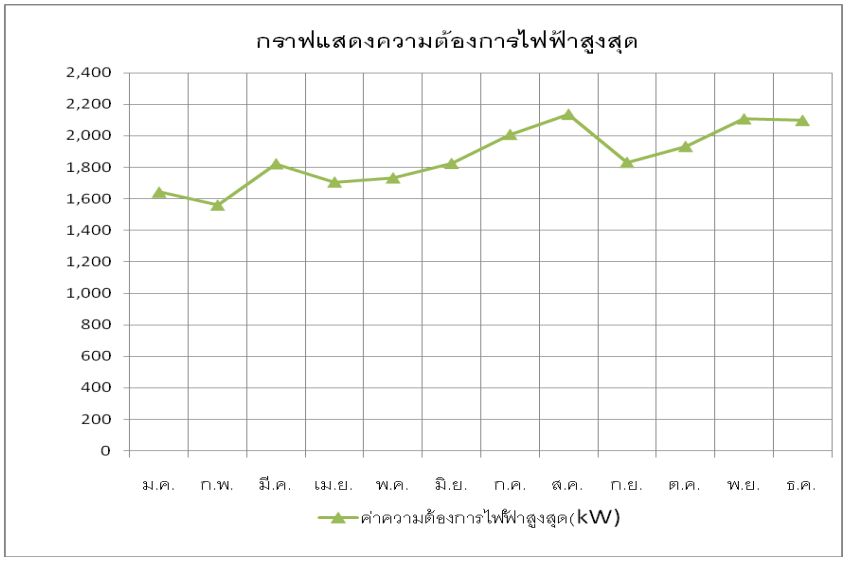
พื้นที่การใช้พลังงาน

- พื้นที่ใช้ในการผลิต 7,500 ตารางเมตร (ไม่รวมสำนักงาน)

พื้นที่สำนักงาน	3,000 ตารางเมตร
รวม	10,500 ตารางเมตร
ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า	844.67 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร ปี
ราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	3.41 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง



รูปที่ 4-7 กราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนในปี 2554



รูปที่ 4-8 กราฟแสดงค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดรายเดือนในปี 2554

4.3 กระบวนการผลิต

การวิเคราะห์รายการผลิตที่ 1 เป็นกระบวนการแล่ ตัดแต่งปลา และทำปลาบล็อค

กระบวนการแร่ปลาและตัดแต่งเป็นขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบซึ่งวัตถุดิบจะมาในรูปของปลาแช่ในน้ำแข็ง หรือแช่แข็งมาจากห้องเย็นของเรือ โดยจะละลายน้ำที่อุณหภูมิ 25°C และใช้น้ำธรรมดาล้าง โดยจะทำการทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง และนำกลับมาล้างน้ำอีกครั้ง ต่อไปทำการแล่และลอกหนังปลา ตัดแต่งเนื้อปลาภายในห้องควบคุม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และส่งผ่านสายพานไปสู่เครื่องเอ็กซเรย์เพื่อตรวจหาโลหะต่อไป และนำปลาเข้าบล็อก ซึ่งกระบวนการเตรียมวัตถุดิบข้างต้นจะมีการใช้พลังงานน้อยส่วนมากจะเป็นระบบการใช้น้ำ ทำให้เมื่อพิจารณามาตรการประหยัดน้ำจำเป็นต้องนำมาใช้ในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบข้างต้น

จากกระบวนการตัดแต่งปลา เนื้อปลาที่เป็นชิ้นจะนำมาใส่บล็อก และนำไปเลียงไว้ในตู้แช่แข็งแบบเพลทนอน ซึ่งในตู้จะมีชั้นเพลททั้งหมด 16 ชั้น และมีอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4-9 ซึ่งในรายการผลิตที่ 1 จะมีตู้แช่แข็ง 5 ตู้ โดยใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ตัว ดังรูปที่ 4-9 และ 4-10 ซึ่งเครื่องจักรใช้กำลังงานประมาณ 410 kw จากคอมเพรสเซอร์และตู้แช่ และก่อนนำเข้ากระบวนการบรรจุจะต้องตรวจโลหะอีกครั้งและเก็บไว้ในห้องเย็น

จากการสำรวจในสายการผลิตจะมีการใช้พลังงานส่วนใหญ่ในส่วนแช่แข็งโดยมีตู้แช่แข็งแบบเพลทนอน ขนาด 1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง กำลังไฟฟ้าสายผลิตมีค่า 2.5 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตู้ ใช้คอมเพรสเซอร์ 220 กิโลวัตต์ รวมกำลังไฟฟ้าในชุดที่ 1 คือ 225 กิโลวัตต์ และขนาด 480 กิโลกรัมต่อชั่วโมง กำลังไฟฟ้าสายการผลิต 1.865 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ตู้ ใช้คอมเพรสเซอร์ 190 กิโลวัตต์ รวมกำลังไฟฟ้าในชุดที่2 คือ 195.6 กิโลวัตต์ รวมสมรรถนะในการผลิตทั้ง 2 ชุด 3,440 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และใช้กำลังไฟฟ้ารวม 420.6 กิโลวัตต์ หรือ 8.18 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ โดยพิจารณาแยกเป็นชุดที่ 1 การใช้กำลังไฟฟ้า 8.89 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ ชุดที่ 2 การใช้กำลังไฟฟ้า 7.36 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ ต่างกันร้อยละ 17.19 จากการสำรวจ พบว่า เนื่องจากเครื่องจักรมีการใช้งานมานานมีการชำรุด ในส่วนของชั้นวางซึ่งในตู้ที่ 1 ทำงานจริง 864 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตู้ที่ 2 ทำงานจริง 979 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตู้ที่ 3 ทำงานจริง 432 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตู้ที่ 4 ทำงานจริง 480 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ ตู้ที่ 5 ทำงานจริง 432 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งจากการพิจารณาพบว่าสมรรถนะในการผลิต 3,178 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ถ้ามีการปรับปรุงเครื่องให้มีความสมบูรณ์จะเพิ่มการผลิตได้ 262 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือร้อยละ 7.6 และจะทำให้มีประสิทธิภาพพลังงานเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4-9 ตู้แช่แข็งแบบเพลทนอน มีเพลท 16 ชั้น อุณหภูมิใช้งาน -25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4-10 คอมเพรสเซอร์สำหรับตู้แช่แข็งแบบเพลทนอน เป็นชนิดสกรู รุ่น MCN200L-EX2 และ N200VLD-HD ของ MYCOM ขนาด 200 และ 190 kW

การวิเคราะห์รายการผลิตที่ 2 เป็นกระบวนการแล่ ตัดแต่งปลา ทำปลาบล็อก และทำปลาพอร์ชั่น

การผลิตปลาพอร์ชั่นของรายการผลิตที่ 2 จะมีกระบวนการเช่นเดียวกับกระบวนการที่ 1 แต่จะเพิ่มกระบวนการชุบน้ำแป้งและเกล็ดขนมปัง โดยเครื่องแช่แข็งเป็นระบบสายพาน(Steel Belt Freezer) ดังรูปที่ 4-11 และระบบ (Spiral Freezer) ดังรูปที่ 4-12 ระบบทำความเย็นทั้งสองระบบใช้สารทำความเย็นแอมโมเนีย (R-717) และทั้งสองระบบจะมีการระบบบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ โดยก่อนที่จะทำขั้นตอนการบรรจุใส่กล่องอีกรอบจะทำการตรวจจับโลหะก่อนเข้าห้องเก็บที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส โดยอัตราการผลิตที่ 2 จะมีอัตราการผลิตต่ำกว่าสายการผลิตที่ 1 เนื่องจากจะมีกระบวนการผลิตมากกว่าโดยมีระบบการชุบน้ำแป้ง และมีอัตราการผลิตสูงสุดที่ 2,600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยสามารถแบ่งเป็นเครื่องแช่แข็งระบบสายพาน 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเครื่องแช่แข็งระบบ (Spiral Freezer) 2,300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ในระบบทำความเย็น 100 และ 200 กิโลวัตต์ ตามลำดับ โดยพลังงานในรายการผลิต 32 และ 30 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาพลังงานรวมต่อกำลังการผลิตพบว่า การใช้เครื่องแช่แข็งระบบ (Spiral Freezer) 10 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ และเครื่องแช่แข็งระบบสายพาน 2.27 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ ปกติรายการผลิตที่ 2 จะมีกำลังการผลิต 20.8 ตันต่อวัน (1 วันผลิตที่ 8 ชั่วโมง) หรือ 624 ตันต่อเดือน โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเฉลี่ย 193.21 ตันต่อเดือน หรือเทียบเท่ากับร้อยละ 30.9 ของกำลังการผลิตสูงสุด สัดส่วนกำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องแช่แข็งระบบ (Spiral Freezer) ต่อเครื่องแช่แข็งระบบสายพานเท่ากับ 7.66 : 1 ซึ่งทำให้สามารถเดินเครื่องแช่แข็งระบบ (Spiral Freezer) เพียงเครื่องเดียวได้และเมื่อนำข้อมูลการใช้พลังต่อหน่วยการผลิตมาพิจารณาในการวางแผนการใช้พลังงานพบว่า รายการผลิตนี้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้อีก 3 เท่า และเมื่อใช้เครื่องแช่แข็งระบบ (Spiral Freezer) อย่างเดียวจะทำให้ประหยัดพลังงานเมื่อหยุดเครื่องแช่แข็งระบบสายพาน 450.12 บาทต่อชั่วโมง ที่ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.41 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง หรือประมาณ 1,188,316 บาทต่อปี (1 ปีเดินเครื่อง 330 วัน) ซึ่งเป็นมาตรการการวางแผนการดำเนินงาน

รูปที่ 4-11 เครื่องแช่แข็งเป็นระบบสายพานรุ่น MSF-15XX-TJAX ของ MYCOM กำลังการผลิต 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

รูปที่ 4-12 เครื่องแช่แข็ง Spiral Freezer รุ่น GC600-08-24-14NS ของ JBT FOOD TECH กำลังการผลิต 2300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

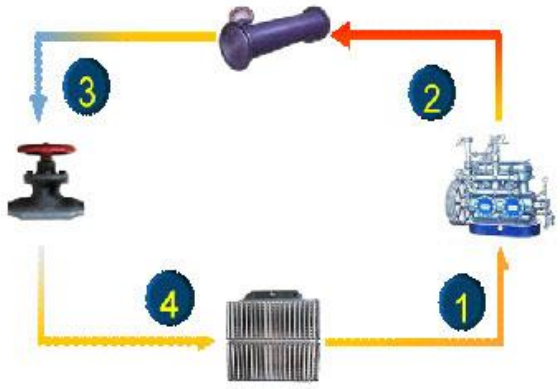
การวิเคราะห์รายการผลิตที่ 3 เป็นกระบวนการแล่ ตัดแต่งปลา ทำกุ้งบล็อก และทำกุ้งพอร์ชั่น

กระบวนการผลิตเป็นลักษณะเดียวกับกระบวนการที่ 1 ในการแช่และล้างกุ้ง จุดที่เพิ่มเติมและแตกต่างจะเป็นการแกะเปลือกกุ้งโดยใช้น้ำปกติล้าง แต่ไม่ต้องทิ้งไว้เนื่องจากการละลายน้ำแข็งสามารถทำได้ง่าย และนำกลับไปล้างอีกครั้ง เพื่อสู่กระบวนการแปรรูปเช่นการบดและขึ้นรูปกุ้งตามลักษณะผลิตภัณฑ์โดยการนึ่งด้วยไอน้ำ(Steamer)และทำให้เย็นลงด้วยการพ่นฝอยน้ำเย็นให้อุณหภูมิเหลือ 33 องศาเซลเซียส และนำไปแช่แข็งอีกครั้งด้วยเครื่อง THERMO JACK FREEZER ดังรูปที่ 4-13 และ SPIRAL FREEZER นำกุ้งที่แช่แข็งแล้วนำไปชุบน้ำแป้งและชุบเกล็ดขนมปัง บรรจุใส่ถุง และผ่านเข้าเครื่อง Scan โลหะ และส่งไปสู่ห้องเก็บ

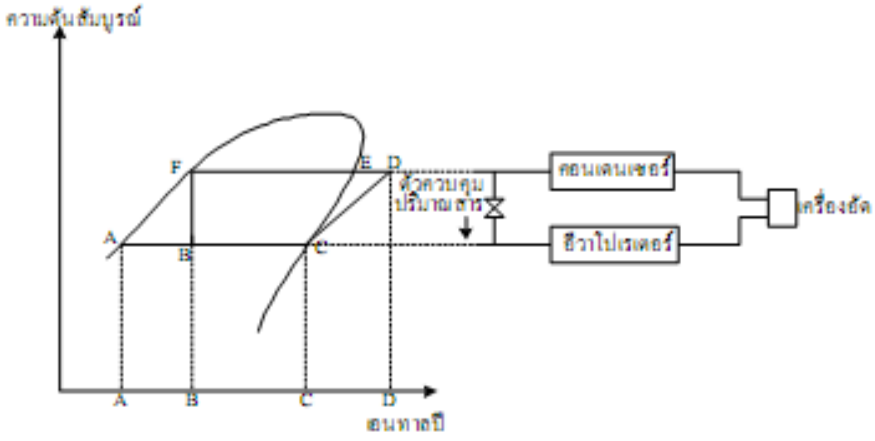
รูปที่ 4-13 เครื่องแช่แข็ง THERMO JACK FREEZER รุ่น MMF-1218TJ-AX2-BELT ของ MYCOM กำลังการผลิต 1400 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จากข้อมูลการสำรวจทั้ง 3 สายการผลิตพบว่า การใช้พลังงานอันดับที่หนึ่งจะอยู่ที่คอมเพรสเซอร์ของระบบทำความเย็น และห้องจัดเก็บผลิตภัณฑ์ โดยวัฏจักรทำความเย็นรูปที่ 4-14 วัฏ

จักรทำความเย็นและตำแหน่งการตรวจวัดค่าต่างๆเพื่อวิเคราะห์ค่า(Coefficient of performance. COP) และรูปที่ 4-15 วัฏจักรทำความเย็นและตำแหน่งอุปกรณ์เทียบแผนภูมิความดัน-เอนทาลปี



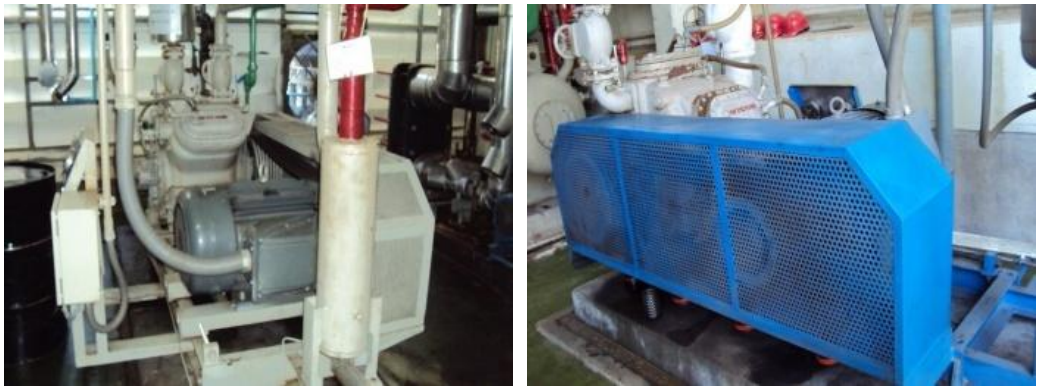
รูปที่ 4-14 วัฏจักรทำความเย็นและตำแหน่งการตรวจวัดค่าต่างๆเพื่อวิเคราะห์ค่า (Coefficient of performance. COP) (1) Check pressure suction (2) Check pressure discharge (3) Check pressure gate to high tank (4) Check gate pump to low tank



รูปที่ 4-15 วัฏจักรทำความเย็นและตำแหน่งอุปกรณ์เทียบแผนภูมิความดัน-เอนทาลปี

ลำดับการใช้ปริมาณไฟฟ้าแยกประเภท

ก. การใช้ไฟฟ้าในระบบแช่แข็งและระบบทำความเย็น(Refrigeration System) ประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์จำนวน 21 ชุด ซึ่งเป็นแหล่งการใช้พลังงานส่วนใหญ่ในโรงงาน ระบบทำความเย็นทั้งหมดจะมีต้นกำลังมอเตอร์รวมทั้งหมด 2165.5 กิโลวัตต์ โดยชนิดของคอมเพรสเซอร์ประกอบด้วยชนิด แบบลูกสูบ (RECIPROCATING) ดังรูปที่ 4-16 และแบบสกรู (SCREW)ดังรูปที่ 4-17 ทั้ง 1 stage และ 2 stage ปัจจุบันทางโรงงานมี แผนการซ่อมบำรุง Preventive Maintenance (PM) เช็คการใช้งานของเครื่องจักรประจำอยู่แล้ว เช่น เครื่องคอมเพรสเซอร์ชนิดสกรู จะตรวจสอบทุกๆ 20,000 ชั่วโมง เป็นการตรวจเช็คครั้งใหญ่และยังมีการตรวจเช็คย่อย (ในรอบ 20 ปี เครื่อง ยังไม่มีปัญหาหรือยังไม่เกิดการชำรุดเลย) PM ย่อยทำ ตามชั่วโมงเป็นหลัก ดูแลเปลี่ยนถ่ายน้ำมันทุก 3,000 ชั่วโมง รวมการใช้ไฟฟ้าในระบบกระบวนการผลิต สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ 1) ขั้นตอนแร่ปลาและตัดแต่ง 2) ระบบ Stabilizer Freezers 3) การผลิตกุ้ง รวมทั้งหมดประมาณ 75%



รูปที่ 4- 16 COMPRESSOR (AIR FILLETING) ขนาด 75 กิโลวัตต์
ชนิด RECIPROCATING ของ MYCOM

รูปที่ 4- 17 COMPRESSOR ขนาด 200 กิโลวัตต์ ชนิด SCREW 2 STAGE ของ MYCOM

ข. การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างประมาณ 15%

ค. การใช้ไฟฟ้าในระบบอื่นๆ ประมาณ 10%

เพราะฉะนั้นการจัดการเรื่องระบบทำความเย็นจะเป็นอันดับแรกสำหรับการลดการใช้พลังงาน เนื่องจากมีเทคโนโลยีจำนวนมากในการประหยัดพลังงานสำหรับระบบทำความเย็น เช่น การนำน้ำล้างปลาในระบบการละลายก่อนการแปรรูปมาใช้ในการลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของหอผึ่งเย็น และอื่นๆ

3. ปริมาณน้ำที่ใช้และน้ำเสียที่เกิดขึ้น

น้ำใช้เป็นน้ำประปานครหลวงซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ประเภทที่ 1 เป็นน้ำที่ใช้กับที่พักอาศัย ส่วนประเภทที่ 2 เป็นน้ำที่ใช้กับ กลุ่มธุรกิจ ราชการ รัฐวิสาหกิจ และอุตสาหกรรม และอื่นๆ โดยราคาค่าการใช้น้ำจะเพิ่มขึ้นจากลูกบาศก์เมตรละ 9.50 บาท จนถึง 15.81 บาท ทางประปานครหลวงจะจำหน่ายให้กับภาคเอกชนที่ใช้น้ำมากกว่า 200 ลบ.ม. หน่วยละ 15.81 บาทต่อ ลบ.ม. ในราคาไม่รวมภาษี เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำราคาค่าน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 16 บาทต่อ ลบ.ม. ปริมาณการใช้น้ำต่อผลิตภัณฑ์เท่ากับ 29.45 ลบ.ม.ต่อตัน

โดยน้ำประปาที่นำมาใช้ในโรงงานจำเป็นต้องผ่านขบวนการกรอง ด้วย กรวด ทราย CO_2 คลอรีน เมื่อใช้แล้วปัจจุบันยังไม่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตเนื่องจากมีความเสี่ยงต่อคุณภาพและผลิตภัณฑ์ ทำให้ปัจจุบันใช้เพียงการนำไปล้างถนน รดน้ำต้นไม้ และใช้ล้างห้องน้ำ โดยส่วนที่เหลือทิ้งจะปล่อยทิ้งภายใต้การควบคุมตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

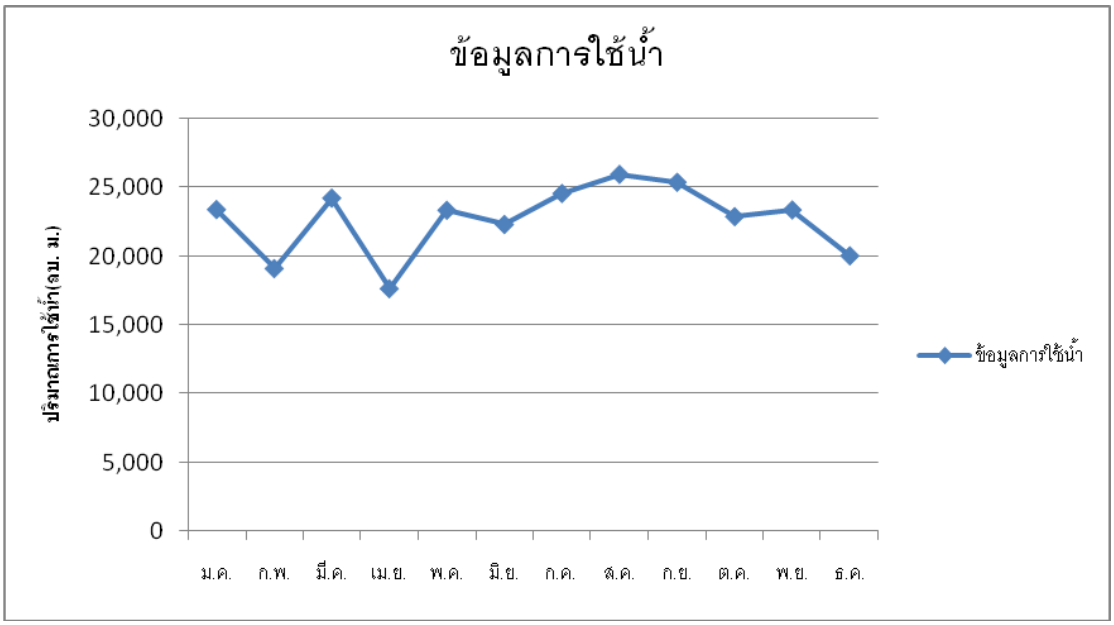
การใช้น้ำในสายผลิต ยังไม่มีการตรวจสอบอย่างชัดเจนว่าใช้น้ำไปจำนวนเท่าไร แต่การใช้น้ำในโรงงาน ทั้งในสายผลิต และ ในส่วนต่างๆ ในโรงงาน รวมทั้งหมด ประมาณ 600-700 ลบ.ม.ต่อวัน โดยขั้นตอนที่ใช้น้ำปริมาณมากที่สุด คือ ขั้นตอนการล้างและล้างเครื่อง ล้างวันละ 3 ครั้ง เช้า –เที่ยง-เย็น ตารางที่ 4-5 เป็นอัตราค่าการใช้น้ำของการประปานครหลวง และการใช้น้ำประปารายเดือนในปี 2554แสดงดังกราฟ รูปที่ 4-18

ตารางที่ 4-5 อัตราค่าการใช้น้ำของการประปานครหลวง

ประเภทที่ 1 ที่พักอาศัย		**ประเภทที่** 2 ธุรกิจ ราชการ รัฐวิสาหกิจ อุตสาหกรรม และอื่นๆ	
ปริมาณน้ำใช้ ลูกบาศก์เมตร	ราคาค่าน้ำ บาท/ลูกบาศก์เมตร	ปริมาณน้ำใช้ ลูกบาศก์เมตร	ราคาค่าน้ำ บาท/ลูกบาศก์เมตร
0-30	8.50 แต่ไม่ต่ำกว่า 45.00 บาท	0-10	9.50 แต่ไม่ต่ำกว่า 90.00 บาท
31-40	10.03	11-20	10.70
41-50	10.35	21-30	10.95
51-60	10.68	31-40	13.21
61-70	11.00	41-50	13.54
71-80	11.33	51-60	13.86
81-90	12.50	61-80	14.19
91-100	12.82	81-100	14.51
101-120	13.15	101-120	14.84
121-160	13.47	121-160	15.16
161-200	13.80	161-200	15.49
มากกว่า 200	14.45	มากกว่า 200	15.81

หมายเหตุ: 1.ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม

ที่มา: http://www.mwa.co.th/ewt_news.php?nid=303



รูปที่ 4-18 กราฟแสดงการใช้น้ำประปารายเดือนในปี 2554

4. **ปริมาณการใช้น้ำแข็ง**

โดยปริมาณการใช้น้ำแข็งเป็นการผลิตน้ำแข็งใช้เองโดยอัตราการใช้น้ำแข็งต่อผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 0.196 ลบ.ม.ต่อตัน ซึ่งอัตราที่มีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลปี 2551 ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าโรงงานมีอัตราการใช้น้ำแข็งน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรมดังตารางที่ 4-2 อัตราการใช้น้ำแข็ง 0.64-3.33 ตัน$_{\text{น้ำแข็ง}}$/ตัน$_{\text{ผลิตภัณฑ์}}$ เนื่องจากโรงงานมีการจัดการห้องเก็บน้ำแข็งซึ่งมีสภาพฉนวนที่ดี และ มีช่องเปิดขนาดที่เหมาะสม

5. **ปริมาณการใช้คลอรีน**

การใช้คลอรีนนั้นใช้คลอรีนน้ำมีอัตราการใช้คลอรีนต่อผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 0.20 กิโลกรัมต่อตัน เมื่อเปรียบเทียบกับตาราง 4-2 มีอัตราการใช้คลอรีนอยู่ในช่วง 0.2-1.24 กิโลกรัมต่อตัน ซึ่งจะอยู่ในระดับที่ต่ำ เนื่องจากปริมาณน้ำดิบเป็นน้ำประปาที่นำมาใช้ในระบบทำให้ปริมาณการใช้คลอรีนจะมีอัตราส่วนที่ต่ำเพราะน้ำประปาจะมีอัตราคลอรีนอยู่ในปริมาณหนึ่ง ซึ่งทำให้การใช้คลอรีนจึงทำการเลือกใช้คลอรีนน้ำความเข้มข้น 10 % เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ

6. **ปริมาณของเสียที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือเปลี่ยนเป็นพลังงาน**

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณ 500 ลบ.ม. ต่อวัน โดยมีการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมารดน้ำต้นไม้และทำการล้างพื้นในบางส่วนเท่านั้นส่วนในกระบวนการผลิตยังไม่มีการ

นำกลับมาใช้ โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นก่อนการบำบัดมีค่า ความเข้มข้น COD 1200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ BOD 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่ความสามารถกำจัด COD 70% และความสามารถการผลิตก๊าซได้ 350 ลิตร/กิโลกรัม$_{COD}$ ในแต่ละวันจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพียง 147 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือ 6.125 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เทียบเท่าไฟฟ้า 7.35 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเป็นปริมาณน้อยมากไม่เหมาะสมในลงทุน แต่เมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าความเข้มข้น COD 120 มิลลิกรัมต่อลิตรและ BOD 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะมีอัตราการความเข้มข้น COD และ BOD ต่อผลิตภัณฑ์ มีค่า 78 และ 13 กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การบำบัดน้ำที่มีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรมปี 2551

4.4 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตตามหลักปฏิบัติเทคโนโลยีสะอาด

การวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 6 ด้านของประสิทธิภาพการผลิตจะเป็นดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งวิเคราะห์ปัจจัยจำเป็นต้องวิเคราะห์ผลจากสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เช่น การสั่งซื้อสินค้า สภาวะแวดล้อมของการผลิต การควบคุมมาตรฐานการผลิต และอื่นๆ โดยวิธีการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของกรณีศึกษาโรงงานอาหารแช่เยือกแข็งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านผลผลิต

จากข้อมูลการสำรวจและสอบถามพบว่า ประสิทธิภาพการผลิตด้านผลผลิต (ผลผลิตต่อวัตถุดิบ)อยู่ในเกณฑ์ที่สูงคือ 70 % ซึ่งยากที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในส่วนนี้ มีเพียงเพิ่มการบริหารการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากวัตถุดิบที่เกิดขึ้นในกระบวนการ เช่น น้ำเสียที่ เกิดขึ้นในกระบวนการล่างเริ่มต้น เศษวัตถุดิบที่สามารถแปรรูปนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป จะทำให้เมื่อจัดทำสมดุลมวลและสมดุลพลังงานจะทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นตาม และอีกปัจจัยหนึ่งที่ควรนำมาพัฒนาระบบคือ ระบบการผลิตที่สม่ำเสมอ เนื่องจากกราฟแสดงการผลิตดังรูปที่ 4.6 อัตราการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนจะอยู่ที่ 769.72 ตันต่อเดือน แต่เดือนที่มีการผลิตต่ำสุดมีค่า 482.36 ตัน ในเดือนกรกฎาคม 2554 และเดือนที่มีการผลิตสูงสุด 957.00 ตันต่อเดือน ในเดือนมีนาคม 2554 มีความแตกต่างกับอัตราการผลิตเฉลี่ยถึง-37.33 เปอร์เซ็นต์ และ +24.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งถ้ามีการจัดการวัตถุดิบอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นจะสามารถทำให้ระบบการผลิตมีความเสถียรมากขึ้นตามเช่นกัน

2. ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้า

จากข้อมูลการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้า ผู้วิจัยได้นำส่วนการใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซลมาพิจารณาด้วยเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานอีกส่วนหนึ่งที่ใช้ในการผลิต พบว่า การใช้พลังงานรวมต่อผลิตภัณฑ์มีค่าเฉลี่ย 991.2 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันแต่ถ้าคิดแพราะพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวจะได้พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตจะมีค่า 960 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อตัน ซึ่งมีแนวโน้มการพัฒนาการใช้พลังงานไฟฟ้าในทางที่ดีขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลจากการสำรวจของกรมโรงงานอุตสาหกรรม การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในปี 2551 สำหรับปลาแลมีค่า 1282.05 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน และกุ้ง 1315 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอยู่ประมาณ 22.69 เปอร์เซ็นต์ และ 24.62เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ยังมีค่าต่ำกว่าค่าต่ำสุดของการผลิตปลาอยู่ 2.63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก แต่เมื่อนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนมาพิจารณาพบว่า ในเดือนเมษายน - เดือนสิงหาคม มีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 4.7 แต่อัตราการผลิตของผลิตภัณฑ์ ลดลง โดยในเดือนกรกฎาคมมีอัตราการใช้ไฟฟ้าต่อการผลิตสูงถึง 1498.88 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน และเดือนที่น้อยสุดคือ เดือนกุมภาพันธ์ 831.28 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน ต่างกันถึง 44.55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากข้อมูลการผลิตจะพบว่าการผลิตในสายการผลิตกุ้งมีการผลิตที่ต่ำมากเพียง 96.34 ตันต่อเดือนเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตปลาในสายการผลิตที่ 1 และ 2 ที่อยู่ในอัตราการผลิตที่ 249.10 และ 136.92 ตันต่อเดือน ตามลำดับ แสดงให้เห็นได้ว่าการบริหารการจัดการในการผลิตให้มีความสมดุลกันจะช่วยส่งผลทางอ้อมให้กับประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าในการผลิต

3. ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้น้ำ

ปริมาณการใช้น้ำต่อปีมีค่า 272,105 ลบ.ม.ต่อปี ที่อัตราการผลิต 9236.63 ตันต่อปี อัตราการใช้น้ำเฉลี่ยในการผลิตมีค่า 29.45 ลบ.ม.ต่อตัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบตารางที่ 4-2 และ 4-3 ที่อัตราการใช้น้ำในการผลิตปลาแลและกุ้งจะมีค่า 25.78-29.27 ลบ.ม.ต่อตัน และ 28.51 ลบ.ม.ต่อตัน ตามลำดับ พบว่า ปัจจุบันการใช้น้ำในกระบวนการผลิตยังมีค่าสูง เมื่อนำข้อมูลรายเดือนมาพิจารณาจะพบว่า เดือนกรกฎาคมจะมีการใช้น้ำในอัตราที่สูงสุด 50.9 ลบ.ม.ต่อตัน เนื่องอัตราการผลิตที่ตกลง แต่ในกระบวนการผลิตยังมีการใช้น้ำในอัตราเดิม ซึ่งในการพัฒนาระบบการจัดการจำเป็นอย่างยิ่งต้องมีการควบคุมปริมาณการใช้น้ำให้สัมพันธ์กับปริมาณวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์

4. ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้น้ำแข็ง

การใช้น้ำแข็งต่อผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 0.196 ลบ.ม.ต่อตัน ซึ่งอัตราที่มีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลปี 2551 ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม มีอัตราการใช้น้ำแข็งน้อยมากเมื่อเทียบกับข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ดังตารางที่4-2 อัตราการใช้น้ำแข็ง 0.64-3.33 ตัน/ตัน ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ต่ำสุด ในปี 2551 ถึง 3.3 เท่า อันเนื่องมาจากโรงงานมีการจัดการห้องเก็บน้ำแข็งซึ่งมีสภาพฉนวนที่ดี มีช่องเปิดขนาดที่เหมาะสม

5. ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้คลอรีน

การใช้คลอรีนนั้นใช้คลอรีนน้ำมีอัตราการใช้คลอรีนต่อผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 0.2 กิโลกรัมต่อตัน เมื่อเปรียบเทียบกับตาราง 4-2 มีอัตราการใช้คลอรีนอยู่ในช่วง 0.2-1.24 กิโลกรัมต่อตัน อยู่ในเกณฑ์ต่ำ และโรงงานมีการใช้คลอรีนน้ำ ซึ่งจะมีความเข้มข้นน้อยกว่าคลอรีนผง ทำให้ปริมาณการใช้คลอรีนจะอยู่ในระดับที่ต่ำมาก โดยสืบเนื่องจากปริมาณน้ำดิบที่นำมาผลิตน้ำในโรงงานเป็นน้ำประปาทำให้ลดการใช้คลอรีนได้

6. ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านน้ำเสีย

เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณ 500 ลบ.ม. ต่อวัน และมีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพน้ำที่ดี มีค่าความเข้มข้น COD 120 มิลลิกรัมต่อลิตรและ BOD 20 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ในเกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ ที่กำหนดค่า COD ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร และ BOD ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อเปรียบเทียบ ข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ดังตารางที่ 4-2 ค่าความเข้มข้น COD 82.55-134.92 มิลลิกรัมต่อลิตร และ BOD 47.51-105.73 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า น้ำเสียจากข้อมูลกรมโรงงานยังมีโรงงานที่ยังประสบปัญหาเรื่องการบำบัดน้ำเสีย โดยปัจจุบันโรงงานพยายามมีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ เช่น การล้างพื้น การล้างห้องน้ำ การรดน้ำสวนหรือสนามหญ้า ส่วนในกระบวนการผลิตยังไม่มีการนำน้ำไปใช้ เนื่องจากน้ำที่ใช้ทั่วไปในรายการผลิตจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ จึงยังไม่มีการนำไปใช้

โดยสรุปการใช้ทรัพยากรต่างๆในการผลิตปลาแช่เยือกแข็งเมื่อเปรียบกับข้อมูลกรมโรงงาน แสดงในตารางที่ 4-6 มีการใช้น้ำที่ต้องมีการปรับปรุง

ตารางที่ 4-6 แสดงปริมาณการใช้พลังงานและอื่นๆ ที่ใช้ในการผลิตปลาแช่เยือกแข็ง

ประเด็น	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	เปรียบเทียบข้อมูล ปี 51*
ผลผลิต(ตัน)	957.00	482.36	769.72	ประสิทธิภาพการผลิต 70% ดีมาก
การใช้ไฟฟ้า (kWh/ton)	1,498.88	831.28	991.2	เกณฑ์ดีมาก
การใช้น้ำ (m^3/ton)	50.91	23.52	30.59	ต้องปรับปรุง
การใช้น้ำแข็ง (ton/ton)	0.30	0.16	0.20	เกณฑ์ดีมาก
การใช้คลอรีน (kg/ton)	0.50	0.21	0.30	เกณฑ์ดีมาก
ภาระบีโอดี (kg/ton)	15.75	32.13	20.62	เกณฑ์ดีมาก
ภาระซีโอดี (kg/ton)	18.90	38.56	24.74	เกณฑ์ดีมาก

หมายเหตุ: * จากข้อมูลตารางที่ 4-2

4.5 มาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบการผลิตอาหารแช่แข็ง

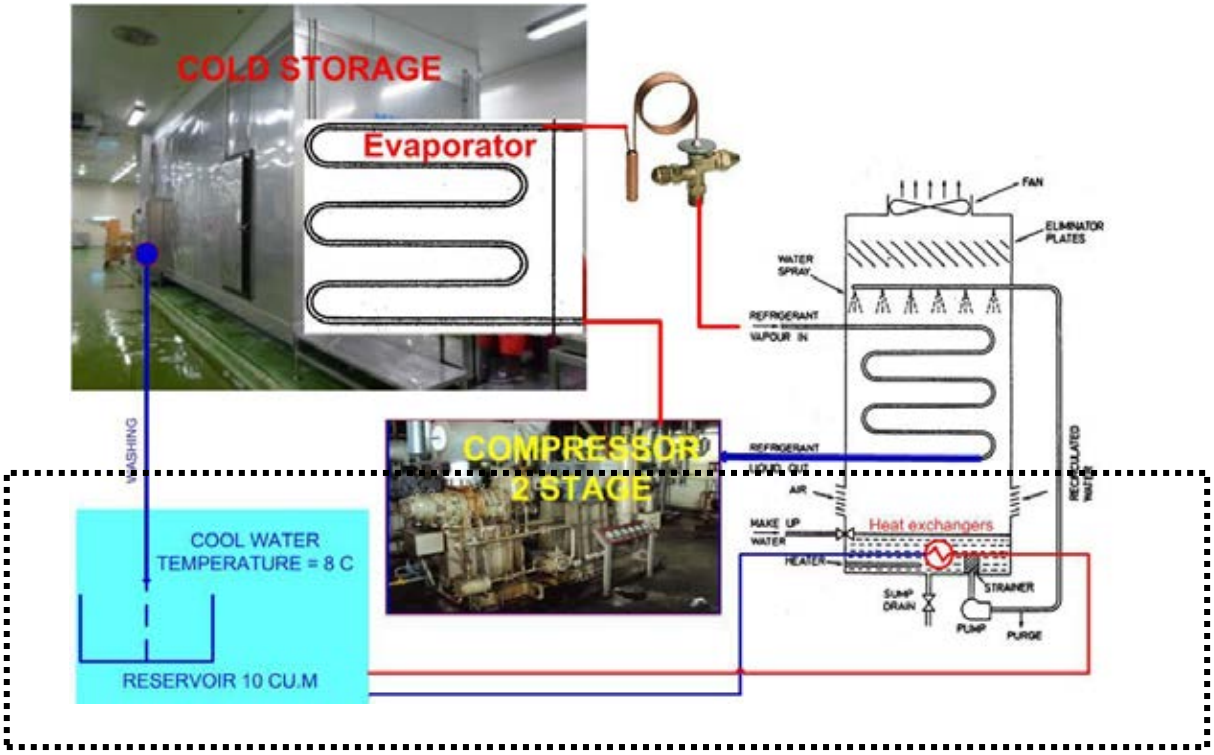
จากการศึกษาโรงงานอาหารแช่แข็งนี้ พบว่าสามารถนำเทคโนโลยีสะอาดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดการใช้พลังงานได้อย่างมาก โดยมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพให้มีการใช้เครื่องจักรให้เต็มประสิทธิภาพเช่นในกรณีการที่ 1 การวางแผนการใช้เครื่องจักรในกรณีสายการผลิตที่ 2 การนำน้ำเย็นมาลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ระบบทำความเย็น การปรับภูมิทัศน์และเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเพื่อลดการใช้พลังงาน และมาตรการแนะนำในการลงทุนเปลี่ยนอุปกรณ์เช่นคอมเพรสเซอร์ที่มีอายุการใช้งานมานาน

1. มาตรการการใช้เครื่องจักรอย่างมีประสิทธิภาพ จากการสำรวจตู้แช่แข็ง สภาพชั้นวางวัตถุดิบภายในห้องแช่ จำเป็นอย่างยิ่งต้องมีสภาพพร้อมใช้อยู่เสมอ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเพียงการซ่อมชั้นที่ชำรุดภายในห้องแช่ให้สามารถใช้งานได้ จะเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร ในการผลิตแต่ละครั้งของสายการผลิตที่ 1 สามารถผลิตได้ 3178 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ถ้ามีการปรับปรุงเครื่องให้มีความสมบูรณ์จะเพิ่มการผลิตได้ 262 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือร้อยละ 7.6 และจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพพลังงานอีกด้วย

2. มาตรการการวางแผนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จากการสำรวจพบว่าสายการผลิตที่ 2 มีเครื่องแช่แข็งระบบสายพานสมรรถนะการผลิต 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเครื่องแช่แข็งระบบ (Spiral Freezer)สมรรถนะการผลิต 2,300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การใช้เครื่องแช่แข็งระบบ (Spiral Freezer) มีอัตราการผลิตต่อพลังงานเท่ากับ 2.27 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ และ 10 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเฉลี่ย 193.21 ตันต่อเดือน โดยสมรรถนะรวมของเครื่องจักรมีค่า 624 ตันต่อเดือน จะเห็นได้ว่าในสายการผลิตสามารถใช้เครื่องแช่แข็งระบบ

(Spiral Freezer)เพียงเครื่องเดียว ถ้าทำการหยุดเครื่องแช่แข็งระบบสายพานจะสามารถทำให้ประหยัดพลังงาน 350,535 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี หรือประมาณ 1,188,316 บาทต่อปี (1 ปีเดินเครื่อง 330 วัน) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการผลิต และเป็นมาตรการใช้เครื่องจักรอย่างเต็มประสิทธิภาพ

3. มาตรการการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์โดยการน้ำเย็นมาลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ ระบบทำความเย็นจะทำให้ความดันด้านคอนเดนเซอร์ลดลง โดยทั่วไปอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ควรจะมีอุณหภูมิต่างจากกระเปาะเปียกของบรรยากาศไม่เกิน 1.5 ถึง 3 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิกระเปาะเปียกของประเทศไทยไทยจะอยู่ในช่วง 20 ถึง 26 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อเราสามารถระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ได้ต่ำลงโดยใช้ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนและใช้น้ำเย็นเป็นน้ำหล่อเย็น จะส่งผลให้ความดันของสารทำความเย็นด้านความดันสูงลดลงด้วย นั่นคือเครื่องอัดจะทำงานน้อยลงและส่งผลให้ใช้พลังงานน้อยลงด้วย จากการศึกษาพบว่า บริษัทฯ มีห้องเย็นขนาดใหญ่สำหรับเก็บสินค้า ซึ่งภายในห้องเย็นเป็นห้องที่มีอุณหภูมิต่ำมากโดยจะใช้เครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ ในการปรับอากาศภายในห้องเย็น ซึ่งในทุกๆวันจะมีการล้างคอยล์เย็น โดยจะใช้น้ำล้าง ซึ่งผลที่ได้คือจะมีปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างคอยล์ซึ่งจะเป็นน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 8 องศาเซลเซียส ซึ่งจะปล่อยลงสู่ Tank ใต้ดินบริเวณห้องช่าง ซึ่งน้ำที่ได้จะมีปริมาณ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ดังนั้นจึงควรนำน้ำเย็นที่ได้จากการล้างคอยล์เย็น ไปทำการช่วยระบายความร้อนและช่วยการควบแน่นในระบบทำความเย็นของห้องเย็น โดยผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ดังรูปที่ 19 ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนในระบบคอนเดนเซอร์ได้มากขึ้น และจะทำให้เครื่องทำความเย็นมีค่าประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง โดยได้ใช้กับระบบทำความเย็นขนาด 120 กิโลวัตต์เป็นโครงการนำร่อง ซึ่งสามารถวัดกำลังการทำความเย็นได้ 103 กิโลวัตต์ ซึ่งคำนวณที่ 80% พลังงานที่มอเตอร์ใช้มีค่า 82.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิน้ำในการควบแน่นก่อนปรับปรุง 34 องศาเซลเซียส เมื่อออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มภายในอ่าง Evaporating Condenser อุณหภูมิน้ำในการควบแน่นหลังปรับปรุงจะมีค่าเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส หลังจากการปรับปรุงกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้จะลดลงเหลือ 73.36 กิโลวัตต์ และสมรรถนะรวมทั้งระบบเพิ่มขึ้นจาก 3.69 เป็น 4.16 ซึ่ง COP จะเพิ่มขึ้น 0.47 และส่งผลต่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า 79,190 กิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อปี หรือ ประหยัดค่าไฟ 270,039 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 9 เดือน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV) 823,664 บาท อัตราผลตอบแทน (IRR) มีค่า 133.06% ที่อายุโครงการ 5 ปี รายละเอียดการคำนวณตามภาคผนวก จ

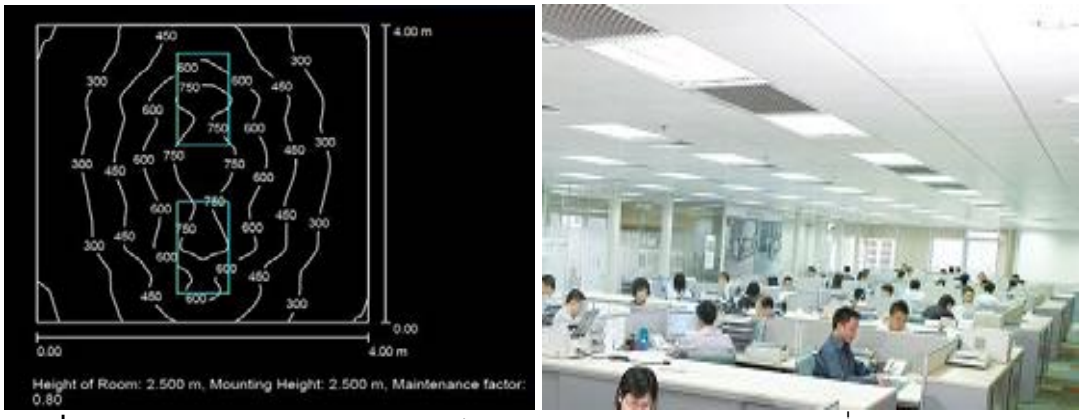


รูปที่ 4-19 ลักษณะการการติดตั้งชุดแลกเปลี่ยนความร้อนในอ่าง Evaporating Condenser

4) มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงเพื่อลดการใช้พลังงานเนื่องจากภายในสำนักงานของบริษัทฯ มีการใช้หลอดไฟแสงสว่างเป็นจำนวนมาก และประเภทของหลอดที่ใช้ในปัจจุบันยังเป็นหลอดไฟ FLUORESCENT 36 W ซึ่งทำให้อัตราการใช้กำลังงานไฟฟ้าสูงมากในแต่ละเดือน ซึ่งทางฝ่ายวิศวกรรมของโรงงานได้ทำการสำรวจจำนวนหลอดไฟฟ้าชนิดต่างภายในโรงงาน อีกทั้งได้มีการประชุมและเห็นว่าปัจจุบันนี้มีเทคโนโลยีเกี่ยวกับหลอดไฟที่สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มาก จึงได้รณรงค์ให้เสนอแนวทางการประหยัดพลังงานแสงสว่างและได้ข้อสรุปร่วมกันว่าควรเริ่มดำเนินการเปลี่ยนเป็นหลอดประหยัดไฟ โดยประเภทของหลอดขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของแต่ละพื้นที่ ซึ่งการแบ่งประเภทของหลอดไฟ ตามลักษณะการใช้งานของแต่ละพื้นที่นั้นสามารถแบ่งได้คือ ห้องที่มีพนักงานทำงานอยู่ ซึ่งต้องการค่าความส่องสว่างที่ดี ทำการเปลี่ยนเป็นหลอดไฟ FLUORESCENT T5 28 W ส่วนพื้นที่หรือห้องที่ไม่ต้องการค่าความส่องสว่างมาก จะทำการจัดลักษณะภูมิทัศน์ให้เหมาะสมดังรูปที่ 4-20 และเปลี่ยนเป็นหลอดไฟ FLUORESCENT LED 15 W เนื่องจาก หลอด FLUORESCENT LED 15 W นั้นจะมีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างสูง มุมกระจายแสงที่กว้างและเมื่อเปรียบเทียบกับหลอด FLUORESCENT 36 W โดยตามค่ามาตรฐาน CIE สำนักงาน พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน เช่น ภายในอาคารสำนักงาน ห้องคอมพิวเตอร์ ทางเดิน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบความสว่างของโรงงานอุตสาหกรรม แสดงดังรูปที่ 4-21 ทั้งนี้ในส่วนห้องที่มีการทำงานของพนักงานนั้นโคมไฟเดิมได้มีการติดแผ่นสะท้อนแสงไว้อยู่แล้วเพื่อช่วยเพิ่มค่า

ความส่องสว่างที่ดีขึ้น จากมาตรการดังกล่าวพบว่า เมื่อทำการเปลี่ยนหลอด FLUORESCENT T8 36 W เป็นหลอดFLUORESCENT T5 28 W จำนวน 106 หลอดจะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 4,694 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี ส่วนมาตรการการเปลี่ยนหลอด FLUORESCENT T8 36 W เป็นหลอด LED FLUORESCENT 15 W จำนวน 388 หลอดจะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 40,597 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี รวมทั้ง 2 มาตรการจะประหยัดพลังงานไฟฟ้า 45,291 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี หรือประหยัดค่าไฟฟ้า 169,886 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 3.31 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 82,023 บาท อัตราผลตอบแทนของโครงการลงทุน (IRR) = 16.5 % รายละเอียดการคำนวณตามภาคผนวก ฉ

รูปที่ 4-20 ลักษณะการปรับปรุงพื้นที่และจัดทำการเปลี่ยนหลอด FLUORESCENT LED 15 W



รูปที่ 4-21 แสดงค่าความสว่างของโคมรีเฟล็กซ์ 1X3 ของหลอด LED T8 ที่ความสูง 2.5 เมตร

ที่มา: http://ledsave.co.th/imageupload/10443/Presentation_LED T8_OFFICE_LIGHT.pdf

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง โดยใช้เทคโนโลยีสะอาด สามารถลดการใช้ทรัพยากร ทั้งวัตถุดิบ พลังงานไฟฟ้า น้ำ และมลภาวะด้านสิ่งแวดล้อม จากการศึกษานี้สามารถ เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้เครื่องจักรได้ เช่น เครื่องแช่แข็งแบบเพลท จากการซ่อมแซมอุปกรณ์ในเครื่องแช่แข็งจากเครื่องแช่แข็งที่สามารถผลิตได้ 3178 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ถ้ามีการปรับปรุงเครื่องให้มีความสมบูรณ์จะเพิ่มการผลิตได้ 262 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือร้อยละ 7.6 การตรวจเช็คอุปกรณ์ให้พร้อมใช้จำเป็นต่อมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพของโรงงาน ซึ่งเมื่อมีการซ่อมแซมเครื่องจักรให้พร้อมใช้จำเป็นต้องมีการจัดการใช้เครื่องจักรอย่างเต็มประสิทธิภาพก็จะทำให้ลดการใช้พลังงานเช่นเดียวกันดังมาตรการการใช้เครื่องแช่แข็งระบบ(Spiral Freezer)ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยใช้อย่างเต็มประสิทธิภาพของเครื่องเล็กหรือเครื่องสำรอง ดังมาตรการที่ 2 เพียงหยุดการใช้เครื่องแช่แข็งระบบสายพานที่มีสมรรถนะการผลิต 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และใช้เครื่องแช่แข็งระบบ (Spiral Freezer)สมรรถนะการผลิต 2,300 กิโลกรัมต่อชั่วโมงอย่างเต็มที่ โดยเปรียบเทียบอัตราการผลิตต่อพลังงานเท่ากับ 2.27 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ และ 10 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ และอัตราการผลิตสูงสุด ถ้าทำการหยุดเครื่องแช่แข็งระบบสายพานจะสามารถทำให้ประหยัดพลังงาน 350,535 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือประมาณ 1,188,316 บาทต่อปี โดยไม่มีการลงทุน

เมื่อมีการจัดการระบบภายในโรงงาน การเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการลงทุนหรือจัดทำอุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งจากมาตรการที่ 3 ได้จัดทำชุดแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับคอนเดนเซอร์ในห้องเก็บผลิตภัณฑ์ โดยระบบทำความเย็นขนาด 120 กิโลวัตต์ชั่วโมง ที่ใช้สามารถวัดการใช้พลังงานได้ 103 กิโลวัตต์ชั่วโมงซึ่งคำนวณที่ 80% พลังงานที่ใส่มีค่า 82.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง อุณหภูมิน้ำในการควบแน่นก่อนปรับปรุง 34 องศาเซลเซียส และหลังปรับปรุงจะมีค่าเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส หลังจากการปรับปรุงกำลังไฟฟ้าจะลดลงเหลือ 73.36 กิโลวัตต์ และสมรรถนะรวมทั้งระบบเพิ่มขึ้นจาก 3.69 เป็น 4.16 ซึ่ง COP จะเพิ่มขึ้น 0.47 และส่งผลต่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า 79,190 กิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อปี หรือ ประหยัดค่าไฟ 270,039 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 9 เดือน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 823,664 บาท อัตราผลตอบแทน (IRR) มีค่า 133% ที่อายุโครงการ 5 ปี

และมาตรการปรับภูมิทัศน์ที่ทำงานและเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงเพื่อลดการใช้พลังงานเนื่องจากภายในสำนักงานของบริษัทฯ เมื่อทำการเปลี่ยนหลอด FLUORESCENT T8 36 W

เป็นหลอดFLUORESCENT T5 28 W จำนวน 106 หลอดจะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 4,694 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ส่วนมาตรการการเปลี่ยนหลอด FLUORESCENT T8 36 W เป็นหลอด LED FLUORESCENT 15 W จำนวน 388 หลอดจะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 40,597 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี รวมทั้ง 2 มาตรการจะประหยัดพลังงานไฟฟ้า 45,291 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือประหยัดค่าไฟฟ้า 169,886 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 3.31 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 82,023 บาท อัตราผลตอบแทนของโครงการลงทุน (IRR) = 16.5 %

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการศึกษานำร่องซึ่งสามารถนำไปต่อยอดในการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานในโรงงานได้ จะทำให้การลดการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัญญทอง หรดาล. 2551.การใช้ระบบสารสนเทศในการจัดการคลังสินค้าสำรับอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ควบคุมมลพิษ,กรม. 2548. แนวทางปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง: ประเภทปลา, กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

จุติพรรษ์ อนิวรรตกูล.2543. *ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในอุตสาหกรรมอาหาร*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ถนอม ไชยวงค์,2546. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการผลิตถั่วเหลืองฝักสดแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เนตรนภิส ตันเต็มทรัพย์, 2547. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดการใช้น้ำในอุตสาหกรรมอาหาร.วารสารศูนย์บริการวิชาการ. ปีที่ 12 ฉบับที่ 3-4 ประจำเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม. หน้า 21-26.

นุชจิเรศ แก้วสกุล, 2553. การใช้พลังงานทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พัชรี ธรรมเดชศักดิ์, 2545. ประเมินการนำเทคโนโลยีสะอาดมาใช้ในอุตสาหกรรมนม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พิพรรธ ทวีวัฒน์กิจ. 2539. การลดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้ระบบเก็บน้ำแข็งใน โรงงานอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม.2547. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทห้องเย็น, กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม.2551. หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง, กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, สิงหาคม 2551.

LEO Industries(s) Pte Ltd. 2556. General Light Source Comparison[ออนไลน์], แหล่งที่มา:http://www.leoindustries.com/why_led_lighting.php.

tieathai. 2556.ความรู้พื้นฐานทางด้านแสงสว่าง[ออนไลน์],แหล่งที่มา : http://www.tieathai.org /know/general/general0.htm.

UNEP. 2554. เครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้า: เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ แนวทางปฏิบัติเพื่อการใช้พลังงานอย่างมประสิทธิภาพในภาคอุตสาหกรรมของเอเชีย [ออนไลน์], แหล่งที่มา : http://www.energyefficiencyasia.org.

ภาษาอังกฤษ

Bureau of Energy Efficiency. 2004, Ministry of Power, India. HVAC and Refrigeration Systems. In: Energy Efficiency in Electrical Utilities, chapter 4.

Doron Shapiro and Clay Rohrer. 2006. Two-stage Linear Compressor with Economizer Cycle Where Piston(s) Stroke(s) are Varied to Optimize Energy Efficiency. International Compressor Engineering Conference, School of Mechanical Engineering, Purdue University.

W.Boonsupthip and D.R. Heldman.2007. Prediction of Frozen Food Properties during Freezing Using Product Compostion. Journal of Food Science.

Wilbert F.Stoecker.1998. Industrial Refrigeration Handbook. Downloaded from Digital Engineering Library@ McGraw Hill .Source: www. Digitalengineeringlibrary.com. P 126-168. Available online. May 12, 2013.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบสอบถาม

ข้อมูลจากแบบสำรวจการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง

แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2554

1.1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อบริษัท : บริษัท ไทยเดลมาร์ จำกัด

สถานที่ตั้งอาคาร : 591 หมู่ 2 ซ.หาดอัมรา ถ.ท้ายบ้าน ต.ท้ายบ้าน อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10280

โทรศัพท์หน่วยงาน : 02-3894425 – 8

โทรสารหน่วยงาน : 02-3894429, 02-3872349

ลักษณะการผลิต : แปรรูปอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง

ประเภทผลิตภัณฑ์ : กุ้ง และ ปลา

ช่วงเวลาทำงาน : 08:00 – 17:00 น.

เริ่มเปิดดำเนินการ : พ.ศ. 2532

จำนวนคนงาน : ประมาณ 700 คน

ทุนจดทะเบียน : 72 ล้านบาท

พื้นที่ใช้ในการผลิต 7,500 ตารางเมตร (ไม่รวมสำนักงาน)

พื้นที่สำนักงาน 3,000 ตารางเมตร

พื้นที่ทั้งหมดโรงงาน 13,400 ตารางเมตร

ชื่อผู้ประสานงานหรือให้ข้อมูล : นายสุทิน ทับทิม

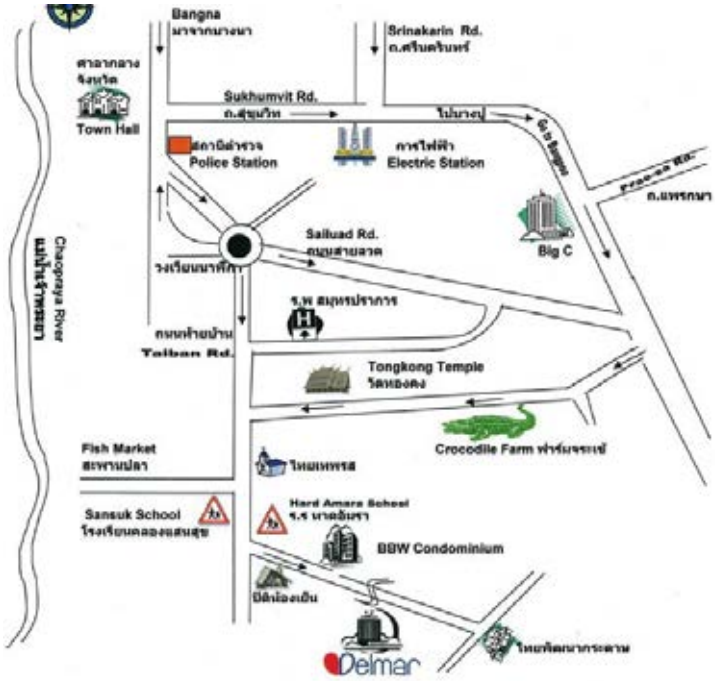
ตำแหน่ง : วิศวกรโรงงาน, ผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน

แผนก/ฝ่าย : ฝ่ายวิศวกรรม

โทรศัพท์ผู้ประสานงาน : 02-3894425-8 ต่อ 503

โทรสารผู้ประสานงาน : 02-3894429, 02-3872349

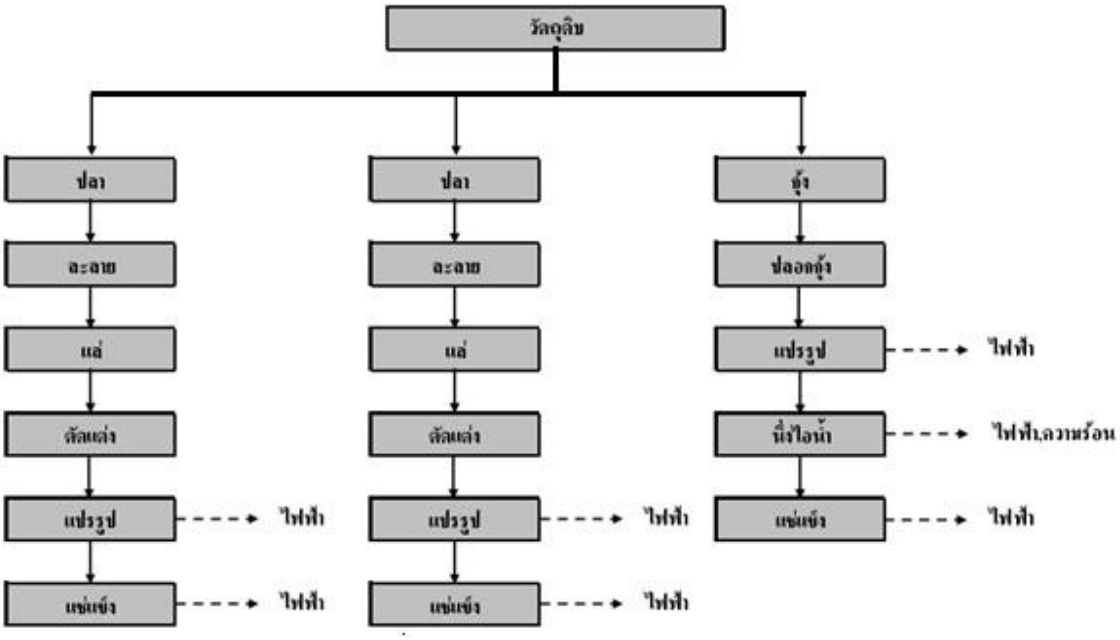
แผนที่ที่ตั้งโรงงาน



ผังการผลิต

Thai Delmar Co.,Ltd

แผนผังแสดงกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง



ข้อมูลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตอาหารแช่แข็ง

การใช้ไฟฟ้า

รูปแบบการใช้ไฟฟ้า

◯ แบบปกติ ⊘ แบบ TOD ◯ แบบ TOU

จำนวนหม้อแปลง 3 ขนาดหม้อแปลง 4,000 KVA

MDB Room คือ ตู้ไฟทั้งหมดมีอยู่ 3 ตู้หลักๆ เป็นตู้ที่จ่ายไฟลงไปใน Line ทั้งหมด

MDB 1 หม้อแปลง 1,000 KVA ที่จ่ายมา

MDB 2 หม้อแปลง 2,000 KVA ที่จ่ายมา

MDB 3 หม้อแปลง 1,000 KVA ที่จ่ายมา

ค่าไฟฟ้าย้อนหลัง 12 เดือน: ของปี 2554

เดือน	เดือน	ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด(kW)	ค่าพลังงานไฟฟ้า(kw-hr)	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)	ค่าตัวประกอบโหลด(%)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/ kw-hr)
1	ม.ค.	1,642	700,000	2,291,967	46.14	3.27
2	ก.พ.	1,560	675,000	2,211,295	48.38	3.28
3	มี.ค.	1,822	789,000	2,572,026	47.86	3.26
4	เม.ย.	1,706	632,000	2,140,070	40.19	3.39
5	พ.ค.	1,733	694,000	2,368,923	42.28	3.41
6	มิ.ย.	1,824	737,000	2,503,419	46.59	3.40
7	ก.ค.	2,008	723,000	2,562,182	40.85	3.54
8	ส.ค.	2,136	844,000	2,918,902	48.21	3.46
9	ก.ย.	1,831	810,000	2,752,149	49.69	3.40
10	ต.ค.	1,932	756,000	2,619,611	47.91	3.47
11	พ.ย.	2,107	828,000	2,873,804	47.17	3.47
12	ธ.ค.	2,097	681,000	2,464,829	39.37	3.62
รวม			8,869,000	30,279,177		
เฉลี่ย			739,083	2,523,265	45.39	3.41

การใช้เชื้อเพลิงอื่น ๆ : น้ำมันดีเซล ใช้กับหม้อไอน้ำ จำนวน 4 เครื่อง ขนาดรวม 2.75 ตันหม้อไอน้ำ

Boiler เป็นชนิดแบบ Water Tube ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเดือนละ 6,000-7,000 ลิตร (จำนวน 4 ตัว) ใช่ในการผลิตไอน้ำตู้นึ่งและน้ำร้อนในสายการผลิต

เบอร์ 1 กำลังผลิต 750 Kg/h

เบอร์ 2 กำลังผลิต 500 Kg/h

เบอร์ 3 กำลังผลิต 750 /h

เบอร์ 4 กำลังผลิต 750 /h

หน้าที่ไอน้ำ

1.ใช้น้ำร้อนล้างภาชนะทั้งหมด

2.Steam product การฆ่าเชื้อ

หมายเหตุ:น้ำที่ใช้ Steam จะผ่านถัง Soft turner ควบคุมคุณภาพของน้ำ และใช้น้ำผ่านท่อไอน้ำที่ผลิตมาได้จะอยู่ที่ และเปิด วาล์วไปใช้เป็นจุดๆไป และส่วนใหญ่จะเปิดวาล์วทิ้งไว้

การใช้น้ำและน้ำแข็ง

ชนิดน้ำ ⊘ ประปา ◯ บาดาล ◯ แม่น้ำ ◯ ผลิตเอง ◯ อื่นๆ ระบุ.....

ปริมาณการใช้น้ำเพื่อผลิตน้ำแข็ง 145 ลบ.ม/ เดือน

ปริมาณใช้น้ำ 22,675 ลบ.ม/ เดือน ปริมาณการใช้น้ำ ปี 2554

เดือน	เดือน	ปริมาณใช้น้ำ ลบ.ม/เดือน	ราคาค่าน้ำ (บาท)
1	ม.ค.	23,386	373,792.97
2	ก.พ.	19,100	305,388.40
3	มี.ค.	24,217	387,055.72
4	เม.ย.	17,639	282,070.84
5	พ.ค.	23,336	372,994.96
6	มิ.ย.	22,303	356,508.28
7	ก.ค.	24,556	392,466.16
8	ส.ค.	25,940	414,554.80
9	ก.ย.	25,365	405,377.80
10	ต.ค.	22,874	365,621.44
11	พ.ย.	23,360	373,378.00
12	ธ.ค.	20,029	320,215.24
รวม		272,105	4,349,424.61
เฉลี่ย		22,645	362,452.05

ระบบการทำความเย็นของห้องเย็นและเครื่องแช่แข็ง

⊘ วิธีแช่เยือกแข็งใช้ระบบแอมโมเนีย NH_3

◯ วิธีแช่เยือกแข็งใช้ระบบไนโตรเจน N_2 เป็นระบบไม่มีการหมุนเวียน

◯ วิธีแช่เยือกแข็งใช้ระบบคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2

จำนวนเครื่องทำน้ำเย็น 1 เครื่อง

ขนาดเครื่อง 750,671 BTU

อายุการใช้งาน 20 ปี

จำนวนเครื่องทำน้ำแข็ง 1 เครื่อง

ขนาดเครื่อง 320,741 BTU

อายุการใช้งาน 20 ปี

การใช้คลอรีน

ชนิดคลอรีน

◯ คลอรีนไดออกไซด์ ⊘ คลอรีนน้ำ

อัตราการใช้คลอรีนน้ำ 150 ลิตรต่อวัน

การผลิต

ปริมาณการผลิตภัณฑ์เฉลี่ย /ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้เฉลี่ย

1. กุ้งประมาณ 300 ตัน/เดือน
2. ปลาประมาณ 300 ตัน/เดือน

ปริมาณการผลิตย้อนหลัง 1 ปี

1. กุ้งประมาณ 300 ตัน/เดือน
2. ปลาประมาณ 300 ตัน/เดือน

AREA	AP-1	AP-2	AP-3	TOTAL
ม.ค.-11	259.00	287.00	283.00	829.00
ก.พ.-11	300.00	275.00	237.00	812.00
มี.ค.-11	355.00	319.00	283.00	957.00
เม.ย.-11	201.23	101.71	294.67	597.61
พ.ค.-11	276.15	76.65	255.94	608.74
มิ.ย.-11	295.48	98.65	302.29	696.42
ก.ค.-11	249.10	136.92	96.34	482.36
ส.ค.-11	250.84	145.84	365.74	762.42
ก.ย.-11	330.50	292.30	300.74	923.54
ต.ค.-11	364.43	246.25	273.38	884.06
พ.ย.-11	308.97	177.95	465.37	952.29
ธ.ค.-11	270.08	161.23	299.88	731.19
TOTAL	**3,460.78**	**2,318.50**	**3,457.35**	**9,236.63**

การใช้พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์อื่น ๆ ในกระบวนการผลิต

1. เครื่องทอด Fryer machine
2. สายพานลำเลียง Conveyor
3. เครื่องแช่แข็งผลิตภัณฑ์ Freezer
4. เครื่องตัดผลิตภัณฑ์, เครื่องผสม, เครื่องล้างกุ้ง,เครื่องซีลถุงและอื่นๆ

การปรับอากาศในอาคารการผลิต

จำนวนเครื่องปรับอากาศ 1 เครื่อง

ขนาดเครื่อง 750,671 BTU

อายุการใช้งาน 20 ปี

อาคารสถานที่

การใช้พลังงานในอาคาร แสงสว่างเฉลี่ย 100,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

การใช้พลังงานทดแทน

- ไม่มีการใช้พลังงานทดแทน

มาตรการปัจจุบันในการประหยัดพลังงาน

1. ควบคุมเวลาการเปิดปิดไฟฟ้าแสงสว่าง
2. ควบคุมเวลาการเปิดปิดระบบทำความเย็นห้องเย็นเก็บสินค้า
3. ควบคุมเวลาการเปิดปิดระบบทำความเย็นห้องเย็นเก็บวัตถุดิบ
4. ควบคุมเวลาการเปิดปิดมอเตอร์โบว์เวอร์ระบบบำบัดน้ำเสีย

การวิเคราะห์ด้านของเสีย

ปริมาณน้ำเสียต่อวัน 500 ลบ.ม.

ระบบบำบัด : ระบบปิด

ค่าความเข้มข้นของนำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด

ความเข้มข้น COD 1200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้น BOD 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่าความเข้มข้นของนำเสียหลังเข้าระบบบำบัด

ความเข้มข้น COD 120 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้น BOD 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงาน

- พลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ของโรงงานแบ่งออกเป็นเปอร์เซ็นต์ด้วยกันดังนี้

  1. พลังงานจากแสงสว่างประมาณ 15%
  2. พลังงานจากเครื่องปรับอากาศสำนักงานประมาณ 5%
  3. พลังงานจากเครื่องทำความเย็นประมาณ 40%
  4. พลังงานจากเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตประมาณ 30%
  5. พลังงานจากระบบอัดอากาศประมาณ 5%
  6. พลังงานจากส่วนอื่นๆประมาณ 5%

ภาคผนวก ข

ค่าไฟฟ้าและน้ำย้อนหลัง 12 เดือน

ตารางผนวก ข- 1 ค่าไฟฟ้าและจำนวนหน่วยที่ใช้ย้อนหลัง 12 เดือน ในปี 2554

เดือน	ค่าไฟฟ้า						
	จำนวนหน่วย	จำนวนเงิน	ON Peak	จำนวนเงิน	Partial Peak	จำนวนเงิน	Off Peak
	กิโลวัตต์ ชั่วโมง	บาท	กิโลวัตต์	บาท	กิโลวัตต์	บาท	กิโลวัตต์
ม.ค.	700,000	2,291,967	1,642	468,052	2,039	23,375	1,902
ก.พ.	675,000	2,211,295	1,560	444,678	2,076	30,382	1,951
มี.ค.	789,000	2,572,026	1,822	519,361	2,216	23,198	2,025
เม.ย.	632,000	2,140,070	1,706	486,295	2,184	28,144	2,123
พ.ค.	694,000	2,368,923	1,733	493,991	2,206	27,850	2,045
มิ.ย.	737,000	2,503,419	1,824	519,931	2,197	21,962	1,941
ก.ค.	723,000	2,562,182	2,008	572,380	2,379	21,844	2,232
ส.ค.	844,000	2,918,902	2,136	608,866	2,353	12,776	2,343
ก.ย.	810,000	2,752,149	1,831	521,926	2,264	25,495	1,988
ต.ค.	756,000	2,619,611	1,932	550,716	2,121	11,128	1,868
พ.ย.	828,000	2,873,804	2,107	600,600	2,438	19,489	2,147
ธ.ค.	681,000	2,464,829	2,097	597,749	2,325	13,424	1,339
รวม	8,869,000	30,279,177	22398	6,384,549	26798	259072	23904

ตารางผนวก ข- 2 ค่าน้ำและจำนวนหน่วยที่ใช้ย้อนหลัง 12 เดือนในปี 2554

	ปริมาณน้ำประปาที่ใช้ในโรงงาน		
	จำนวนหน่วย (ลบ.ม.)	ค่าน้ำ(บาท)	ราคาต่อหน่วย(บาท)
ม.ค.	23,386.00	373,793	15.98
ก.พ.	19,100.00	305,388	15.99
มี.ค.	24,217.00	387,056	15.98
เม.ย.	17,639.00	282,071	15.99
พ.ค.	23,336.00	372,995	15.98
มิ.ย.	22,303.00	356,508	15.98
ก.ค.	24,556.00	392,466	15.98
ส.ค.	25,940.00	414,555	15.98
ก.ย.	25,365.00	405,378	15.98
ต.ค.	22,874.00	365,621	15.98
พ.ย.	23,360.00	373,378	15.98
ธ.ค.	20,029.00	320,215	15.99
รวม	272,105.00	4,349,425	15.98

ภาคผนวก ค

ปริมาณ น้ำ น้ำแข็ง คลอรีน BOD และ COD ต่อผลิตภัณฑ์

การคำนวณปริมาณคลอรีน เนื่องจากการใช้คลอรีนน้ำ (Sodium Hypochlorite, NaOCl) ความเข้มข้นของคลอรีนน้ำที่ใช้ 10% และ น้ำหนักโมเลกุลของ NaOCl และ Cl เท่ากับ 74.5 และ 35.5 ตามลำดับ

เนื้อคลอรีน = (ปริมาณที่ใช้(กิโลกรัม) x 10% x 35.5)/ 74.5

การหาค่าปัจจัยหลักฯด้านของเสีย(ภาระบีโอดีและภาระซีโอดี ก่อนการบำบัด)

ภาระบีโอดี = ความเข้มข้นบีโอดี(มิลลิกรัม/ลิตร)x ปริมาณน้ำเสีย(ลบ.ม./ตันผลิตภัณฑ์) /1000

ภาระซีโอดี = ความเข้มข้นซีโอดี(มิลลิกรัม/ลิตร)x ปริมาณน้ำเสีย(ลบ.ม./ตันผลิตภัณฑ์) /1000

ตารางผนวก ค- 1 ปริมาณ น้ำ น้ำแข็ง คลอรีน BOD และ COD ต่อผลิตภัณฑ์

	ผลิตภัณฑ์ (ตัน)	**น้ำ (ลบ.ม /ตัน)**	**น้ำแข็ง (ตัน/ตัน)**	**คลอรีน (กก/ตัน)**	BOD (กก/ตัน)	COD (กก/ตัน)
ม.ค.	829.00	28.21	0.17	0.28	18.70	22.44
ก.พ.	812.00	23.52	0.18	0.21	17.24	20.69
มี.ค.	957.00	25.31	0.15	0.25	16.20	19.44
เม.ย.	597.61	29.52	0.24	0.28	25.10	30.12
พ.ค.	608.74	38.33	0.24	0.38	25.46	30.55
มิ.ย.	696.42	32.03	0.21	0.31	21.54	25.85
ก.ค.	482.36	50.91	0.30	0.50	32.13	38.56
ส.ค.	762.42	34.02	0.19	0.34	20.33	24.40
ก.ย.	923.54	27.46	0.16	0.26	16.24	19.49
ต.ค.	884.06	25.87	0.16	0.25	17.53	21.04
พ.ย.	952.29	24.53	0.15	0.23	15.75	18.90
ธ.ค.	731.19	27.39	0.20	0.27	21.20	25.44
เฉลี่ย	769.72	30.59	0.20	0.30	20.62	24.74

ภาคผนวก ง

อุปกรณ์เครื่องทำความเย็น

ตารางผนวก ง -1 คอมเพรสเซอร์ของระบบทำความเย็น

Item	Name	Maker	Model	Type	Electrical
					Motor (kW)
1	COMPRESSOR 1 (AIR FILLETING) For Air Processing of Production	MYCOM	N4WB	RECIPROCATING	75
2	COMPRESSOR 2 (SPIRAL AP2)	MYCOM	N2016LLC-51	SCREW 2 STAGE	200
3	COMPRESSOR 3 (STEEL BELT) For Area AP2	MYCOM	N162LLC-51	SCREW	100
4	COMPRESSOR 4 (AIR BLAST) No use	MYCOM	N160LUD-M-51	SCREW 2 STAGE	100
5	COMPRESSOR 5 (COLD STORAGE) For Cold Storage of Product	MYCOM	N1612LLC-53	SCREW 2 STAGE	120
6	COMPRESSOR 7 (AIR PROCESSING) For Air Processing of Production	MYCOM	N160LUD-L-51	SCREW R-22	150
7	COMPRESSOR 8 (CHILLER) For Water Chiller of Production	MYCOM	N160LUD-L-51	SCREW R-22	150
8	COMPRESSOR 9 (CONTACT 3-4) For Area AP1	MYCOM	MCN200L-EX2	SCREW	220
9	COMPRESSOR 10 (CONTACT 5-6-7) For Area AP2	MYCOM	N200VLD-HD	SCREW	190
10	COMPRESSOR 11 (THERMO JACK) For Area AP3	MYCOM	N2016JSC-MBM	SCREW 2 STAGE	150
11	COMPRESSOR 12 (SPIRAL AP3)	MYCOM	NLSC-MBM	SCREW 2 STAGE	315
12	COMPRESSOR 13 (ICE MAKING) For Area AP1 and AP3	MYCOM	N6WB	RECIPROCATING	94

ตารางผนวก ข -1 คอมเพรสเซอร์ของระบบทำความเย็น(ต่อ)

Item	Name	Maker	Model	Type	Electrical
					Motor (kW)
13	COMPRESSOR 14 For Cold Storage Room of Raw Materials	MYCOM	CK-01N37	SCREW	33.5
14	COMPRESSOR 15 For Cold Storage Room of Raw Materials	MYCOM	CK-01N37	SCREW	33.5
15	COMPRESSOR 16 For Cold Storage Room of Raw Materials	MYCOM	CK-01N37	SCREW	33.5
16	COMPRESSOR 17 For Cold Storage Room of Raw Materials	MYCOM	CK-01N37	SCREW	33.5
17	COMPRESSOR 18 For Cold Storage Room of Raw Materials	MYCOM	CK-01N37	SCREW	33.5
18	COMPRESSOR 19 For Cold Storage Room of Raw Materials	MYCOM	CK-01N37	SCREW	33.5
19	COMPRESSOR 20 For Cold Storage Room of Raw Materials	MYCOM	CK-01N37	SCREW	33.5
20	COMPRESSOR 21 For Cold Storage Room of Raw Materials	MYCOM	CK-01N37	SCREW	33.5
21	COMPRESSOR 22 For Cold Storage Room of Raw Materials	MYCOM	CU-01N37	SCREW	33.5

ตารางผนวก ข -2 เครื่องจักรในกระบวนการผลิต

Item	Name	Maker	Model	Type	Capacity	Electrical
						Motor(kW)
1	STEAM TUNNEL COOKER For Area AP3 For Shrimp Product	MECH FOOD ENGINEERING	STSL - 240 - DL		2200 KG/HR.	3.7
2	ICE MAKING For Area AP1	PATKOL		PLATE ICE	Ice 7 Ton/Day	3
3	ICE MAKING For Area AP3	PATKOL		PLATE ICE	Ice 8 Ton/Day	3
4	CONTACT FREEZER NO.1 Area AP1 Product - Fish Block &Portion	MYCOM		PLATE FREEZER	2 TON/CYCLE	2.5
5	CONTACT FREEZER NO.2 Area AP1 Product - Fish Block &Portion	MYCOM		PLATE FREEZER	2 TON/CYCLE	2.5
6	CONTACT FREEZER NO.3 Area AP1 Product - Fish Block &Portion	MYCOM		PLATE FREEZER	1 TON/CYCLE	1.86

ตารางผนวก ข -2 เครื่องจักรในกระบวนการผลิต(ต่อ)

Item	Name	Maker	Model	Type	Capacity	Electrical
						Motor(kW)
7	CONTACT FREEZER NO.4 Area AP1 Product - Fish Block &Portion	MYCOM		PLATE FREEZER	1TON/CYCLE	1.86
8	CONTACT FREEZER NO.5 Area AP1 Product - Fish Block &Portion	MYCOM		PLATE FREEZER	1TON/CYCLE	1.86
9	STEEL BELT FREEZER Area AP2 Product - Fish Block , Portion & Shrimp	MYCOM	MSF-15XX-TJAX	TUNNEL I.Q.F.	300 KG/HR	30
10	SPIRRAL FREEZER NO.4 Area AP2 Product - Fish Block , Portion & Shrimp	JBT FOOD TECH	GC600-08-24-14NS	SPIRAL I.Q.F.	2300 KG/HR	32
11	THERMO JACK FREEZER Area AP3 product - Shrimp	MYCOM	MMF-1218TJ-AX2-BELT	TUNNEL I.Q.F.	1400 KG/HR.	84
12	SPIRAL FREEZER (NO.3) Area AP3 product - Shrimp	JBT FOOD TECH	GCM7/2-08-22-10 NN CCR	SPIRAL I.Q.F.	1600 KG/HR.	38

ตารางผนวก ข -3 หม้อไอน้ำในกระบวนการผลิต

Item	Name	Maker	Model	Type	Capacity	Electrical
						(kW)
1	BOILER 1 (ONCE THROUGH BOILER) For Steam Tunnel Cooker of Production AP3	MUIRA	EX-750K	WATER TUBE	750 KG/HR.	3.2
2	BOILER 2 (ONCE THROUGH BOILER) For Steam Tunnel Cooker of Production AP3	MUIRA	EH-500F	WATER TUBE	500 KG/HR.	1.3
3	BOILER 3 (ONCE THROUGH BOILER) for Steam Tunnel Cooker of Production AP3	MUIRA	EX-750K	WATER TUBE	750 KG/HR.	3.2
4	BOILER 4 (ONCE THROUGH BOILER) for Steam Tunnel Cooker of Production AP3	MUIRA	EX-750K	WATER TUBE	750 KG/HR.	3.2

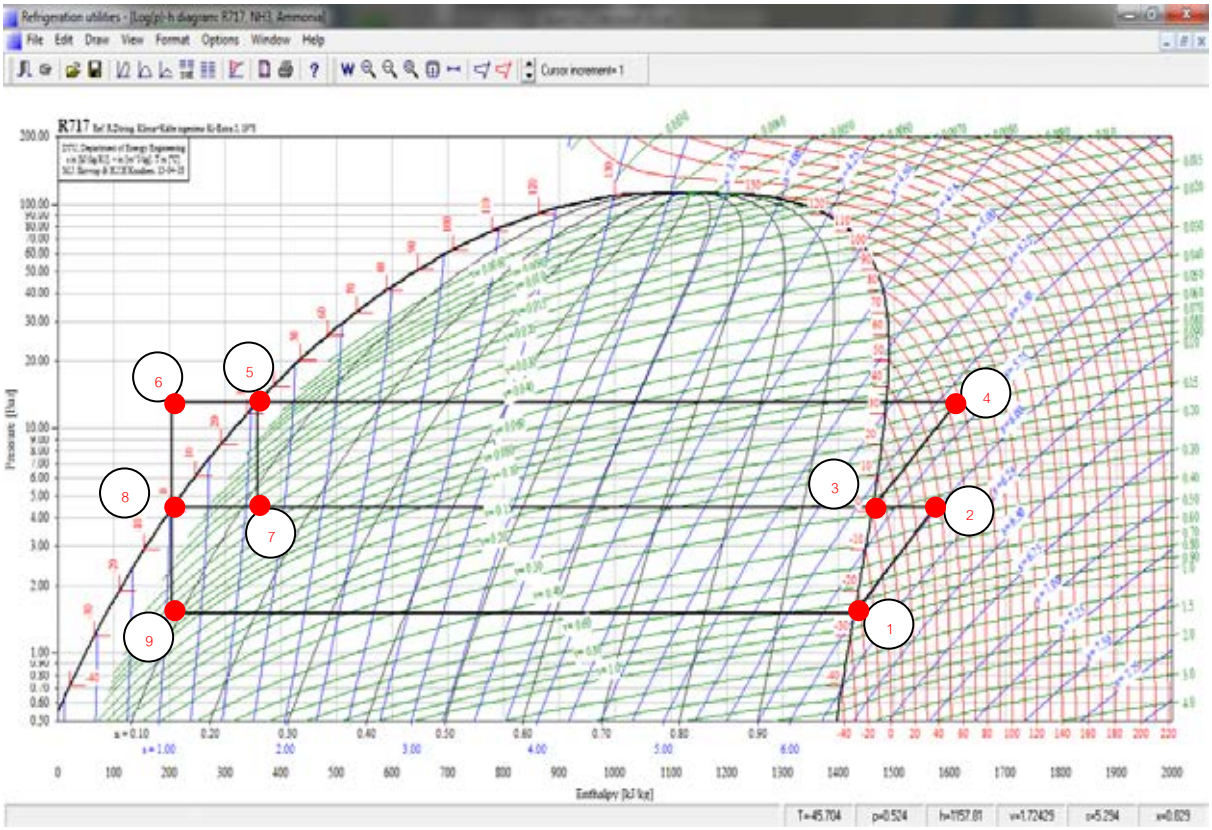
ภาคผนวก จ

การคำนวณระบบระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์สำหรับห้องเย็นเก็บสินค้า

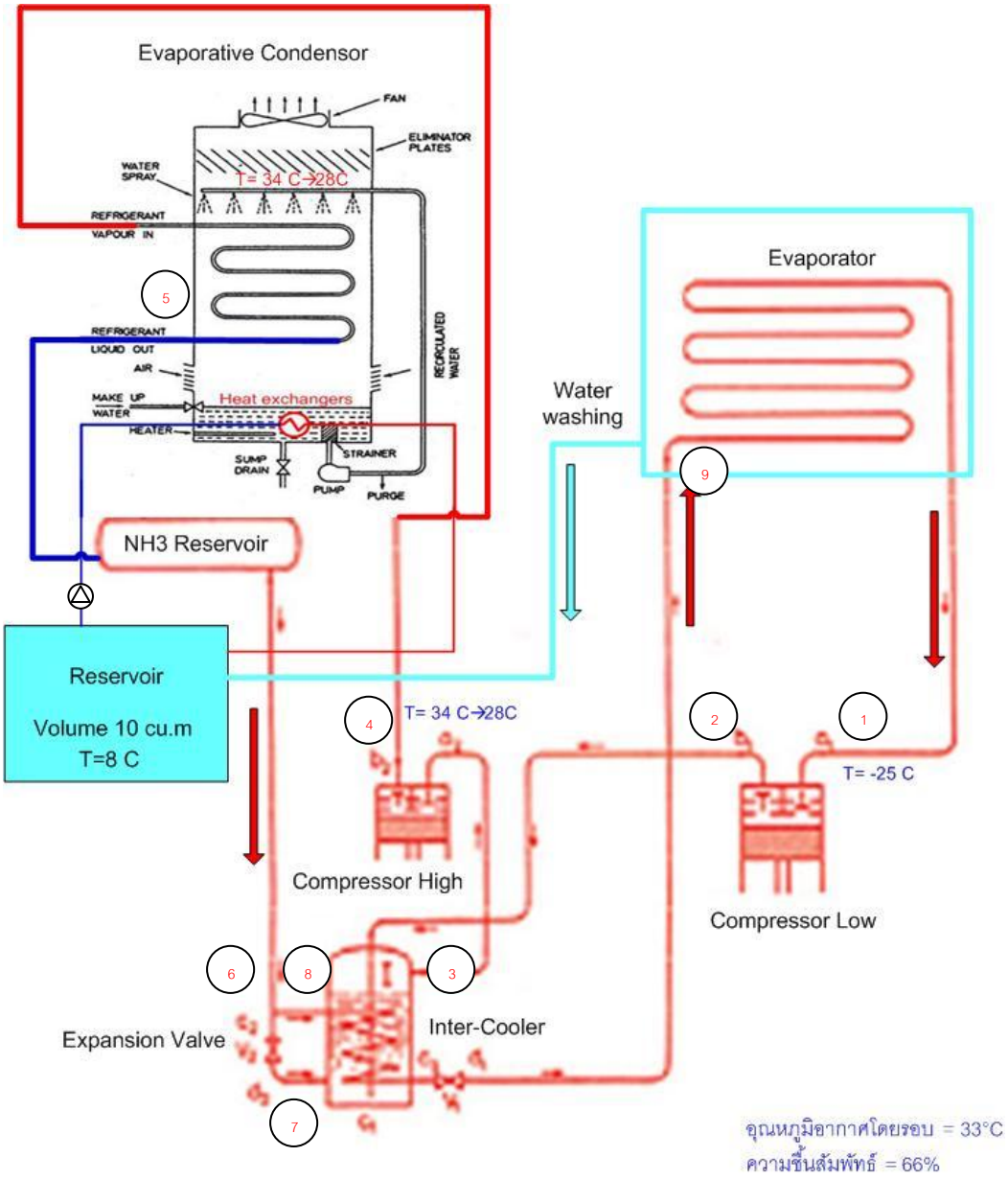
ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

จำนวนวันเปิดเครื่องทำความเย็น	365	Days/Year	
จำนวนชั่วโมงเปิดเครื่องทำความเย็น	24	Hr/Day	
ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน	3.41	Baht/kWh	
ขนาดของเครื่องทำความเย็น	120	kW	
ค่าแฟกเตอร์การเปลี่ยนแปลงของภาระ (LF) =	80	%	
กำลังไฟฟ้า (P_a)	=	103	kW (ได้จากการวัด)
ประสิทธิภาพการอัดคอมเพรสเซอร์	=	80 %	
แรงดันไฟฟ้า	=	380	V
ค่าตัวประกอบไฟฟ้า	=	95	%
อุณหภูมิน้ำในอ่างเริ่มต้น	=	34	°C
อุณหภูมิน้ำที่ละลายน้ำแข็ง	=	8	°C
อุณหภูมิน้ำในอ่างที่หล่อเย็นด้วยน้ำละลายน้ำแข็ง =	28	°C	
อุณหภูมิอากาศโดยรอบ	=	33	°C
ความชื้นสัมพัทธ์	=	66	%

การวิเคราะห์พลังงานใช้โปรแกรม Cool Pack ของ University of Denmarks



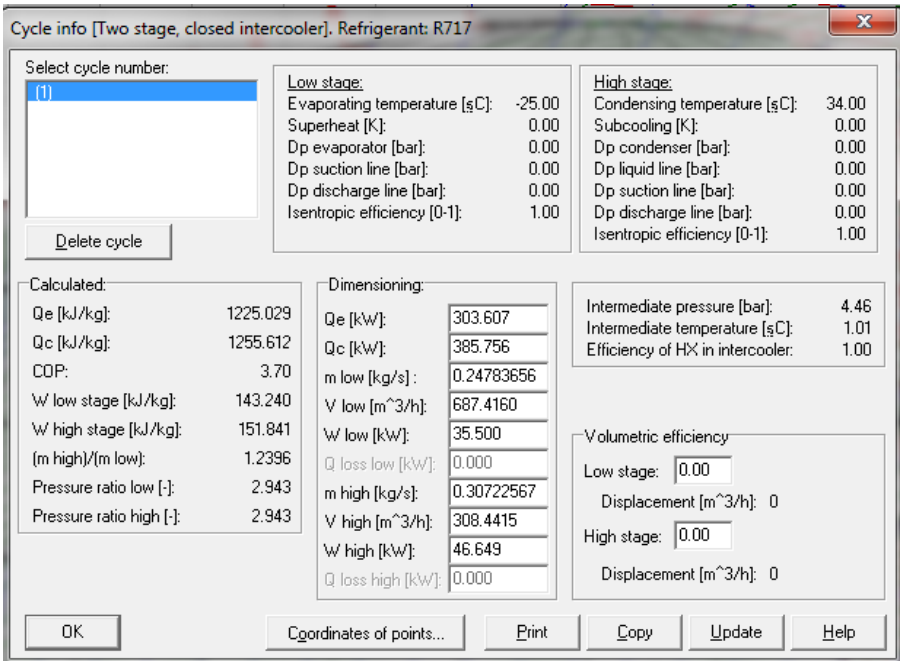
ภาพผนวกที่ จ-1 P-H Diagram วัฏจักรระบบทำความเย็น



ภาพผนวกที่ จ-2 วัฏจักรระบบทำความเย็น

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Cool Pack เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะ COP และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเมื่อลดอุณหภูมิ Condensing temperature จาก 34 °C เป็น 28 °C

1. เปิดโปรแกรม Cool Pack และเลือก กราฟ Log P-H diagram และเลือกสารทำความเย็น R717 กด OK
2. เลือก Cycle เพื่อเขียนวัฏจักร และเลือก ชนิดของวัฏจักร two stage, close intercooler
3. ทำการใส่ค่า Evaporative temperature (°C) มีค่า -25 °C และค่า Condensing temperature (°C) ก่อนปรับปรุง 34 °C กด update โปรแกรมจะคำนวณค่า Q_e ,Q_c, COP, W_{low}, W_{high} และสัดส่วนอัตราการไหลที่ความดันสูงและความดันต่ำ m_{high}/m_{low}
4. ใส่ค่า W_{low} โดย $W_{low}+W_{high}$ มีค่าเท่า 103x0.8 = 82.4 kw ที่ได้จากการวัดเมื่อระบบทำความเย็นทำงาน โดยเราทำการใส่ค่า 35.5 kw และโปรแกรมจะคำนวณค่าต่างๆ มาให้ โดยค่า W_{high} มีค่า 46.6 kw ซึ่งพิจารณาจากโดย $W_{low}+W_{high}$ ต้องได้ 82.4 kw เป็นจริง
5. ผลการคำนวณ จะได้ค่า Q_e ,Q_c, W_{low}, W_{high} ในหน่วยกิโลวัตต์ และ m_{high}, m_{low} ในหน่วยกิโลกรัมต่อวินาที ซึ่งเมื่อทำเปลี่ยนอุณหภูมิ Condensing temperature (°C) เป็น 28 °C อัตราการไหลด้านความดันต่ำ(m_{low}) จะมีค่าเหมือนเดิมคือ 0.247 กิโลกรัมต่อวินาที ซึ่งจะใช้ในการป้อนในวัฏจักรต่อไป
6. ทำการใส่ค่าต่างๆตามขั้นตอน 3-5
7. นำค่าทั้ง 2 วัฏจักรมาเปรียบเทียบ



ภาพผนวกที่ จ-3 ผลการคำนวณของระบบทำความเย็น ที่ Evaporating temperature เท่ากับ – 25 °C และ Condensing temperature เท่ากับ 34 °C

การคำนวณผลประหยัดพลังงาน

ก่อนการปรับปรุง (ที่ อุณหภูมิน้ำใช้ในการควบแน่น 34 องศาเซลเซียส)

point	T (°C)	P (bar)	V (m^3/kg)	h (kJ/kg)	S (kJ/kg °K)
1	-25	1.515	0.770463	1429.637	5.9784
2	45.413	4.458	0.335996	1572.876	5.9784
3	1.008	4.458	0.278877	1461.729	5.6021
4	77.248	13.121	0.120439	1613.570	5.6021
5	34.000	13.121	n/a	357.957	n/a
6	1.009	13.121	n/a	204.608	n/a
7	1.009	4.458	n/a	357.957	n/a
8	1.009	4.458	n/a	204.608	n/a
9	-25	1.515	n/a	204.608	n/a

สัมประสิทธิ์สมรรถนะรวมทั้งระบบ

$$COP_{Before} = Q_1/(W_1+W_2)$$

ที่ Q_1 = Cooling effect at main evaporator

W_1 = work of compression, first stage

W_2 = work of compression, second stage

จากการวัดพลังงานกำลังไฟฟ้า (P_a) = 103 kW

ประสิทธิภาพคอมเพรสเซอร์ 80 %

$\therefore W_1 + W_2 = 103 \times 0.8 = 82.4$ เมื่อใช้โปรแกรมคำนวณ $m_1 = 0.247$ kg/s , $m_2 = 0.307$ kg/s

$Q_1 = m_1(h_1-h_9) = 0.247$ kg/s x (1429.637-204.608)kJ/kg = 302.58 kW

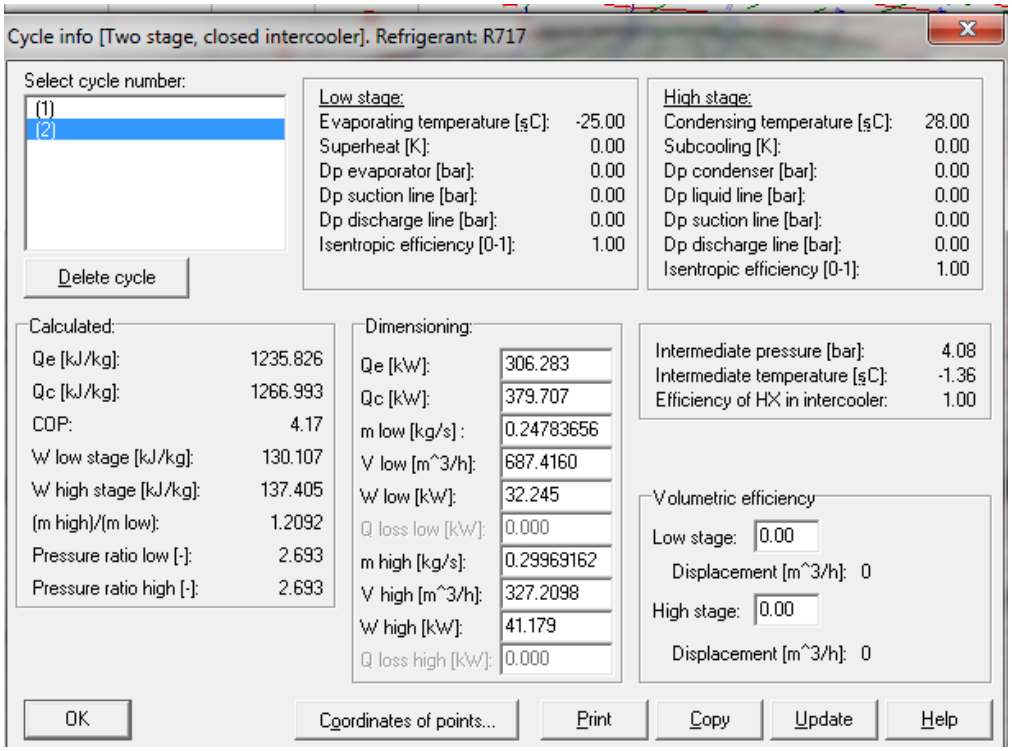
$W_1 = m_1(h_2-h_1) = 0.247$ kg/s x (1572.876-1429.637)kJ/kg = 35.38 kW

$W_2 = m_2(h_4-h_3) = 0.307$ kg/s x (1613.570-1461.729)kJ/kg = 46.61 kW

COP_{Before} = 302.58 kW /(35.38 kW + 46.61 kW) = 302.58/82

= 3.69

<u>หลังการปรับปรุง</u> (ที่ อุณหภูมิน้ำใช้ในการควบแน่น 28 องศาเซลเซียส)



point	T (^{o}C)	P (bar)	V (m^3/kg)	h (kJ/kg)	S (kJ/kg ^{o}K)
1	-25	1.515	0.770463	1429.637	5.9784
2	39.036	4.081	0.359841	1559.744	5.9784
3	-1.356	4.081	0.303275	1459.207	5.6331
4	67.467	10.991	0.140530	1596.612	5.6331
5	28.000	10.991	n/a	329.618	n/a
6	-1.356	10.991	n/a	193.811	n/a
7	-1.356	4.081	n/a	329.618	n/a
8	-1.356	4.081	n/a	193.811	n/a
9	-25	1.515	n/a	193.811	n/a

สัมประสิทธิ์สมรรถนะรวมทั้งระบบ

$Q_1 = m_1(h_1-h_9) = 0.247$ kg/s x (1429.637-193.811)kJ/kg = 305.24 kW

$W_1 = m_1(h_2-h_1) = 0.247$ kg/s x (1559.744-1429.637)kJ/kg = 32.136 kW

$W_2 = m_2(h_4-h_3) = 0.3$ kg/s x (1596.612-1459.207)kJ/kg = 41.22 kW

COP_{after} = 305.24 kW /(32.136 kW + 41.22 kW) = 305.24/73.36

= 4.16

สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบเพิ่มขึ้น

$\Delta COP_n = (COP_{after}-COP_{before})$

= 4.16 – 3.69

= 0.47

ร้อยละของสมรรถนะของความเย็นที่เพิ่มขึ้น

$\% COP_n = ((COP_{after}-COP_{before})/ COP_{after})x100$

= ((4.16 – 3.69) / 3.69) x 100

= 12.74

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งระบบหลังปรับปรุง

$P_{after} = W_{High} + W_{Low}$

= (41.22 – 32.136)

= 73.36 kW

ความสามารถในการทำความเย็นก่อนปรับปรุง

$Q_{E,\ before}$ = $m_1(h_{1b}-h_{9b})$

= 0.247 kg/s x (1429.637-204.608)kJ/kg

= 302.58 kW_{ref}

ความสามารถในการทำความเย็นหลังปรับปรุง

$Q_{E,\ after}$ = $m_1(h_{1a}-h_{9a})$

= 0.247 kg/s x (1429.637-193.811)kJ/kg

= 305.24 kW_{ref}

ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น

ΔQ_{ref} = (305.24 -302.58) kW_{ref}

= 2.66 kW_{ref}

ค่าสมรรถนะการทำความเย็นก่อนปรับปรุง

$C_{hp,\ before}$ = $P_b/(Q_{e,b}/3.517)$

= 82.4/(302.58/3.517)

= 82.4 / 86.03

= 0.95 kW/Ton_{ref}

ค่าสมรรถนะการทำความเย็นหลังปรับปรุง

$C_{hp,\ after}$ = $P_a/(Q_{e,a}/3.517)$

= 73.36/(305.24/3.517)

= 73.36 / 86.78

= 0.85 kW/Ton_{ref}

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง

E_{save} = (P_b-P_a)x Hours x Day

= (82.4 – 73.36) x 24 x 365

= 79,190 kWh /Year

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้

C_{save} = E_{save} x 3.41

= 79,190 x 3.41

= 270,039 Baht/Year

การประเมินเศรษฐศาสตร์โครงการลงทุน เพื่อการตัดสินใจลงทุน

1. งวดระยะเวลาคืนทุน (Payback period = PB)

ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุนครั้ง/ รายได้ต่อปี

= 200,000/270,039 = 0.74 ปี

= 9 เดือน

2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value = NPV)

เงินลงทุนเริ่มต้น 200,000 บาท

อายุโครงการ 5 ปี

กระแสเงินสดรับต่อปี 270,039 บาท

อัตราลดค่า (Discount rate) 10 %

PV = (270,039 x 3.7908*) = 1,023,664 บาท

*เปิดตาราง PVIFA ที่ อัตราผลตอบแทน 10 % และ อายุโครงการ 5 ปี

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสุทธิตลอดอายุโครงการลงทุน(PV)-เงินลงทุน เริ่มแรก

= 1,023,664 - 200,000

= 823,664 บาท

มีค่าเป็นบวกมีความน่าลงทุน

3. อัตราผลตอบแทนจากโครงการลงทุน (Internal rate of return = IRR)

PV Factor = 200,000/270,039

= 0.74

IRR คือ อัตราส่วนลดที่ทำให้NPV ของโครงการมีค่า 0

จากสูตร

$$-I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

ในที่นี้

n = อายุของโครงการ(ปี)

ESt = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_o = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ(total investment)

IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return

ผลการคำนวณที่อายุโครงการ 5 ปี IRR มีค่า 133.06 %

สรุปผลมาตรการ

ระยะเวลาดำเนินการ	15	Days
เงินลงทุน	200,000	Baht
ประหยัดพลังงาน	79,190	kWh /Year
ประหยัดค่าไฟ	270,039	Baht/Year
ระยะเวลาคืนทุน	0.74	Year

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value = NPV) 823,664 บาท

อัตราผลตอบแทนของโครงการลงทุน อายุโครงการ 5 ปี IRR มี่ค่า 133.06 %

ภาคผนวก ฉ

การคำนวณ มาตรการลดการใช้พลังงาน
โดยการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างอาคารสำนักงาน

ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ด้านพลังงาน

จำนวนชั่วโมงการทำงาน	=	24	Hours/Day (CORRIDOR, ROOF OF COLD STROAGE)
จำนวนชั่วโมงการทำงาน	=	14	Hours/Day (OFFICE, TEST ROOM, QA ROOM, R&D ROOM LABORYTORY ROOM, NURSE ROOM)
จำนวนชั่วโมงการทำงาน	=	8	Hours/Day (CANTEEN, SIMENAR ROOM, TOILET ROOM LOCKER ROOM, STAFF ROOM, REST ROOM CONFERENCE, GUEST 1, GUEST 2)
จำนวนหลอดไฟ	=	494	Tubes
จำนวนวันทำงาน	=	330	Days/Year
ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน	=	3.41	Baht/kWh
ราคาหลอดไฟชนิด LED	=	1200	Baht/Set
ราคาหลอดไฟชนิด T5	=	350	Baht/Set

ตารางผนวก ง-1 ข้อมูลการเปรียบเทียบหลอดไฟฟ้าแสงสว่างแต่ละประเภทของหลอด

Item	Type	Size (Watt)	Energy (Watt)	Luminous Flux (lm)	Efficacy (mm.)	Diameter (mm.)	Length (mm.)	Life (Hours)
1	Tubular Fluorescent (Low Loss Ballast)	36	42	2700-2850	89	26	1200	18000
2	Tubular High Efficiency Lamp (T5) (Electronic Ballast)	28	30	2900	104	17	1200	20000
3	Tubular Fluorescent Light Emitting (LED)	15	15	1600	90	26	1200	50000

ตารางผนวก ง-2 SPECIFICATIONS OF TUBULAR FLUORESCENT LIGHT EMITTING(LED)

LED SOURCE / CHIP	High power super bright LED
WATTAGE	15 watts
INPUT VOLTAGE	36 volt
OUTPUT VOLTAGE	200v to 260v
LUMEN	Warm White=1290Lm, Cool White=1425Lm
LIGHT COLOR	Warm White, Cool White, Red, Green, Blue, Yellow, RGB
BEAM ANGLE	120* degrees
DRIVER	Australian Certified High Quality LED Driver
LIFESPAN	>50,000 Hours
DIMENSIONS	1200mm, 4 Feet
WARRANTY	2.5 Years

Source: http://enviroledlighting.com.au/

ตารางผนวก ง-3 โคมไฟสำเร็จรูป T5 ใช้งานได้ทันที พร้อมบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
Model: Electronic Full Set T5(EFS) - F128D / T5 / S

Brand	Lekise
Tubular High Efficiency Lamp	Electronic Full Set T5 Silver
WATTAGE	28 watts
Electronic Ballast	2 watts
VOLTAGE	200v to 260v
LUMEN	2900Lm
LIGHT COLOR	Extar - Daylight
Power Factor	>0.60
LIFESPAN	20,000 Hours
DIMENSIONS	Wide : 25mm , Long: 1228 mm, High: 45 mm

Source: http://transferlightingthai.makewebeasy.com/index.php

ตารางผนวก ง-4 จำนวนหลอดไฟ FLUORESCENT 36 W แบ่งตามพื้นที่ใช้งาน

ลำดับ	พื้นที่	จำนวน (หลอด)
1	บริเวณทางเดินของอาคารสำนักงาน (CORRIDOR)	60
2	พื้นที่ห้องน้ำทั้งหมดของสำนักงาน (TOILET ROOM)	38
3	พื้นที่ห้องเก็บเปลี่ยนเสื้อผ้าพนักงาน (LOCKER ROOM)	30
4	พื้นที่โรงอาหารของโรงงาน (CANTEEN)	96
5	พื้นที่ห้องพักพนักงาน (REST ROOM)	20
6	พื้นที่ห้องพักพนักงานรายเดือน (STAFF ROOM)	6
7	บริเวณด้านบนของไลน์ผลิต (ROOF OF COLD STORAGE)	30
8	พื้นที่ห้องประชุม (GUEST ROOM 2)	4
9	พื้นที่ทำการสำนักงาน (OFFICE)	76
10	พื้นที่ห้องประชุม (GUEST ROOM 1)	12
11	พื้นที่ห้องประชุมใหญ่ (CONFERENCE ROOM)	18
12	พื้นที่ห้องทดสอบผลิตภัณฑ์ (TEST ROOM)	9
13	พื้นที่ห้องตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ (QA OFFICE ROOM)	8
14	พื้นที่ห้องวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (R&D ROOM)	13
15	พื้นที่ห้องพยาบาล (NURSE ROOM)	8
16	พื้นที่ห้องปฏิบัติการ (LABORATORY ROOM)	40
17	พื้นที่ห้องสัมมนา (SEMINAR ROOM)	26
	รวม	494

การคำนวณผลประหยัดด้านพลังงาน

1) จากหลอดไฟ Fluorescent 36 W เปลี่ยนเป็นหลอดไฟ Fluorescent T5 28 W

1. OFFICE (A_1) = 76 Tubes (14 Hours/Day)
2. CONFERENCE ROOM (A_2) = 18 Tubes (8 Hours/Day)
3. GUEST ROOM 1 (A_3) = 12 Tubes (8 Hours/Day)

<u>การคำนวณก่อนทำมาตรการ</u>

หลอดไฟ Fluorescent 36 W

กำลังไฟฟ้าของหลอด = 36 Watt/Tube

กำลังไฟฟ้าของ (Low Loss Ballast) = 6 Watt/Tube

กำลังไฟฟ้ารวม (P_{T1}) = 42 Watt/Tube

AREA: OFFICE

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (P_1) = A_1 x P_{T1} x Hours x Days

= (76 x 42 x 14 x 330) / 1000

= 14,747 kWh /Year

AREA: CONFERENCE & GUEST 1 ROOM

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (P_2) = (A_2+ A_3) x P_{T1} x Hours x Days

= ((18 + 12) x 42 x 8 x 330) / 1000

= 3,326 kWh /Year

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวม (P_{n1}) = P_1 + P_2

= 14,747 + 3,326

= 18,073 kWh /Year

<u>การคำนวณหลังทำมาตรการ</u>

หลอดไฟ Fluorescent T5 28 W

กำลังไฟฟ้าของหลอด = 28 Watt/Tube

กำลังไฟฟ้าของ (Electronic Ballast) = 2 Watt/Tube

กำลังไฟฟ้ารวม (P_{T2}) = 30 Watt/Tube

AREA: OFFICE

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (P_1) = A_1 x P_{T2} x Hours x Days

= (76 x 30 x 14 x 330) / 1000

= 10,533 kWh /Year

AREA: CONFERENCE & GUEST 1 ROOM

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (P_2) = (A_2+ A_3) x P_{T2} x Hours x Days

= ((18 + 12) x 30 x 8 x 330) / 1000

= 2,376 kWh /Year

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวม (P_{n2}) = P_1 + P_2

= 10,533 + 2,376

= 12,909 kWh /Year

พลังงานไฟฟ้าลดลง (P_{W1}) = P_{n1} - P_{n2}

= 18,073– 12,909

= 5,164 kWh /Year

2) จากหลอดไฟ Fluorescent 36 W เปลี่ยนเป็นหลอดไฟ Fluorescent LED 15 W

1.	CORRIDOR	(A_4)	=	60	Tubes (24 Hours/Day)
2.	TOILET ROOM	(A_5)	=	38	Tubes (8 Hours/Day)
3.	LOCKER ROOM	(A_6)	=	30	Tubes (8 Hours/Day)
4.	CANTEEN	(A_7)	=	96	Tubes (8 Hours/Day)
5.	REST ROOM	(A_8)	=	20	Tubes (8 Hours/Day)
6.	STAFF ROOM	(A_9)	=	6	Tubes (8 Hours/Day)
7.	ROOF OF COLD STORAGE	(A_{10})	=	30	Tubes (24 Hours/Day)
8.	GUEST ROOM 2	(A_{11})	=	4	Tubes (8 Hours/Day)
9.	TEST ROOM	(A_{12})	=	9	Tubes (14 Hours/Day)
10.	QA OFFICE ROOM	(A_{13})	=	8	Tubes (14 Hours/Day)
11.	R&D ROOM	(A_{14})	=	13	Tubes (14 Hours/Day)
12.	NURSE ROOM	(A_{15})	=	8	Tubes (14 Hours/Day)
13.	LABORATORY ROOM	(A_{16})	=	40	Tubes (14 Hours/Day)
14.	SIMENAR ROOM	(A_{17})	=	26	Tubes (8 Hours/Day)

<u>การคำนวณก่อนทำมาตรการ</u>

หลอดไฟ Fluorescent 36 W

กำลังไฟฟ้าของหลอด = 36 Watt/Tube

กำลังไฟฟ้าของ (Low Loss Ballast) = 6 Watt/Tube

กำลังไฟฟ้ารวม (P_{T1}) = 42 Watt/Tube

AREA: CORRIDOR & ROOF OF COLD STORAGE

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (P_1) = (A_4+A_{10}) x P_{T1} x Hours x Days

= ((60 + 30) x 42 x 24 x 330) / 1000

= 29,937 kWh /Year

AREA: TEST ROOM, QA ROOM, R&D ROOM, NURSE ROOM, LABORATORY ROOM

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (P_2) =(A_{12} +A_{13} +A_{14} +A_{15} +A_{16}) x P_{T1} x Hours x Days

=((9+8+13+8+40) x 42 x 14 x 330) / 1000

= 15,135 kWh /Year

AREA: TOILET, LOCKET, CANTEEN, REST ROOM, STAFF ROOM, GUEST 2, SIMENAR ROOM

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้(P_3) = (A_5+A_6+A_7+A_8+A_9+A_{11}+A_{17}) x P_{T1} x Hr x Days

= ((38+30+96+20+6+4+26) x 42 x 8 x 330) / 1000

= 24,393 kWh /Year

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวม (P_{n3}) = P_1 + P_2 + P_3

= 29,937 +15,135 + 24,393

= 69,465 kWh /Year

<u>การคำนวณหลังทำมาตรการ</u>

หลอดไฟ Fluorescent LED 15 W

กำลังไฟฟ้าของหลอด = 15 Watt/Tube

กำลังไฟฟ้ารวม (P_{T2}) = 15 Watt/Tube

AREA: CORRIDOR & ROOF OF COLD STORAGE

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (P_1) = (A_4+A_{10}) x P_{T2} x Hours x Days

= ((60 + 30) x 15 x 24 x 330) / 1000

= 10,692 kWh /Year

AREA: TEST ROOM, QA ROOM, R&D ROOM, NURSE ROOM, LABORATORY ROOM

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้(P_2) = ($A_{12}+A_{13}+A_{14}+A_{15}+A_{16}$) x P_{T2} x Hours x Days

= ((9+8+13+8+40) x 15 x 14 x 330) / 1000

= 5,405 kWh /Year

AREA: TOILET, LOCKET, CANTEEN, REST ROOM, STAFF ROOM, GUEST 2, SIMENAR ROOM

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้(P_3) = ($A_5+A_6+A_7+A_8+A_9+A_{11}+A_{17}$) x P_{T2} x Hr x Days

= ((38+30+96+20+6+4+26) x 15 x 8 x 330) / 1000

= 8,712 kWh /Year

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวม (P_{n4}) = $P_1 + P_2 + P_3$

= 10,692 + 5,405 + 8,712

= 24,809 kWh /Year

พลังงานไฟฟ้าลดลง (P_{W2}) = $P_{n3} - P_{n4}$

= 69,465 – 24,809

= 44,656 kWh /Year

<u>ผลประหยัดพลังงาน</u>

ประหยัดพลังงานไฟฟ้ารวม = $P_{W1} + P_{W2}$

= 5,164+ 44,656

= 49,820 kWh /Year

ประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้ารวม = 49,820 x 3.41

= 169,886 Baht / Year

<u>คำนวณการลงทุน/คืนทุน</u>

Fluorescent T5 28 W

ราคาหลอดไฟ = 350 Baht / Set

ค่าติดตั้ง = 120 Baht

จำนวนหลอดไฟ = 106 Tubes

เงินลงทุน = 470 x 106

= 49,820 Baht

Fluorescent LED 15 W

ราคาหลอดไฟ	=	1,200 Baht Set
ค่าติดตั้ง	=	120 Baht
จำนวนหลอดไฟ	=	388 Tubes
เงินลงทุน	=	1,320 x 388
	=	512,160 Baht
เงินลงทุนรวมค่าหลอดไฟและติดตั้ง	=	49,820 + 512,160
รวมเงินลงทุน	=	561,980 Baht

การประเมินเศรษฐศาสตร์โครงการลงทุน เพื่อการตัดสินใจลงทุน

1. งวดระยะเวลาคืนทุน (Payback period = PB)

ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุนครั้ง/ รายได้ต่อปี

= 561,980 /169,886

= 3.31 ปี

2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value = NPV)

เงินลงทุนเริ่มต้น 561,980 บาท

อายุโครงการ 5 ปี

กระแสเงินสดรับต่อปี 169,886 บาท

อัตราลดค่า (Discount rate) 10 %

PV = (169,886 x 3.7908*) = 644,003 บาท

*เปิดตาราง PVIFA ที่ อัตราผลตอบแทน 10 % และ อายุโครงการ 5 ปี

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสุทธิตลอดอายุโครงการลงทุน(PV)-เงินลงทุน เริ่มแรก

= 644,003 – 561,980

= 82,023 บาท

มีค่าเป็นบวกมีความน่าลงทุน

3. อัตราผลตอบแทนจากโครงการลงทุน (Internal rate of return = IRR)

PV Factor = 561,980 /169,886

= 3.31

เปิดตาราง PVIFA ที่ 3.31 และ อายุโครงการ 5 ปี

อัตราผลตอบแทนของโครงการลงทุน= 16.5 %

สรุปผลการทำมาตรการ

ระยะเวลาดำเนินการ	30	Days
เงินลงทุน	561,980	Baht
ประหยัดพลังงาน	49,820	kWh /Year
ประหยัดค่าไฟฟ้า	169,886	Baht /Year
ระยะเวลาคืนทุน	3.31	Years

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value = NPV) 82,023 บาท

อัตราผลตอบแทนของโครงการลงทุน (IRR) = 16.5 %

ภาคผนวก ช

PVIFA ที่ 0-100% ระยะเวลา 5 ปี

ตารางผนวก ฉ -1 PVIFA ที่ 0-100% ระยะเวลา 5 ปี

Periods	1	2	3	4	5
1%	0.9901	1.9704	2.9410	3.9020	4.8534
2%	0.9804	1.9416	2.8839	3.8077	4.7135
3%	0.9709	1.9135	2.8286	3.7171	4.5797
4%	0.9615	1.8861	2.7751	3.6299	4.4518
5%	0.9524	1.8594	2.7232	3.5460	4.3295
6%	0.9434	1.8334	2.6730	3.4651	4.2124
7%	0.9346	1.8080	2.6243	3.3872	4.1002
8%	0.9259	1.7833	2.5771	3.3121	3.9927
9%	0.9174	1.7591	2.5313	3.2397	3.8897
10%	0.9091	1.7355	2.4869	3.1699	3.7908
11%	0.9009	1.7125	2.4437	3.1024	3.6959
12%	0.8929	1.6901	2.4018	3.0373	3.6048
13%	0.8850	1.6681	2.3612	2.9745	3.5172
14%	0.8772	1.6467	2.3216	2.9137	3.4331
15%	0.8696	1.6257	2.2832	2.8550	3.3522
16%	0.8621	1.6052	2.2459	2.7982	3.2743
17%	0.8547	1.5852	2.2096	2.7432	3.1993
18%	0.8475	1.5656	2.1743	2.6901	3.1272
19%	0.8403	1.5465	2.1399	2.6386	3.0576
20%	0.8333	1.5278	2.1065	2.5887	2.9906
21%	0.8264	1.5095	2.0739	2.5404	2.9260
22%	0.8197	1.4915	2.0422	2.4936	2.8636
23%	0.8130	1.4740	2.0114	2.4483	2.8035
24%	0.8065	1.4568	1.9813	2.4043	2.7454
25%	0.8000	1.4400	1.9520	2.3616	2.6893
26%	0.7937	1.4235	1.9234	2.3202	2.6351
27%	0.7874	1.4074	1.8956	2.2800	2.5827
28%	0.7813	1.3916	1.8684	2.2410	2.5320

ตารางผนวก ฉ -1 PVIFA ที่ 0-100% ระยะเวลา 5 ปี(ต่อ)

Periods	1	2	3	4	5
29%	0.7752	1.3761	1.8420	2.2031	2.4830
30%	0.7692	1.3609	1.8161	2.1662	2.4356
31%	0.7634	1.3461	1.7909	2.1305	2.3897
32%	0.7576	1.3315	1.7663	2.0957	2.3452
33%	0.7519	1.3172	1.7423	2.0618	2.3021
34%	0.7463	1.3032	1.7188	2.0290	2.2604
35%	0.7407	1.2894	1.6959	1.9969	2.2200
36%	0.7353	1.2760	1.6735	1.9658	2.1807
37%	0.7299	1.2627	1.6516	1.9355	2.1427
38%	0.7246	1.2497	1.6302	1.9060	2.1058
39%	0.7194	1.2370	1.6093	1.8772	2.0699
40%	0.7143	1.2245	1.5889	1.8492	2.0352
41%	0.7092	1.2122	1.5689	1.8219	2.0014
42%	0.7042	1.2002	1.5494	1.7954	1.9686
43%	0.6993	1.1883	1.5303	1.7694	1.9367
44%	0.6944	1.1767	1.5116	1.7442	1.9057
45%	0.6897	1.1653	1.4933	1.7195	1.8755
46%	0.6849	1.1541	1.4754	1.6955	1.8462
47%	0.6803	1.1430	1.4579	1.6720	1.8177
48%	0.6757	1.1322	1.4407	1.6491	1.7899
49%	0.6711	1.1216	1.4239	1.6268	1.7629
50%	0.6667	1.1111	1.4074	1.6049	1.7366
51%	0.6623	1.1008	1.3913	1.5836	1.7110
52%	0.6579	1.0907	1.3755	1.5628	1.6861
53%	0.6536	1.0808	1.3600	1.5425	1.6617
54%	0.6494	1.0710	1.3448	1.5226	1.6381
55%	0.6452	1.0614	1.3299	1.5032	1.6150
56%	0.6410	1.0519	1.3153	1.4842	1.5924

ตารางผนวก ฉ -1 PVIFA ที่ 0-100% ระยะเวลา 5 ปี(ต่อ)

Periods	1	2	3	4	5
57%	0.6369	1.0426	1.3010	1.4656	1.5705
58%	0.6329	1.0335	1.2870	1.4475	1.5490
59%	0.6289	1.0245	1.2733	1.4297	1.5281
60%	0.6250	1.0156	1.2598	1.4124	1.5077
61%	0.6211	1.0069	1.2465	1.3954	1.4878
62%	0.6173	0.9983	1.2335	1.3787	1.4683
63%	0.6135	0.9899	1.2208	1.3624	1.4494
64%	0.6098	0.9816	1.2083	1.3465	1.4308
65%	0.6061	0.9734	1.1960	1.3309	1.4127
66%	0.6024	0.9653	1.1839	1.3156	1.3949
67%	0.5988	0.9574	1.1721	1.3006	1.3776
68%	0.5952	0.9495	1.1604	1.2860	1.3607
69%	0.5917	0.9418	1.1490	1.2716	1.3441
70%	0.5882	0.9343	1.1378	1.2575	1.3280
71%	0.5848	0.9268	1.1268	1.2437	1.3121
72%	0.5814	0.9194	1.1159	1.2302	1.2966
73%	0.5780	0.9122	1.1053	1.2169	1.2815
74%	0.5747	0.9050	1.0948	1.2039	1.2666
75%	0.5714	0.8980	1.0845	1.1912	1.2521
76%	0.5682	0.8910	1.0744	1.1787	1.2379
77%	0.5650	0.8842	1.0645	1.1664	1.2239
78%	0.5618	0.8774	1.0547	1.1543	1.2103
79%	0.5587	0.8708	1.0451	1.1425	1.1969
80%	0.5556	0.8642	1.0357	1.1309	1.1838
81%	0.5525	0.8577	1.0264	1.1195	1.1710
82%	0.5495	0.8513	1.0172	1.1084	1.1584
83%	0.5464	0.8451	1.0082	1.0974	1.1461
84%	0.5435	0.8388	0.9994	1.0866	1.1340

ตารางผนวก ฉ -1 PVIFA ที่ 0-100% ระยะเวลา 5 ปี(ต่อ)

Periods	1	2	3	4	5
85%	0.5405	0.8327	0.9907	1.0760	1.1222
86%	0.5376	0.8267	0.9821	1.0656	1.1106
87%	0.5348	0.8207	0.9737	1.0554	1.0992
88%	0.5319	0.8148	0.9653	1.0454	1.0880
89%	0.5291	0.8090	0.9572	1.0355	1.0770
90%	0.5263	0.8033	0.9491	1.0259	1.0662
91%	0.5236	0.7977	0.9412	1.0163	1.0557
92%	0.5208	0.7921	0.9334	1.0070	1.0453
93%	0.5181	0.7866	0.9257	0.9978	1.0351
94%	0.5155	0.7812	0.9181	0.9887	1.0251
95%	0.5128	0.7758	0.9107	0.9798	1.0153
96%	0.5102	0.7705	0.9033	0.9711	1.0057
97%	0.5076	0.7653	0.8961	0.9625	0.9962
98%	0.5051	0.7601	0.8890	0.9540	0.9869
99%	0.5025	0.7550	0.8819	0.9457	0.9777
100%	0.5000	0.7500	0.8750	0.9375	0.9688

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ สกุล	ร้อยโท พงศธร ปียวรรณ
วันเดือนปีเกิด	24 มิถุนายน 2529
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	21/53ก ซอย 15 ถนนลาดพร้าว แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

ประวัติการศึกษา

ชั้นมัธยมศึกษา	โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ฝ่ายมัธยม) สำเร็จในปีการศึกษา 2546
ปริญญาตรี	สาขา วิศวกรรมการจัดการ สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำเร็จในปีการศึกษา 2551

ประวัติการทำงาน

2555 - ปัจจุบัน	รับราชการทหาร นายทหารการข่าว กอง ทหารสารวัตร สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม
2553 – 2555	รับราชการทหาร นายทหารส่งกำลัง กอง ทหารสารวัตร สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม