การจัดการพลังงานของระบบอัดอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้ว

นางสาวอัจฉราภรณ์ ฟักแสง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 University Graduate School.

ENERGY MANAGEMENT OF AIR COMPRESSOR SYSTEM IN GLASS INDUSTRY

Miss Adcharaporn Faxsaeng

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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	การจัดการพลังงานของระบบอัดอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้ว
โดย	นางสาวอัจฉราภรณ์ ฟักแสง
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธ์ เอี่ยมสอาด)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อัจฉราภรณ์ ฟักแสง : การจัดการพลังงานของระบบอัดอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้ว. (ENERGY MANAGEMENT OF AIR COMPRESSOR SYSTEM IN GLASS INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิทยา ยงเจริญ, 88 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการจัดการพลังงานของระบบอัดอากาศในโรงงานอุสาหกรรมผลิตขวดแก้วของโรงงานตัวอย่างแห่งหนึ่งในประเทศไทย โดยทำการสำรวจการใช้งานเครื่องอัดอากาศในโรงงาน เพื่อคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่อง แล้วทำการเปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศที่มีอายุการใช้งานมาก สมรรถนะต่ำ กับเครื่องอัดอากาศใหม่ รวมถึงการสำรวจลมรั่วในระบบอากาศอัด เพื่อการประหยัดพลังงาน

จากการสำรวจการใช้งานของเครื่องอัดอากาศในโรงงานตัวอย่าง พบว่า เครื่องอัดอากาศ No.5 Atlas cooper GA-1408W มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิตมากที่สุด คือ 0.446 kW/l/sec และ No.1 JOY TA-18 มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิตน้อยที่สุด คือ 0.304 kW/l/sec จึงได้การจัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศโดยให้เครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะสูงทำงานให้ได้สูงสุด และที่มีสมรรถนะต่ำไว้เป็นตัวสำรองในกรณีที่มีการหยุดซ่อมบำรุงเครื่องอัดอากาศ หรือในกรณีฉุกเฉินที่ลมขาด ไม่เพียงพอ และนำผลที่ได้จากการสำรวจนั้นมาทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ระหว่างเครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะต่ำสุดจำนวน 2 เครื่อง กับเครื่องอัดอากาศใหม่จำนวน 1 เครื่อง พบว่า เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากการลงทุนซื้อเครื่องอัดอากาศใหม่มีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 4 ปี 9 เดือน มีค่า NPV เป็นบวก คือ 3,914,792 และ มีค่า IRR มากถึง 21% และจากการสำรวจลมรั่ว พบลมรั่วจำนวน 3 จุด ซึ่งมีมูลค่าการสูญเสียรวมกัน เท่ากับ 206,256 บาท/ปี จึงควรมีการวางมาตรการในการลดลมรั่ว เพื่อลดความสูญเสียลงด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

5387586520 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORDS: ENERGY MANAGEMENT / ENERGY SAVING / AIR COMPRESSOR SYSTEM / SPECIFIC POWER CONSUMPTION

ADCHARAPORN FAXSAENG: ENERGY MANAGEMENT OF AIR COMPRESSOR SYSTEM IN GLASS INDUSTRY. ADVISOR: ASSOC. PROF. WITTAYA YONGCHAROEN, Ph.D., 88 pp.

Objective of this thesis is to investigate energy management of air compressor system of glass industry in Thailand. Air compressor operation was surveyed in a sample factory for calculation of specific power consumption of each air compressors. And then, Comparison of old air compressor having the highest specific power consumption with a new air compressor was done. Air leak in compressed air system was also investigated for energy saving.

The results from surveying of operated air compressors in this factory showed that air compressors No.5 Atlas cooper GA-1408W has the highest specific consumption as 0.446 kW/l/sec. and No.1 JOY TA-18 has the lowest specific consumption as 0.304 kW/l/sec. In conclusion, energy management should be done by operation of air compressors having low specific consumption for full capacity and keeping air compressors having high specific consumption as spares in case of maintenance or insufficient of compressed air in the system. In addition, the survey results were analyzed the economic value by comparing use of the 2 air compressors having highest specific consumption with a new air compressor and found an attractive alternative. Replacing with the new air compressor shows that its payback period is 4 years 9 months; the NPV is positive at 3,914,792 and the IRR is up to 21%. Moreover, 3 points of air leakage were found in this system. The total loss is estimated at 206,256 baht/year. It is therefore necessary to take countermeasures against this air leakage problem to reduce the losses.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Energy Technology and Management
Student's Signature .....
Advisor's Signature .....
Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือ สนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย ให้คำปรึกษา และเอาใจใส่อย่างยิ่งจาก รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในสถาบันวิจัยพลังงาน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช ประธานกรรมการ รศ.ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์ กรรมการ และ รศ.ดร.สมิทธ์ เอี่ยมสอาด กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ช่วยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ บริษัท สยามกลาสอินดัสทรี จำกัด ที่อนุญาตให้ทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนทั้งด้านค่าใช้จ่าย และเป็นกำลังใจที่สำคัญตลอดมา ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญรูป 1

สารบัญตาราง ..... ค

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา 1

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 7

3.1 การผลิตอากาศอัด 7

3.2 ชนิดของเครื่องอัดอากาศ 7

3.3 การหาสมรรถนะเครื่องอัดอากาศ 11

3.4 การหาอัตรารั่วไหลและค่าพลังงานที่สูญเสียในการอัดอากาศ 11

3.4.1 การหาอัตราการรั่วไหลของอากาศอัด 11

3.4.1.1 การทดสอบหาปริมาณอากาศอัดที่รั่วไหล 11

3.4.1.2 การคิดการรั่วไหลของอากาศอัดเฉพาะจุด 13

3.4.2 การหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในการอัดอากาศ 15

3.5 โครงสร้างค่าไฟฟ้า 15

3.5.1 อัตราค่าไฟฟ้า 16

3.5.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้า 17

3.5.3 ตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า 17

3.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน 20

3.7 การจัดการพลังงาน 23

3.7.1 การจัดให้มีคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน 24

หน้า

3.7.2 การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น 25
3.7.3 การกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน 26
3.7.4 การจัดให้มีการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน 26
3.7.5 การจัดให้มีการกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน 27
3.7.6 การจัดให้มีการควบคุมดูแล การตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน 27
3.7.7 การจัดให้มีการตรวจติดตาม และประเมินการจัดการพลังงาน 27
3.7.8 การจัดให้มีการทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน 27
บทที่ 4 วิธีการดำเนินการวิจัย 28
4.1 ข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการและการใช้พลังงาน 28
4.2 กระบวนการผลิตขวดแก้ว 31
4.3 ขั้นตอนการผลิตขวดแก้ว 33
4.3.1 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ 33
4.3.2 กระบวนการผลิต 33
4.3.3 ตรวจสอบคุณภาพพร้อมส่งมอบลูกค้า 33
4.4 ข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องอัดอากาศ 35
4.4 ข้อมูลค่าไฟฟ้าของโรงงานที่ทำการศึกษา 48
4.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด 50
4.5.1 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Flow meter) 50
4.5.2 อุปกรณ์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Power meter) 51
4.5 การสำรวจลมรั่วในระบบอัดอากาศ 52
บทที่ 5 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ 53
5.1 ผลการคำนวณสมรรถนะเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) 53
5.2 ผลการเปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) 56
5.3 ผลการคำนวณหาปริมาณลมรั่วและค่าการสูญเสียพลังงาน 57
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 58
6.1 สรุปผลการวิจัย 58
6.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยต่อไป 59

หน้า

รายการอ้างอิง 60
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการตรวจวัด 62
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ 70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ในระบบอัดอากาศ [5] 7
รูปที่ 3.2 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ [5] 8
รูปที่ 3.3 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีเวน [5] 9
รูปที่ 3.4 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรู [5] 9
รูปที่ 3.5 เครื่องอัดอากาศแบบอาศัยแรงเหวี่ยง [5] 10
รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศชนิดต่างๆ [6] 11
รูปที่ 3.7 การบันทึกสภาวะการทำงานของเครื่องแบบ (Load + Unload) 13
รูปที่ 3.8 แสดงขนาดของท่อและลมรั่ว 14
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงการรั่วไหลเมื่อทราบค่าความดันของอากาศอัด 14
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างในแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า 17
รูปที่ 3.11 รูปแสดงแผนผังโครงสร้างการจัดการพลังงาน [10] 24
รูปที่ 4.1 แผนที่ของสถานประกอบการที่เข้าทำการศึกษา 28
รูปที่ 4.2 ปริมาณการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้วปี 2554 29
รูปที่ 4.3 สัดส่วนการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้วปี 2554 29
รูปที่ 4.4 สัดส่วนรายจ่ายค่าพลังงานในอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้วปี 2554 30
รูปที่ 4.5 สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานในปี 2554 31
รูปที่ 4.6 ผังภาพกระบวนการผลิตทั่วไปของอุตสาหกรรมแก้ว 32
รูปที่ 4.7 กระบวนการผลิตขวดแก้วของอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษา 32
รูปที่ 4.8 แผนผังแสดงการใช้พลังงานของแต่ละกระบวนการผลิต 34
รูปที่ 4.9 แผนผังแสดงการใช้ลมจากเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ในแต่ละกระบวนการผลิต 35
รูปที่ 4.10 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 1 JOY TA-38 (Turbo) 39
รูปที่ 4.11 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 2 JOY TA-38 (Turbo) 39
รูปที่ 4.12 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 3 JOY TA-38 (Turbo) 40
รูปที่ 4.13 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 4 Atlas cooper GA-1408W (Rotary Screw) 40
รูปที่ 4.14 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 5 Atlas cooper GA-1408W (Rotary Screw) 41
รูปที่ 4.15 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 6 Atlas cooper GA-1408W (Rotary Screw) 41

รูปที่ 4.16 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 7 Atlas cooper GA-1408W (Rotary Screw)..... 42
รูปที่ 4.17 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 8 Atlas cooper GA-1408W (Rotary Screw)..... 42
รูปที่ 4.18 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 9 JOY TA-18 (Turbo) 43
รูปที่ 4.19 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 10 JOY TA-18 (Turbo) 43
รูปที่ 4.20 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 11 JOY TA-18 (Turbo) 44
รูปที่ 4.21 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 12 JOY TA-18 (Turbo) 44
รูปที่ 4.22 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 13 DEMAG ROW-600 (Rotary Vane) 45
รูปที่ 4.23 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 14 Gardner ROL-120 (Rotary Vane). 45
รูปที่ 4.24 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 15 Gardner ROL-120 (Rotary Vane). 46
รูปที่ 4.25 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 16 IHI Tx-A200 (Turbo) 46
รูปที่ 4.26 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 17 IHI Tx-A200 (Turbo) 47
รูปที่ 4.27 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 18 IHI Tx-A290L (Turbo) 47
รูปที่ 4.28 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Flow meter) 50
รูปที่ 4.29 อุปกรณ์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Power meter)..... 51
รูปที่ ก. 1 ตัวอย่างใบแสดงข้อมูลจำเพาะของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) 64
รูปที่ ก. 2 วิธีการตรวจวัดอัตราการไหลของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)..... 66
รูปที่ ก. 3 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลการตรวจวัดอัตราการไหลของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) 66
รูปที่ ก. 4 วิธีการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)..... 67
รูปที่ ก. 5 รูปรูที่มีลมรั่ว ที่โรงผสม F#1,2 67
รูปที่ ก. 6 รูปรูที่มีลมรั่ว ที่เครื่อง IS#6 68
รูปที่ ก. 7 รูปรูที่มีลมรั่ว ที่เครื่อง Inspection Line#11 68
รูปที่ ก. 8 ข้อมูลราคาเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) IHI TXA-290L 1 set 69
รูปที่ ข. 1 ตัวอย่างใบแจ้งค่าไฟฟ้า..... 81
รูปที่ ข. 2 การคำนวณ NPV และ IRR 84
รูปที่ ข. 3 รูปรูที่มีลมรั่ว ที่โรงผสม F#1,2 85
รูปที่ ข. 4 รูปรูที่มีลมรั่ว ที่เครื่อง IS#6 86
รูปที่ ข. 5 รูปรูที่มีลมรั่ว ที่เครื่อง Inspection Line#11 87

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนการผลิตในแต่ละเตาหลอมของอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้ว 28
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) 36
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลมอเตอร์ปั๊มลมของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) 37
ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลการเดินเครื่องอัดอากาศประจำวัน (Air Compressor) 38
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าไฟฟ้าของปี 2554 48
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ปี 2554 49
ตารางที่ 5.1 แสดงสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ No.1-12 53
ตารางที่ 5.2 แสดงการจัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ No.1-18 55
ตารางที่ 5.3 ผลการคำนวณหาปริมาณลมรั่วและค่าการสูญเสียพลังงาน 57
ตารางที่ ก. 1 แสดงข้อมูลประสิทธิภาพเริ่มต้นของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) 63
ตารางที่ ก. 2 แสดงข้อมูลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 65
ตารางที่ ก. 3 แสดงข้อมูลขนาดรูของลมที่รั่วในระบบอัดอากาศ 67
ตารางที่ ข. 1 แสดงข้อมูลเริ่มต้นของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) 71
ตารางที่ ข. 2 แสดงข้อมูลการตรวจวัดเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) 75
ตารางที่ ข. 3 แสดงข้อมูลเครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะต่ำ 81
ตารางที่ ข. 4 แสดงข้อมูลค่าไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะต่ำ 82
ตารางที่ ข. 5 แสดงข้อมูลสมรรถนะเครื่องอัดอากาศเครื่องใหม่ 82
ตารางที่ ข. 6 แสดงข้อมูลค่าซ่อมบำรุงเครื่องอัดอากาศ 83
ตารางที่ ข. 7 แสดงข้อมูลขนาดรูของลมที่รั่วในระบบอัดอากาศ 85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากในอุตสาหกรรมการผลิตขวดแก้วเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานในการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยพลังงานที่ใช้ในโรงงานผลิตขวดแก้ว จะมีอยู่ 2 ส่วนหลักๆ คือ ก๊าซธรรมชาติ และ ไฟฟ้า โดยก๊าซธรรมชาติจะเป็นพลังงานหลักที่ใช้ในการหลอมแก้ว และไฟฟ้าจะเป็นพลังงานหลักที่ใช้ในการขึ้นรูปขวดแก้ว เนื่องจากการขึ้นรูปขวดแก้วจะต้องใช้ลมจากระบบเครื่องอัดอากาศมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งระบบอัดอากาศเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก ถึงแม้ว่าอากาศจะเป็นของที่ได้เปล่า และมีอยู่ทั่วไปรอบตัวเรา แต่การอัดอากาศให้มีปริมาตรที่เล็กลงนั่นเอง ที่เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้มีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก ซึ่งจากการเก็บข้อมูลของค่าไฟฟ้าในปี 2554 ของโรงงานผลิตขวดแก้วตัวอย่าง พบว่ามีมูลค่าสูงถึง 146 ล้านบาท ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 12 ของต้นทุนทั้งหมดของโรงงาน แต่หากคิดเป็นมูลค่าของค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเครื่องอัดอากาศโดยคิดเป็นค่าพลังงานร้อยละ 40 ของค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน ก็จะมีมูลค่าอยู่ที่ประมาณ 60 ล้านบาทต่อปี ซึ่งนับว่าเป็นมูลค่าที่สูง

ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่ว่าหากเราสามารถจัดการพลังงานของระบบเครื่องอัดอากาศได้ ก็จะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลง และสามารถลดค่าการใช้พลังงานของโรงงานลงได้ ช่วยเพิ่มผลกำไรให้กับโรงงาน และยังช่วยในการลดการใช้พลังงานของประเทศลงด้วย จึงทำให้เกิดการศึกษาในหัวข้อ “การจัดการพลังงานของระบบเครื่องอัดอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้ว” ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาอาจนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทเดียวกัน หรือโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆได้ และก็จะทำให้เกิดการลดการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งถือว่าเป็นภาคส่วนที่มีการใช้พลังงานเป็นอันดับต้นของประเทศลงได้

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

เพื่อศึกษาวิเคราะห์และหาแนวทางในการจัดการพลังงานของระบบเครื่องอัดอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้ว

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาการใช้พลังงานของโรงงานและของระบบลมอัด ของโรงงานผลิตขวดแก้ว 1 แห่ง ในประเทศไทย

2. ศึกษาประวัติและการใช้งานของเครื่องอัดอากาศ

3. หาสมรรถนะของระบบเครื่องอัดอากาศ โดยการสำรวจข้อมูลการใช้งานจริงในโรงงานตัวอย่าง

4. ประเมินหาสมรรถนะของระบบเครื่องอัดอากาศ โดยการสำรวจข้อมูลการใช้งานจริงในโรงงานตัวอย่าง

5. วิเคราะห์มาตรการประหยัดพลังงาน 3 มาตรการ ดังนี้

5.1 จัดลำดับการใช้งานให้เครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะสูง ทำงานให้ได้มากที่สุด

5.2 ทำการเปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศที่มีอายุการใช้งานมาก สมรรถนะต่ำกับเครื่องใหม่

5.3 มีมาตรการการบำรุงรักษา และลดลมรั่ว เพื่อการประหยัดพลังงาน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. สำรวจและรวบรวมข้อมูลการใช้งานเครื่องอัดอากาศเบื้องต้นในโรงงานผลิตขวดแก้วตัวอย่าง

2. นำข้อมูลเบื้องต้นที่รวบรวมได้ มาทำการวิเคราะห์เพื่อวางแนวทางสำรวจการใช้งานจริง

3. สำรวจและเก็บข้อมูลการใช้งานจริงของเครื่องอัดอากาศ

4. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้ เพื่อหาแนวทางในการจัดการพลังงานของระบบเครื่องอัดอากาศ

5. สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางในการจัดการพลังงานของระบบเครื่องอัดอากาศ

2. สามารถลดการใช้พลังงานและเพิ่มผลกำไรให้กับบริษัทได้

3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทเดียวกันได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาญณรงค์ ลุนสะแกวงษ์ [1] ศึกษาการหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศและประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นในโรงงาน ไดเซล เซฟตี้ เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย) โดยใช้วิธีการวัดทางตรงและทางอ้อม ได้ผลการศึกษาคือ ส่วนที่หนึ่งสมรรถนะเครื่องอัดอากาศ (Specific Power Consumption) ชุดที่ ACP 1/1, ACP1/2 และ ACP1/3 เท่ากับ 8.77, 7.35 และ 6.52 kWe/Q_{FAD} ตามลำดับ และมีอัตราการรั่วไหลของลมเท่ากับ 5.53 m^3/min คิดเป็น 16.30% พบว่าสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศมีค่าลดลงจากค่าเริ่มติดตั้ง จึงได้เสนอมาตรการการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน เชิงพยากรณ์ การเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้งานและมาตรการอุดรอยรั่วซึ่งสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 162,086.40 บาท/ปี ส่วนที่สองประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นชุดที่ CH1/1 และ CH1/2 เท่ากับ 1.40 และ 1.57 kW/Ton ตามลำดับ พบว่าค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นทั้งสองเครื่องมีค่าสูงเกินมาตรฐานจึงได้เสนอมาตรการเปลี่ยนระบบเครื่องทำน้ำเย็นจากระบบระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้เงินลงทุนประมาณ 6,000,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 2.16 ปี

จากงานนี้วิจัยนี้ สามารถนำเอาวิธีการหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ และการหาอัตราการรั่วไหล มาเป็นแนวทางในการทำการวิจัยได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประกอบ เอี่ยมสะอาด [2] ศึกษาวิเคราะห์หาแนวทางในการบริหารจัดการพลังงานหรือมาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด เพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานและประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละมาตรการที่ดำเนินการ โดยเก็บข้อมูลจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้งานระบบอากาศอัด จำนวน 23 โรงงาน มาวิเคราะห์หาแนวทางหรือมาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด และประเมินศักยภาพโดยรวมของโรงงานควบคุมที่ดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด ซึ่งผลการวิจัยพบว่า มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการลดการรั่วไหล สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 1.35 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน, มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบส่งจ่ายและใช้ประโยชน์อากาศอัดสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 0.79 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน, มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการควบคุมระดับความดันของอากาศอัด สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 0.30 ของการใช้ไฟฟ้า

ทั้งหมดของโรงงาน, มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 0.33 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน, มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการดัดแปลงระบบท่อส่งจ่ายอากาศอัด สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 1.36 และมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการติดตั้งถังเก็บอากาศอัด สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 1.34 และมีศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัดของโรงงานอุตสาหกรรม(ควบคุม) ประมาณร้อยละ5.47 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้ประมาณ 2,300 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/Y) หรือประมาณ 196 ktoe/ปี

จากงานนี้วิจัยนี้ สามารถนำเอาวิธีการหาแนวทางในการบริหารจัดการพลังงานหรือมาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัดของโรงงานอุสาหกรรม มาเป็นแนวทางในการทำการวิจัยได้

โครงการพัฒนาผู้ประกอบการอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกไทย (กรณีศึกษา : การลดต้นทุนพลังงานในระบบลมอัดอากาศ) [3] ศึกษาถึงการใช้พลังงานของสถานประกอบการตัวอย่างซึ่งดำเนินธุรกิจผลิตเม็ดแม่สีพลาสติก (Master Batch Resin) แม่สียาง และสารเพิ่มคุณภาพพลาสติกสำหรับอุตสาหกรรมพลาสติกทั้งภายในและภายนอกประเทศ มีกำลังการผลิต 2,000 ตันต่อเดือน มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 4,052,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี มีการใช้พลังงานในระบบลมอัดอากาศร้อยละ 16.24 จึงมีการเสนอมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานดังนี้ 1. ติดตั้งปืนลม 2. ลดอุณหภูมิในห้องเครื่องอัดอากาศ 3. ลดความดันอากาศอัดที่ใช้ในการทำความสะอาด 4. ลดความดันเครื่องอัดอากาศ จากการดำเนินการปรับปรุงตามมาตรการที่ได้เสนอนั้น สถานประกอบการสามารถลดการใช้พลังงานได้ 510,483 บาท/ปี หรือคิดเป็น 4% ของการใช้พลังงาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

มาตรการ	ผลการอนุรักษ์พลังงาน		การลงทุนและผลตอบแทน	
	ไฟฟ้า (kWh / ปี)	รวม (บาท / ปี)	เงินลงทุน (บาท)	ระยะคืนทุน (เดือน)
1. ติดตั้งปืนลม	31,971	105,536	2,500	1
2. ลดอุณหภูมิในห้องเครื่องอัดอากาศ	19,747	65,164	10,000	2
3. ลดความดันอากาศอัดที่ใช้ทำความสะอาด	100,651	332,148	5,000	1
4. ลดความดันเครื่องอัดอากาศ	2,313	7,635	0	0
รวมทั้งสิ้น	**154,682**	**510,483**	**17,500**	**1**

ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 154,682 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี คิดเป็นมูลค่าการประหยัดได้ 510,483 บาท/ปี โดยมีเงินลงทุน 17,500 บาท และมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 1 เดือน

จากงานนี้วิจัยนี้ สามารถนำเอาวิธีการหาแนวทางในการเสนอมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานในระบบลมอัดอากาศ มาเป็นแนวทางในการทำการวิจัยได้

วิทยา เตชาวงศ์ [4] ทำการศึกษาโรงงานตัวอย่างที่มีค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาตามวาระหลักของเครื่องอัดอากาศที่สูงมาก รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาปกติที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแต่ละปี โดยที่โรงงานนี้ยังไม่มีการวิเคราะห์ด้วยหลักวิชาการที่เหมาะสม เพื่อให้ทราบว่าแนวทางการบำรุงรักษาที่จะทำให้มีค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำกว่าแนวทางที่ดำเนินการเดิมได้หรือไม่ ในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับค่าติดตั้งเครื่องอัดอากาศครั้งแรก (ปี 2544) ค่าเสื่อมราคาค่าบำรุงรักษา และราคาเครื่องอัดอากาศใหม่ที่สำรวจล่าสุด มาใช้วิเคราะห์เพื่อทำนายค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาในอนาคต และได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมพลวัต เพื่อการหานโยบายการบำรุงรักษาและการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศ ซึ่งผลจากการประยุกต์ใช้โปรแกรมพลวัต พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศใหม่ทดแทนการซ่อมใหญ่ของเครื่องจักรเดิม เมื่อใช้งานไปถึงปีที่ 9 หรือในตอนสิ้นปี 2552 และเริ่มใช้งานเครื่องใหม่ แล้วขายเครื่องเก่าไปในตอนต้นปี 2553 โดยใช้เครื่องใหม่ไปจนถึงปี 2562 ซึ่งครบปีที่ 20 ตามที่กำหนดอายุของโครงการ จะได้ผลประมาณค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุโครงการทั้งสิ้น 20.98 ล้านบาทต่อเครื่อง เมื่อเทียบกับค่าประมาณค่าใช้จ่ายจากการใช้วิธีการบำรุงรักษาตามแนวทางเดิม ที่มีค่าทั้งสิ้น 26.49 ล้านบาทต่อเครื่อง จะเห็นว่ามีค่าประมาณค่าใช้จ่ายต่ำกว่าถึง 5.51 ล้านบาท หรือ ร้อยละ 20.8 ซึ่งทางโรงงานสามารถนำผลที่ได้นี้มาใช้เป็นแนวทางในกำหนดนโยบายในการวางแผนการซ่อมบำรุงและการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศต่อไป

จากงานนี้วิจัยนี้ สามารถนำเอาวิธีการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ค่าซ่อมบำรุง เครื่องอัดอากาศเครื่องเก่าและใหม่ มาเป็นแนวทางในการทำการวิจัยได้

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การผลิตอากาศอัด [5]

อุปกรณ์ในระบบอัดอากาศ ในการอัดอากาศให้มีความดันและมีอัตราการไหลของอากาศอัด ตามต้องการนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์หลักที่สำคัญ คือ

1. ตัวกรองอากาศเข้า (Air Inlet Filter) ทำหน้าที่ กรองฝุ่นละอองจากอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

2. เครื่องอัดอากาศ (Compressor) ทำหน้าที่อัดอากาศให้มีความดันและมีอัตราการไหลของอากาศอัดตามต้องการ

3. เครื่องหล่อเย็นหลังการอัด (After Cooler) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากอากาศที่อัดแล้ว

4. ตัวแยกความชื้น (Moisture Separator) ทำหน้าที่แยกน้ำที่กลั่นตัวออกจากอากาศอัด

5. วาล์วนิรภัย (Safety Valve) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ความดันของอากาศอัดมีค่าสูงเกินไป

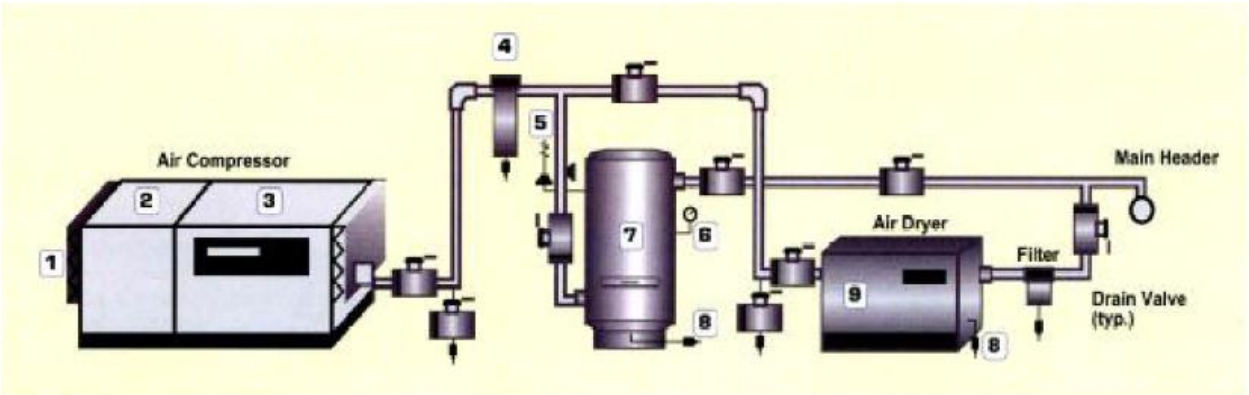
6. มาตรวัดความดัน (Pressure Gauge) ทำหน้าที่แสดงความดันของอากาศในถังเก็บและท่อส่งจ่าย

7. ถังเก็บอากาศ (Air Receiver) ทำหน้าที่เก็บอากาศอัดและสร้างความสมดุลระหว่างปริมาณความต้องการอากาศที่ไม่คงที่ กับปริมาณอากาศอัดที่ได้จากเครื่องอัดอากาศ

8. อุปกรณ์ถ่ายน้ำอัตโนมัติ (Automatic Drain Trap) ทำหน้าที่ถ่ายน้ำออกจากอากาศอัด

9. ตัวกรองอากาศและตัวทำให้อากาศแห้ง (Air Filter and Dryer) ทำหน้าที่กำจัดน้ำที่อยู่ในอากาศอัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

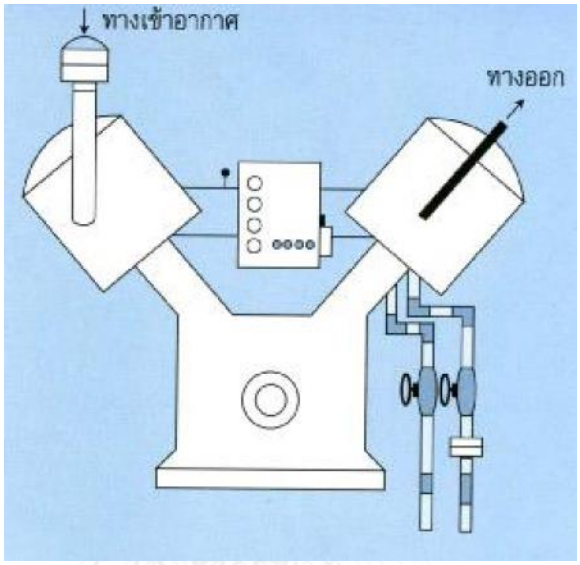


รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ในระบบอัดอากาศ [5]

3.2 ชนิดของเครื่องอัดอากาศ [5]

ชนิดของเครื่องอัดอากาศ เครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้งานทั่วไปแบ่งออกได้ 4 ชนิด คือ

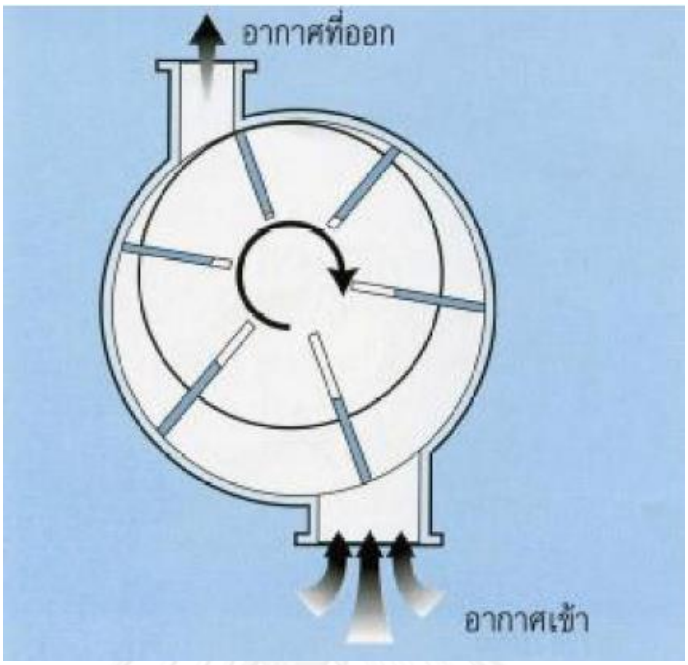
1. เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ (Reciprocating Compressor) ทำงานเหมือนกับเครื่องยนต์ โดยอากาศจะถูกดูดเข้ากระบอกสูบผ่านวาล์ว แล้วลูกสูบจะอัดอากาศและดันออกไป สามารถทำงานได้ดีทั้งโหลดเต็มที่และโหลดบางส่วน



รูปที่ 3.2 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ [5]

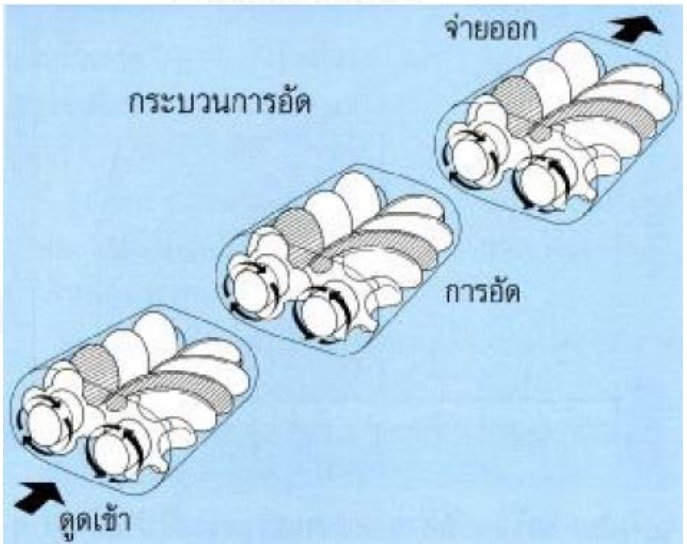
2. เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีเวน (Rotary Vane Compressor) จะใช้ตัวโรเตอร์ ซึ่งมีสไลดิ้งเวนติดอยู่ โดยที่แกนหมุนของตัวโรเตอร์จะไม่อยู่ที่จุดศูนย์กลาง ดังนั้นเมื่อแกนหมุนไป สไลดิ้งจะยืดออกและหดเข้า เมื่อการหมุนครบรอบอากาศจะถูกดูดเข้ามาแล้วถูกอัดและส่งออกไป เหมาะสำหรับการใช้งานที่มีโหลดเต็มที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.3 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีเวน [5]

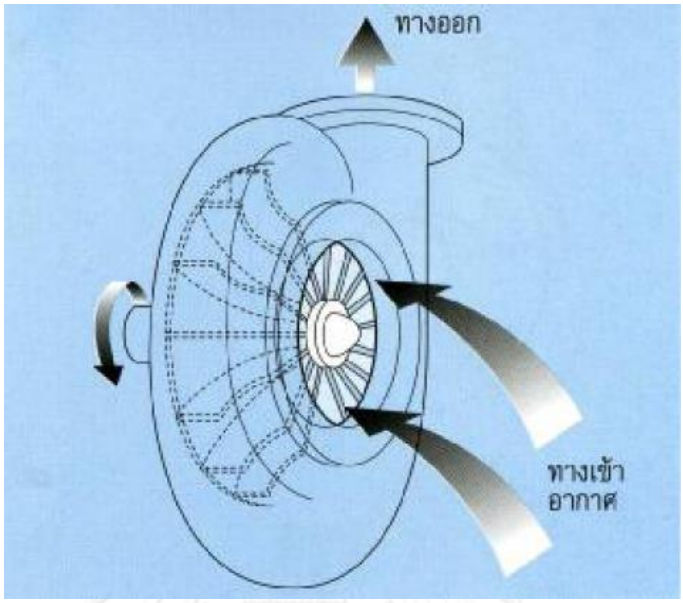
3. เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรู (Rotary Screw Compressor) ใช้โรเตอร์แบบเกลียว 2 ตัวขบกัน แล้วหมุนเข้าหากันเมื่อโรเตอร์หมุน ช่องว่างรอบโรเตอร์จะเล็กลง ซึ่งจะอัดอากาศที่อยู่ระหว่างโรเตอร์ เหมาะสำหรับใช้งานที่มีโหลดเต็มที่



รูปที่ 3.4 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรู [5]

4. เครื่องอัดอากาศแบบอาศัยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Compressor) จะมีแกนหมุนซึ่งมีใบพัดอยู่ในแนวรัศมีขณะที่ตัวแกนหมุนอย่างรวดเร็ว อากาศจะถูกเหวี่ยงออกจากใบพัดโดยที่ความเร็ว

ของอากาศจะถูกเปลี่ยนเป็นความดัน เครื่องอัดอากาศแบบนี้มีใช้น้อยในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากได้ถูกออกแบบมาให้ผลิตอากาศอัดได้ปริมาณมากๆ แต่มีความดันต่ำ



รูปที่ 3.5 เครื่องอัดอากาศแบบอาศัยแรงเหวี่ยง [5]

การเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศชนิดต่างๆ ดังแสดงในรูป

การเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ									
ประเภทเครื่องอัด	ประเภทการหล่อลื่น	ประเภทการระบายความร้อน	อัตราการผลิตอากาศอัด l/s	พลังงานไฟฟ้าในการอัดที่ 7 บาร์ kW/l/s	ประสิทธิภาพในช่วงที่ไม่มีการโหลด	การลงทุน	ค่าใช้จ่ายในการทำงาน	ค่าบำรุงรักษา	คุณภาพอากาศที่ผลิต
ลูกสูบ	Lubricated	Air	2-25	0.52	ดี	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ
	Lubricated	Air/Water	25-250	0.43	ดี	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ
	Lubricated	Air/Water	250-1,000	0.36	ดีมาก	สูง	ต่ำ	สูง	ปานกลาง
	Oil Free	Air	2-25	0.56	ดี	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สะอาด
	Oil Free	Air/Water	25-250	0.47	ดี	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สะอาด
	Oil Free	Air/Water	250-1,000	0.41	ดีมาก	สูง	ต่ำ	สูง	สะอาด
สกรู	Oil injected	Air	2-25	0.52	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง
	Oil injected	Air	25-250	0.45	ดี (ถ้าใช้ VSD)	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง
	Oil injected	Air/Water	250-1,000	0..41	พอใช้	กลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
	Oil Free	Air	25-250	0.43	ดี	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	สะอาด
	Oil Free	Air	250-1,000	0.38	ดี	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	สะอาด
	Oil Free	Air/Water	1,000-,2000	0.38	ดี	สูง	ต่ำ	ปานกลาง	สะอาด
โรตารี่เวน	Oil injected	Air	2-25	0.52	ดี	ต่ำ	สูง	ต่ำ	ต่ำ
	Oil injected	Air	25-250	0.45	พอใช้	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง
เซนตริฟิวกัลป์ หรือ เทอร์โบ	Oil Free	Water	250-1,000	0.45	ดี	กลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	สะอาด
	Oil Free	Water	1,000-2,000	0.39	ดีมาก	กลาง	ปานกลาง	ต่ำ	สะอาด
	Oil Free	Water	มากกว่า 2,000	0.36	ดีมาก	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สะอาด

รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศชนิดต่างๆ [6]

3.3 การหาสมรรถนะเครื่องอัดอากาศ [6]

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศมีดังนี้

$$\text{Specific Power Consumption} = \frac{\text{Power Consumption}}{\text{Free Air Delivered}} = \frac{kW_e}{Q_{FAD}(\frac{Nl}{sec})} \quad \text{สมการที่ ... (1)}$$

เมื่อ Power Consumption (kWe) คือ ค่ากำลังงานไฟฟ้า (kW)

Free Air Delivered (Q_{FAD}) คือ อัตราการไหลของอากาศอิสระ (Nl/sec)

$$Q_{FAD} = \frac{P_2\text{-}P_1}{P_0} \times \frac{V}{T} \quad \text{(Nl/sec)} \quad \text{สมการที่ ... (2)}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรถังเก็บอากาศและท่อทั้งหมด (litre)

P_2 คือ ความดันตอนเครื่องหยุด (bar)

P_1 คือ ความดันตอนเครื่องเริ่มเดิน (bar)

P_0 คือ ความดันบรรยากาศ (bar)

T คือ ระยะเวลาในการเดินเครื่อง (sec)

3.4 การหาอัตรารั่วไหลและค่าพลังงานที่สูญเสียในการอัดอากาศ [7]

3.4.1 การหาอัตราการรั่วไหลของอากาศอัด

3.4.1.1 การทดสอบหาปริมาณอากาศอัดที่รั่วไหล ทำได้โดยอาศัยอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบ ซึ่งไม่ต้องมีการลงทุนเพิ่มเติม แต่ต้องปิดโหลดทุกชนิดของระบบอัดอากาศที่จะทำการทดสอบ วิธีการ ทดสอบดังกล่าวมีอยู่ 2 กรณี ดังนี้

1. การทดสอบเครื่องอัดอากาศที่ทำงานแบบ ON/OFF Load ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่อง อัดอากาศขนาดเล็กจำพวกลูกสูบ แต่ถ้าเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่ที่มีลักษณะการทำงานแบบนี้ ก็ใช้วิธี เดียวกัน

$$Q_{leak} = \frac{Q_{FAD} \times T_{on}}{T_{on}+T_{off}}$$ สมการที่ ... (3)

เมื่อ Q_{leak} คือ อัตราการรั่วไหลของระบบ (Nl/sec)

Q_{FAD} คือ อัตราการผลิตที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้ (Nl/sec)

T_{on} คือ ช่วงเวลาที่เดินเครื่อง (sec)

T_{off} คือ ช่วงเวลาที่เครื่องหยุด (sec)

<u>วิธีการทดสอบ</u>

1. ปิดอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดในระบบทุกตัว
2. เดินเครื่องอัดอากาศจนมีความดันในถังเก็บตามที่ตั้งไว้
3. เริ่มจับเวลาเครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน (sec)
4. เมื่ออากาศรั่วความดันในถังจะลดลง จนถึงจุดหนึ่ง เครื่องอัดอากาศจะเริ่มทำงานอีกครั้ง ให้ทำการบันทึกเวลาที่เครื่องอัดอากาศเดินเครื่องจนหยุด (sec)
5. ดำเนินการเช่นนี้ประมาณ 3-5 ครั้งเพื่อความแม่นยำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

2. **การทดสอบเครื่องอัดอากาศแบบ Load + Unload** ทั่วไปไม่เหมาะกับเครื่องที่ ทำงานแบบ Modulate เพราะการหรี่วาล์วทำให้เราหาค่าการผลิตอากาศอัดได้ยาก เครื่องอัดอากาศบาง ยี่ห้อหรี่วาล์วแทบจะไม่ผลิตอากาศอัดออกมา แต่เครื่องอัดอากาศยังต้องใช้พลังงานมากถึง 70% ของพิกัดเครื่อง (เครื่องอัดอากาศแบบนี้ไม่ควรอย่างยิ่งที่จะนำมาทำงานในลักษณะ Load + Unload)

$$Q_{leak} = V \times \frac{[P_1-P_2]}{T_{av}}$$ สมการที่ ... (4)

เมื่อ V คือ ปริมาตรทั้งหมดของถังพัก ท่อส่ง และวาล์ว (litre)

P_1 คือ ความดันสุดท้ายหรือแรงดันตัดโหลด (bar)

P_2 คือ ความดันเริ่มต้น (bar)

T_{av} คือ เวลาเฉลี่ยจาก P_1 และ P_2 (sec)

Q_{leak} คือ อัตราการรั่วไหลของระบบ (l/sec)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>วิธีการทดสอบ</u>

1. คำนวณปริมาตรของถังเก็บอากาศ ท่อส่ง และวาล์วต่างๆ หน่วยเป็นลิตร

2. ปิดอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดในระบบทุกตัว (ปิดเครื่องจักรแต่ให้เปิดวาล์วไว้)

3. เดินเครื่องอัดอากาศ เพื่ออัดอากาศเข้าถังจนถึงความดันที่ตั้งไว้ (P_1) แล้วทำการปิดวาล์วด้าน อากาศเข้าถัง พร้อมทั้งจับเวลา รอจนกระทั่งความดันลดถึง P_2 ทำการบันทึกเวลาดำเนินการเช่นนี้ ประมาณ 3-5 ครั้ง แล้วทำการวิเคราะห์ (หรือเปิดเครื่องอัดอากาศตลอดแล้วจับช่วง Unload 3-5 ครั้ง)

4. นำค่าเวลาที่วิเคราะห์ได้ (รูปที่ 3.7) ไปแทนในสมการ เพื่อคำนวณหาอัตราการรั่วไหล ของอากาศ

ครั้งที่	เวลา ณ ความดัน P_1 P_1 = บาร์	เวลา ณ ความดัน P_2 P_2 = บาร์	T (วินาที)
1	T_{11}	T_{12}	$T_1 = T_{12} - T_{11}$ .....
2	T_{21}	T_{22}	$T_2 = T_{22} - T_{21}$ .....
3	T_{31}	T_{32}	$T_3 = T_{32} - T_{31}$ .....
4	T_{41}	T_{42}	$T_4 = T_{42} - T_{41}$ .....
5	T_{51}	T_{52}	$T_5 = T_{52} - T_{51}$ .....
ค่าเฉลี่ย			Tavg = T_1+... T_5 .....

รูปที่ 3.7 การบันทึกสภาวะการทำงานของเครื่องแบบ (Load + Unload)

3.4.1.2 การคิดการรั่วไหลของอากาศอัดเฉพาะจุด ซึ่งวิธีนี้ก็เหมาะสำหรับโรงงานที่ทำงาน ตลอด 24 ชั่วโมง ไม่มีวันหยุด โดยต้องเดินตรวจสอบรอยรั่วไหลทั้งหมด และนำมาวิเคราะห์

$$Q_{leak} = C_k \times d^2 \times (P_g + P_o) \quad l/sec \quad \text{สมการที่ ... (5)}$$

เมื่อ C_k คือ ค่าคงที่ของการรั่วไหลของอากาศอัดโดยตรง

d คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรั่ว (mm)

P_g คือ ค่าแรงดันเกจ ณ. จุดรั่วไหล (bar)

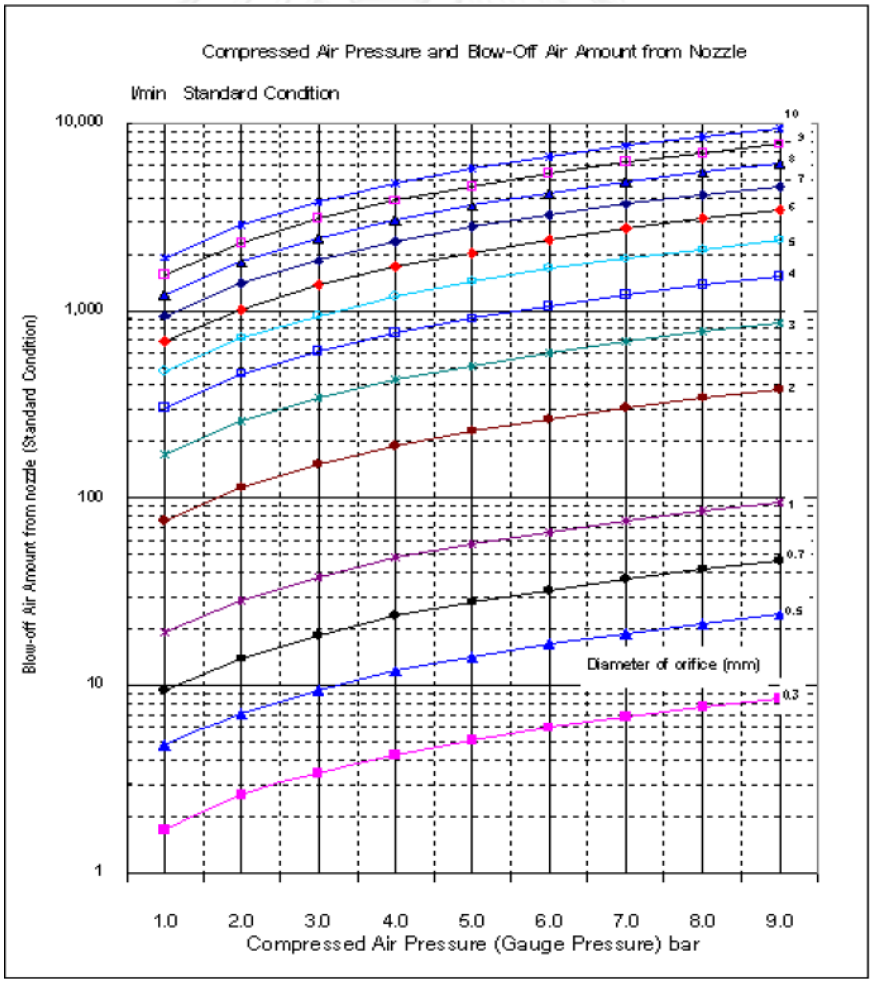
P_o คือ ความดันสัมบูรณ์ (1.013 bar)

ข้อควรระวัง คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่รั่ว (d) และแรงดันอากาศอัด ณ.ตำแหน่งที่รั่ว (P_g) เนื่องจากแรงดันจุดใช้งานไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับอุปกรณ์นั้นๆ จึงต้องแยกการคำนวณการรั่วไหลออกแต่

ละจุด เพื่อให้ง่ายต่อการหาปริมาณการรั่วไหลสามารถใช้ตารางตรวจสอบหากรู้ขนาดรูรั่วและแรงดันที่รั่ว (รูปที่ 3.8)

Pressure (bar)	Diameter Pipe (mm) and Air Leakage															
	0.3		0.5		0.7		1.0		3.0		5.0		7.0		10.0	
	l/ses	kW	l/ses	kW	l/ses	kW	l/ses	kW	l/ses	kW	l/ses	kW	l/ses	kW	l/ses	kW
3.0	0.06	0.01	0.16	0.03	0.31	0.05	0.63	0.11	5.71	0.97	15.85	2.71	31.07	5.31	63.41	10.83
4.0	0.07	0.01	0.20	0.04	0.39	0.08	0.79	0.16	7.13	1.46	19.80	4.06	38.81	7.97	79.21	16.26
4.5	0.08	0.02	0.22	0.05	0.43	0.09	0.87	0.19	7.84	1.73	21.78	4.81	42.68	9.42	87.11	19.22
5.0	0.09	0.02	0.24	0.06	0.47	0.11	0.95	0.22	8.55	2.01	23.75	5.58	46.55	10.95	95.01	22.34
6.0	0.10	0.03	0.28	0.07	0.54	0.14	1.11	0.29	9.97	2.61	27.70	7.25	54.29	14.21	110.81	28.99
7.0	0.11	0.03	0.32	0.09	0.62	0.18	1.27	0.36	11.39	3.25	31.65	9.04	62.04	17.71	126.61	36.15
7.5	0.12	0.04	0.34	0.10	0.66	0.20	1.35	0.40	12.11	3.59	33.63	9.98	65.91	19.56	134.51	39.91
8.0	0.13	0.04	0.36	0.11	0.70	0.21	1.42	0.44	12.82	3.94	35.60	10.94	69.78	21.45	142.41	43.78
9.0	0.14	0.05	0.40	0.13	0.78	0.25	1.58	0.52	14.24	4.66	39.55	12.96	77.52	25.40	158.21	51.83

รูปที่ 3.8 แสดงขนาดของท่อและลมรั่ว



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงการรั่วไหลเมื่อทราบค่าความดันของอากาศอัด

3.4.2 การหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในการอัดอากาศ

$$E_{us} = Q_{leak} \times kW_{st} \times T \times t$$ สมการที่ ... (6)

$$E_{us} = Q_{leak} \times \frac{kW_e}{Q_{FAD}} \times T \times t \text{ [อ้างอิงจากสมการที่ ... (1)]}$$ สมการที่ ... (7)

เมื่อ E_{us} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW/ปี)

Q_{leak} คือ อัตราการรั่วไหลของอากาศอัด (l/s)

kW_{st} คือ ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอัดอากาศ (kW/l/s)

kW_e คือ ค่ากำลังงานไฟฟ้า (kW)

Q_{FAD} คือ อัตราการไหลของอากาศอิสระ (l/s)

T คือ วันทำงานต่อปี (วัน/ปี)

t คือ เวลาทำงานต่อวัน (ชั่วโมง/วัน)

3.4.3 การหามูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย

$$E_{cost} = E_{us} \times E_e$$ สมการที่ ... (8)

เมื่อ E_{us} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/ปี)

E_e คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 โครงสร้างค่าไฟฟ้า

ค่าไฟฟ้า ถือว่าเป็นต้นทุนสำคัญที่สุดในการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรม ไม่เฉพาะแต่อุสาหกรรมการผลิตรถยนต์เท่านั้น การลดค่าใช้จ่ายด้วนพลังงานไฟฟ้าจะสามารถช่วยในด้านของต้นทุนการผลิต ดังนั้นการวางแผนอนุรักษ์พลังงานและการจัดการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า จะสามารถช่วยบริหารการใช้พลังงานให้แก่ เครื่องจักและอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยโรงงานผลิตรถยนต์ที่ได้เข้าไปศึกษา อยู่ในอัตราค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 4 กิจกการขนาดใหญ่ TOU ดังนั้นควรจะทำความเข้าใจหลักการคิดคำนวณค่าไฟฟ้า ดังนี้

3.5.1 อัตราค่าไฟฟ้า [8]

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ และสถานที่ทำงานขององค์กรระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดตั้งแต่ 1,000 kW ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนก่อนหน้าเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

1. อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate :TOD)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/kW)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Partail	Off Peak		
4.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	224.30	29.91	0	2.7441	312.24
4.1.2 แรงดัน 22-33 kV	285.05	58.88	0	2.7815	312.24
4.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	332.71	68.22	0	2.8095	312.24

2. อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Rate : TOU)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/kW)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
4.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	74.14	3.6917	2.2507	312.24
4.1.2 แรงดัน 22-33 kV	132.93	3.7731	2.2695	312.24
4.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 kV	210.00	3.9189	2.3027	312.24

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไปต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือน ที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ : 1. ประเภทที่ 4.2 กำหนดเป็นอัตราสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ หรือผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิมที่เคยใช้ TOU แล้ว

2. ประเภทที่ 4.2 เป็นอัตราเลือกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิมประเภทที่ 4.1 เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 4.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

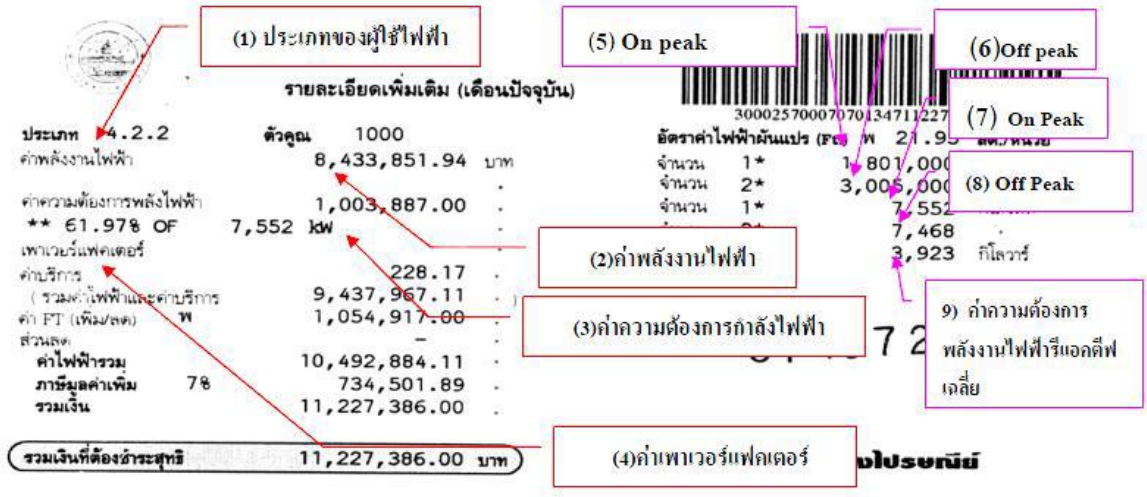
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. เดือนใดความต้องการพลังงานไฟฟ้าไม่ถึง 1,000 kW หรือการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หางความต้องการพลังงานไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปยังไม่ถึง 30 kW อีก ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1

3.5.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้า

1. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะเรียกเก็บกับผู้ใช้ไฟฟ้าที่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ซึ่งมีเพาเวอร์แฟคเตอร์แลค (Lag) เฉพาะเดือนที่มีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สุงสุดเกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอคตีฟเฉลี่ย ใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว โดนส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรากิโลวาร์ (kVAR) ละ 56.07 บาท (เศษของ kVAR ถ้าไม่ถึง 0.5 kVAR ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 kVAR ขึ้นไปคิดเป็น 1 kVAR)
2. อัตราค่าไฟฟ้าข้างต้น ยังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
3. ค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บในแต่ละเดือน ประกอบด้วยค่าไฟฟ้าตามอัตราข้างต้น ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) และภาษีมูลค่าเพิ่ม

3.5.3 ตัวอย่างใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างในแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า

ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้า

ค่าไฟฟ้าคิดคำนวณจากส่วนประกอบของค่าไฟ ซึ่งมีทั้งส่วนที่สามารถควบคุมได้คือ

(1) ค่าพลังงานไฟฟ้า (2)

(2) ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (3)

(3) ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (4)

และส่วนที่ไม่สามารถควบคุมได้ คือ

(1) ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิตไฟฟ้า (ค่า Ft)

(2) ค่าบริการ

(3) ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (ขึ้นอยู่กับค่าไฟฟ้ารวมทั้งหมดในแต่ละเดือน)

การลดค่าไฟฟ้าจึงต้องพิจารณาบริหารจัดการส่วนประกอบของค่าไฟที่สามารถควบคุมได้ดังต่อไปนี้

(ดูตัวอย่างในแจ้งหนี้ค่าไฟประกอบ)

(1) ค่าพลังงานไฟฟ้า (2)

คือค่าธรรมเนียม (บาท) ที่คิดจากจำนวนความต้องการกำลังไฟฟ้าในหนึ่งเดือนคูณด้วยค่าพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีอัตราที่แตกต่างกันตามประเภทผู้ใช้ไฟ (1)

(2) ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (3)

คือค่าธรรมเนียม (บาท) ที่คิดจากอัตราค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (ตามประเภทของผู้ใช้) คูณด้วยจำนวนความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Demand : 7) ที่ตรวจวัดได้ในทุกช่วง 15 นาที ระหว่างเวลา)n Peak ของรอบเดือนนั้น โดยจะตรวจวัด 4 ครั้ง ในทุกชั่วโมงตลอดเดือน แต่จะคิดค่าไฟฟ้าจากจำนวนความต้องการไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบเดือนเท่านั้น หากจำนวนความต้องกาไฟฟ้ามีเศษไม่ถึง 0.5 kW จะตัดเศษทิ้ง แต่หากจำนวนความต้องการไฟฟ้ามีเศษตั้งแต่ 0.5 kW ขึ้นไป คิดเป็น 1 kW

(3) ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (4)

คือค่าธรรมเนียม (บาท) ที่คิดจากค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอตทีฟ (8) หากเกินกว่าร้อยละ 61.97 ของปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Demand :7) จะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ในอัตรา kVAR ละ 56.07 เศษของ kVAR ถ้าไม่ถึง 0.5 kVAR ตัดทิ้ง เศษตั้งแต่ 0.5 kVAR ขึ้นไป คิดเป็น 1 kVAR ในกรณีตัวอย่าง

ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าข้างต้น ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เท่ากับ 3,923 kVAR ซึ่งไม่เกินร้อยละ 61.97 ของปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้า (61.97% ของ 7,552 kW เท่ากับ 4,679.97) จึงไม่เสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ราคาค่าไฟฟ้าเกินขึ้นจากหลายองค์ประกอบ ซึ่งเกี่ยวกับตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF) ค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าความต้องการกำลัง (พลัง)ไฟฟ้าสูงสุด ก่อนที่จะลดค่าไฟฟ้าให้ต่ำสุดราคาค่าไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความ

ต้องการไฟฟ้าสูงสุดตั้งแต่ 30 kW ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 2,000 kW ซึ่งอัตราค่าไฟฟ้าจะอยู่ในประเภทที่ 3 หรือเกิน 1,000 kW ในประเภทที่ 4 ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้า ในเสร็จค่าไฟฟ้าจะกำหนดให้มีการชำระเป็นรายเดือน โดยจะมีการระบุถึงองค์ประกอบหลักทั้ง 3 ส่วนหลักดังนี้

(1) ระดับของแรงดันที่จ่าย

(2) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

(3) ปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ราคาค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

(1) มีหน่วยเป็นบาท/kW จะมีค่าอยู่ระหว่าง 74.14 บาท/kW ตามประเภทผู้ใช้และระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่าย

(2) ค่านี้เป็นค่าใช้จ่ายสำหรับเงินลงทุนซื้อและติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และก่อนสร้างระบบส่งกำลังไฟฟ้า

(3) ค่านี้ขึ้นอยู่กับความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงที่สุดสำหรับเดือนนั้นๆ

ราคาค่าพลังงานไฟฟ้า

(1) มีหน่วยเป็นบาท/kWh โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 1.666 บาท/kWh ถึง 1.7314 บาท/kWh ตามประเภทผู้ใช้และระดับแรงดันที่จ่าย

(2) ค่านี้เป็นการจ่ายสำหรับค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

(3) ขึ้นอยู่กับkWh ที่ใช้ใน 1 เดือน

ราคาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ค่าปรับเมื่อตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ)

(1) ใช้กับโรงงานที่มีค่ากิโลวาร์ (kVAR) เกิน 61.97% ของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ากิโลวัตต์สูงสุดในเดือน

(2) ราคา 14.02 บาท/kVAR ที่เกินต่อเดือน

ราคาทั้งหมดที่กล่าวข้างต้นยังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม

อัตราค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Demand) คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานเฉลี่ยในช่วง 15 นาทีที่มีค่าสูงสุดในรอบ 1 เดือน และมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์

ตัวอย่าง 1.19 จากข้อมูลที่จดได้จาก kWh meter ของโรงงานซึ่งในช่วง 15 นาที ปรากฏค่าดังนี้ อ่านค่าครั้งแรก 15,000 kWh และอ่านค่าครั้งหลัง 15,200 kWh จงหาค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าช่วงนี้

ความต้องการกำลังไฟฟ้า = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (15 นาที) x 4

= (15,200-15,000) x 4

= 800 kWh

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุดในรอบเดือนคือค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต (Ft) ค่า Ft คือค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ มีค่าเป็น

สตางค์ต่อหน่วยเป็นค่าไฟฟ้าผันแปรที่ปรับเปลี่ยนเพิ่มขึ้นหรือลดลงในทุกๆ 4 เดือน ซึ่งพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่การไฟฟ้าฯ ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากแผน ผลกระทบของอัตราแลกเปลี่ยน (FOREX) ที่เปลี่ยนแปลงไปจากแผน และอัตราเงินเฟ้อเป็นต้น โดยค่า Ft จะแยกความกิจการ ได้แก่ กิจการผลิต กิจการระบบส่ง กิจการระบบจำหน่าย และกิจการค้าปลีก การคิดเงินค่า Ft คำนวณจากจำนวนหน่วยที่ใช้ คูณด้วยราคาค่า Ft ต่อหน่วยของเดือนนั้นๆ ค่า Ft ที่เรียกเก็บในแต่ละเดือนจะเรียกเก็บกับผู้ใช้ไฟฟ้าทุกประเภท และทุกหน่วยของการใช้ในอัตราเดียวกัน โดยการไฟฟ้าฯ จะแสดงราคาค่า Ft เป็นสตางค์ต่อหน่วย และจำนวนเงินค่า Ft เป็นบาท ไว้ในใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า การกำหนดค่า Ft คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) ซึ่งมี ฯพณฯ นายกรัฐมนตรี เป็นประธานได้อนุมัติให้นำหลักสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติมาใช้ ตั้งแต่การปรับปรุงโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าฐาน เมื่อ 1 ธันวาคม 2534 โดยมีผลตั้งแต่เดือนตุลาคม 2534 และได้กำหนดให้คณะกรรมการพิจารณานโยบายพลังงาน (กพง.) ซึ่งมีรัฐมนตรีประจำสำนักนายกรัฐมนตรี เป็นประธาน ทำหน้าที่ควบคุมดูแล ซึ่งได้มีการแต่งตั้งคณะอนุกรรมการกำกับสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ ประกอบด้วยผู้แทนจากสำนักคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง กรมบัญชีกลาง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สภาอุสาหกรรมแห่งประเทศไทย หอการค่าไทย สถาบันพัฒนบริหารศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มีหน้าที่กำกับดูแลกำหนดการ วิธิรการคำนวณและให้ความเห็นชอบการคำนวณค่า Ft ตามสูตร ที่ได้รับความเห็นชอบจาก กพง. ได้มีมติเห็นชอบให้มีการปรับค่า Ft 4 เดือนต่อครั้ง เพื่อมิให้มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยจนเกินไป ทำให้ผู้ประกอบการสามารถวางแผนการผลิต การจำหน่ายสินค้า และบริการได้ง่ายขึ้น

3.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน [9]

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุน พลังงาน จากมาตรการ ในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินที่จ่ายออกไป ภายใต้โครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราลดค่า (Discount rate) หรือค่าของทุน (Cost of capital) ที่กำหนดจากคำนิยามข้างต้น การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะต้องทราบข้อมูลดังนี้

กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ
กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีตลอดอายุโครงการ
ระยะเวลาของโครงการ
อัตราลดหรือค่าของทุนธุรกิจ

จากสูตร

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{ESt}{(1+i)^t} - Io$$ สมการที่ ... (9)

ในที่นี้

n = อายุของโครงการ (ปี)

ESt = ต้นทุนพลังงานที่ประหยุดได้ (energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

Io = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total investment)

i = อัตราลดค่า (discount rate)

1. ค่าของทุนที่ใช้เป็นอัตราลดค่า (discount rate) จะมีค่าเดียวกันตลอดอายุโครงการ และขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ยของตลาด ที่ผู้ลงทุนเผชิญอยู่ ซึ่งค่าที่เป็น base case อย่างน้อยควรมีค่าของทุนเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำของผู้ลงทุนได้รับในการเลือกโครงการ ในโรงงานผลิตรถยนต์ที่เข้าไปศึกษานี้ จะใช้ Discount rate = 17% ค่า NPV จะแสดงให้เห็นว่าโครงการที่กำลังพิจารณา มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเป็นมูลค่าเท่าไหร่ เมื่อสิ้นสุดโครงการ ถ้าค่า NPV เป็นบวกสูงที่สุด แต่การใช้ NPV เพียงอย่างเดียว อาจจะทำให้มีข้อจำกัดในการตัดสินในเลือกโครงการได้ ในกรณีที่โครงการมีขนาดต่างกัน แต่ให้ค่า NPV ที่เป็นบวกเท่ากัน ดังนั้น การตัดสินใจให้การสนับสนุน ควรจะต้องนำเครื่องมืออื่นมาประกอบการพิจารณา ควบคู่ไปกับการใช้ค่า NPV

2. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) หมายถึงอัตราลดค่า (Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุน เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการ ประหยัดพลังงาน ตลอดอายุโครงการ จากคำนิยามข้างต้น การคำนวณห้า อัตราผลตอบแทนลดค่า จะต้องทราบข้อมูลดังนี้

กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ

กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีตลอดอายุโครงการ

ระยะเวลาของโครงการ

จากสูตรภายใต้ข้อสมมติว่าไม่มีมูลค่าซากและเงินลงทุนสุทธิเท่ากับต้นทุนทางบัญชี

จากสูตร

$$-IO = \sum_{t=1}^{n} \frac{ESt}{(1+IRR)^t} = 0 \qquad \text{สมการที่ ... (10)}$$

ในที่นี้

n = อายุของโครงการ (ปี)

ESt = ต้นทุนพลังงานที่ประหยุดได้ (energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

Io = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total investment)

R = อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)

การคำนวนหาค่า IRR ก็คือการหาค่า discount rate ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นเอง ถ้าค่า IRR ,กกว่า หรือเท่ากับค่าของทุน discount (i) ที่ผู้ลงทุนเลือกใช้เป็นจุดตัดสินใน ก็ถือได้ว่าโครงการดังกล่าวเป็นโครงการที่น่าลงทุน โดยทั่วไปแล้ว ทั้งวิธีในการประเมินโครงการจากค่า IRR และ NPV จะให้ผล การตัดสินใจรับโครงการ หรือปฏิเสธโครงการ เป็นไปในทำนองเดียวกัน แต่ในบางกรณี ที่ใช้ข้อสมมติ เช่นการนำเงินที่ได้ในแต่ละปี ไปลงทุนใหม่ (reinvestment) หรือการใช้ วิธีหักค่าเสื่อราคา แบบ Doble-declining Balance Method แทนแบบ Straight Line Method ก็อาจะทำให้คำตอบที่ได้จากทั้ง 2 วิธีขัดแย้งกันได้ การพิจารณาประเมินโครงการลงทุนจากทั้ง 2 วิธีจึงต้องคำนึงถึง ข้อสมมติที่ใช้ในการคำนวณด้วยเช่นกัน

3. งวดเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) คือระยะเวลา (เป็นจำนวนปี/เดือน หรือวัน) ที่กระแสเงินสด รับจากโครงการ สามารถชดเชย กระแสเงินสดจ่าย ลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี เนื่องจากโครงการที่ขอรับการสนับสนุน จะมีลักษณะการลงทุนเพียงครั้งเดียว ในปีแรก และให้ผลตอบแทนที่เท่ากันทุกปี การหาค่า PB สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

ก. Static method

$$\text{งวดเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ}}{\text{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี}} \qquad \text{สมการที่ ... (11)}$$

ข. Dynamic method

งวดเวลาคืนทุน = จำนวนปีที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าศูนย์

ค่า PB ที่ได้จากทั้ง 2 วิธี จะมีความแตกต่างกัน โดยค่าจาก Static method จะให้งวดเวลาคืนทุนเร็วกว่า Dynamic method จะใช้กี่คำนวณค่าแบบสะสม จากมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ ซึ่งคิดอัตราลดค่า (discount rate) ในการเลือกโครงการ ค่า PB จะแสดงให้เห็นว่าต้องใช้เวลานานเพียงใดในการได้ทุนคืน ถ้าสามารถได้ทุนคืนเร็ว โครงการก็จะน่าสนใจ วิธี

ดังกล่าว จะมีข้อเสียในการเลือกโครงการ คือวิธีนี้จะไม่ให้ความสนใจถึงเงินเข้าสุทธิ ในส่วนที่ได้หลังจากช่วงเวลาคืนทุนแล้ว ซึ่งอาจจะมีผลตอบแทนภายหลังมากกว่าโครงการที่มี PB เร็วก็ได้ แต่ PB สำหรับการประเมินโครงการของกองทุนฯ สามารถนำมาใช้พิจารณาได้เนื่องจากลักษณะโครงการที่ขอการสนับสนุน จะให้ผลการประหยัดพลังงานที่เท่ากันตลอดอายุของโครงการ

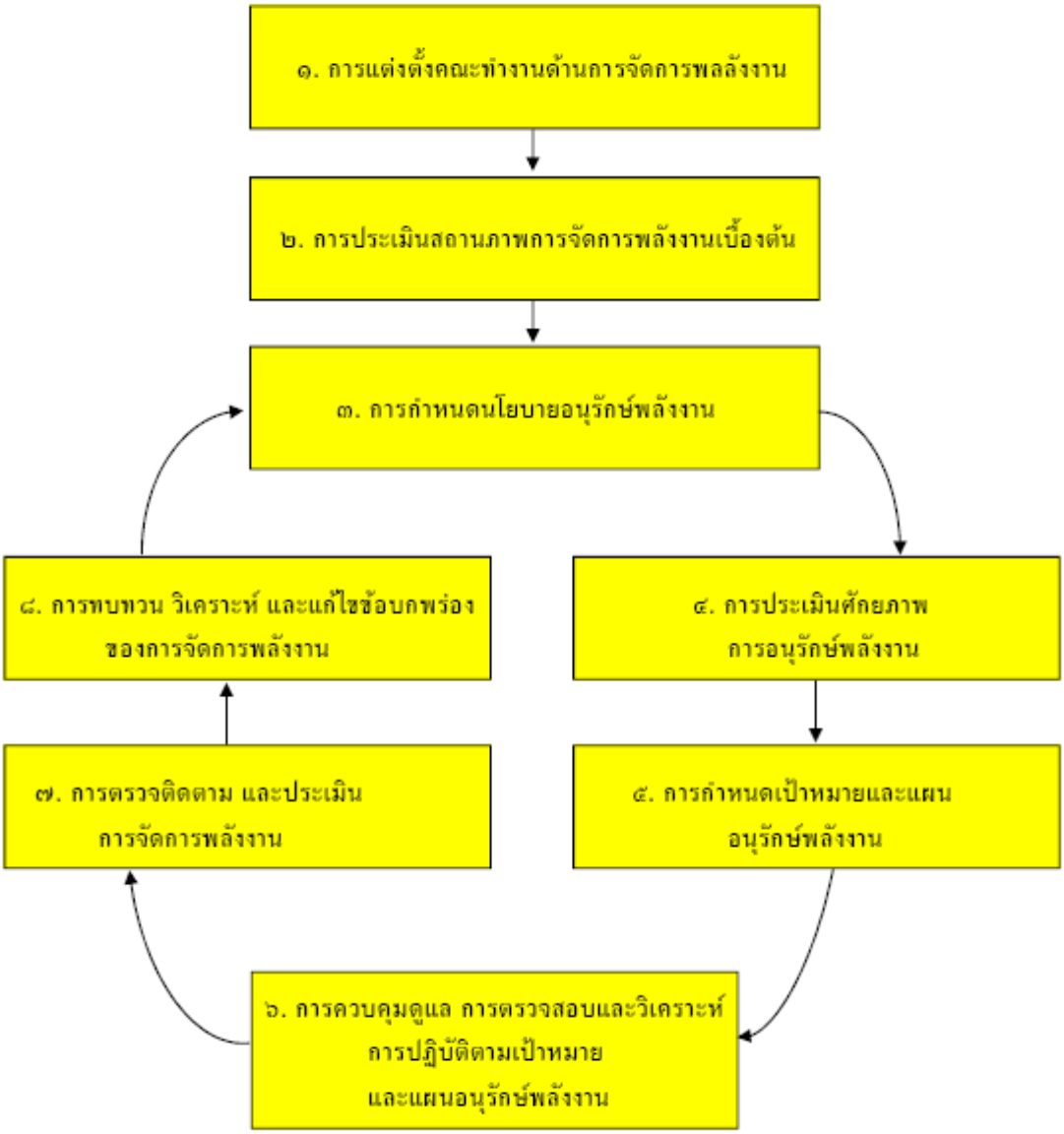
4. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio หรือ B/C ratio) เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในโครงการ ถ้าเทียบ B/C ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับที่ลงทุนไป แต่ถ้าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับเงินลงทุนที่เสียไป

$$B/C\ ratio = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย}} \qquad \text{สมการที่ ... (12)}$$

3.7 การจัดการพลังงาน [10]

จากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 กำหนดให้ เจ้าของโรงงานควบคุม และเจ้าของอาคารควบคุม ต้องดำเนินการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุม และในอาคารควบคุมของตนให้เป็นไปตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุม และอาคารควบคุม พ.ศ.2552 ตามรายละเอียดในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 เพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อให้รัฐมีข้อมูลในการประเมินประสิทธิภาพของการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุม หรือในอาคารควบคุม อันเป็นประโยชน์ในการอนุรักษ์พลังงาน กฎกระทรวงฉบับดังกล่าวได้กำหนดวิธีการจัดการพลังงานโดยแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน โดยมีแผนผังของโครงสร้างการจัดการพลังงานดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.11 รูปแสดงแผนผังโครงสร้างการจัดการพลังงาน [10]

3.7.1 การจัดให้มีคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน

เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องจัดให้มีคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานขึ้นมาคณะหนึ่ง ซึ่งขึ้นตรงต่อเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม พร้อมทั้งกำหนดโครงสร้าง อำนาจหน้าที่ และความรับผิดชอบของคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน โดยจัดทำเป็นเอกสารเพื่อเผยแพร่ให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบ

อำนาจหน้าที่ของคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานอย่างน้อยต้องมีดังต่อไปนี้

(1) ดำเนินการจัดการพลังงานให้สอดคล้องกับนโยบายอนุรักษ์พลังงาน และวิธีการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม

(2) ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อขอความร่วมมือในการปฏิบัติการตามนโยบาย อนุรักษ์พลังงาน และวิธีการจัดการพลังงาน รวมทั้งจัดการฝึกอบรมหรือกิจกรรมเพื่อสร้างจิตสำนึกของ บุคลากรที่เกี่ยวข้อง

(3) ควบคุมดูแลให้การจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมเป็นไปตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงาน

(4) รายงานผลการอนุรักษ์และการจัดการพลังงานตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม

(5) เสนอแนะเกี่ยวกับการกำหนดหรือทบทวนนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัด

การพลังงานให้เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมทราบ

(6) สนับสนุนเจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมในการดำเนินการตาม

กฎกระทรวงนี้

3.7.2 การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น

ในกรณีที่เป็นการนำวิธีการจัดการพลังงานมาใช้เป็นครั้งแรก เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมอาจยังไม่ทราบถึงสถานภาพการจัดการพลังงานที่เป็นอยู่ของตนเอง จึงต้องมีการประเมินสถานภาพเบื้องต้น โดยพิจารณาจากการดำเนินงานด้านพลังงานที่ผ่านมา เพื่อให้ทราบถึงสถานภาพการจัดการพลังงานขององค์กรที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน มีจุดอ่อน หรือจุดแข็งในด้านใด และนำข้อมูลที่ได้มาเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน รวมทั้ง ทิศทางและแผนดำเนินการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมต่อไป

ในการประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นนั้น ให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานใช้ตารางประเมินการจัดการพลังงาน (Energy Management Matrix) ในการประเมินสถานภาพเบื้องต้น ซึ่งในตารางดังกล่าวนั้น จะพิจารณาระบบซึ่งแบ่งออกเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ 6 ส่วน คือ นโยบายการจัดการพลังงาน, การจัดองค์กร, การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ, ระบบข้อมูลข่าวสาร, การประชาสัมพันธ์, และการลงทุน โดยแต่ละองค์ประกอบจะมีคะแนนระหว่าง 0-4 คะแนน ซึ่งคณะทำงานฯ จะต้องทำการประเมินองค์ประกอบแต่ละส่วนดังกล่าวนั้นอย่างเป็นกลาง เพื่อให้ทราบถึงสถานภาพการจัดการพลังงานที่เป็นจริงในปัจจุบันได้มากที่สุด หลังจากนั้นจึงกำหนดเป้าหมายในองค์ประกอบแต่ละส่วน เพื่อกำหนดทิศทางของนโยบายอนุรักษ์พลังงานต่อไป

3.7.3 การกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน

เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงานเพื่อแสดงเจตจำนงและความมุ่งมั่นในการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม สร้างความเข้าใจและจิตสำนึกของพนักงาน ลูกจ้างหรือบุคลากรที่เกี่ยวข้องในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมในการอนุรักษ์พลังงานและเป็นแนวทางให้บุคคลดังกล่าวปฏิบัติในการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมโดยจัดทำเป็นเอกสารและลงลายมือชื่อเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม

นโยบายอนุรักษ์พลังงานดังกล่าวอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ข้อความระบุว่าการอนุรักษ์พลังงานเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินงานของเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม

(2) นโยบายอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมกับลักษณะและปริมาณพลังงานที่ใช้ในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมนั้น

(3) การแสดงเจตจำนงที่จะปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานและการจัดการพลังงาน

(4) แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง

(5) แนวทางในการจัดสรรทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพในการดำเนินการตามวิธีการจัดการพลังงาน นอกจากนี้ เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องจัดให้มีการเผยแพร่นโยบายอนุรักษ์พลังงานที่จัดทำขึ้น โดยปิดประกาศไว้ในที่ซึ่งเห็นได้ง่ายในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม หรือโดยวิธีอื่นที่เหมาะสม เพื่อให้บุคลากรที่เกี่ยวข้องทราบและปฏิบัติตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานได้

3.7.4 การจัดให้มีการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องจัดให้มีการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน โดยการตรวจสอบและประเมินการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญทุกกิจกรรมที่เกิดขึ้นในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม โดยเริ่มตั้งแต่การรวบรวมข้อมูลทั่วไป ข้อมูลการผลิตและการบริการ และข้อมูลที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานในเครื่องจักรและอุปกรณ์ และภาพรวมของการใช้พลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม เพื่อนำไปสู่การประเมินการใช้พลังงานในระดับองค์กร ระดับผลิตภัณฑ์ หรือการบริการ และระดับเครื่องจักร อุปกรณ์ ทั้งนี้ ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการเกี่ยวกับการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ.2552

3.7.5 การจัดให้มีการกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน

เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องจัดให้มีการกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานที่ประสงค์จะให้ลดลง โดยกำหนดเป็นร้อยละของปริมาณพลังงานที่ใช้เดิม หรือกำหนดระดับของการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตหรือบริการ รวมทั้งระบุระยะเวลาการดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ซึ่งแผนอนุรักษ์พลังงานอย่างน้อยต้องประกอบด้วยระยะเวลาของการดำเนินการ การลงทุน และผลที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการ ทั้งนี้ ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการเกี่ยวกับการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ.2552

นอกจากนี้ เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องจัดให้มีแผนการฝึกอบรมและจัดให้มีกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมเข้าร่วมฝึกอบรมและร่วมกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นการให้ความรู้และสร้างจิตสำนึกให้เกิดความตระหนักถึงผลกระทบจากการใช้พลังงาน และเผยแพร่ให้บุคลากรดังกล่าวทราบอย่างทั่วถึง

3.7.6 การจัดให้มีการควบคุมดูแล การตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน

เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องควบคุมดูแลให้มีการดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน รวมทั้งตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานที่ได้จัดทำขึ้น ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการเกี่ยวกับการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม

3.7.7 การจัดให้มีการตรวจติดตาม และประเมินการจัดการพลังงาน

เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องจัดให้มีการตรวจติดตาม และประเมินผลการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมตามช่วงเวลาที่กำหนดอย่างเหมาะสมเป็นประจำ อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการเกี่ยวกับการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม

3.7.8 การจัดให้มีการทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน

เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องจัดให้มีการทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานตามช่วงเวลาที่กำหนดอย่างเหมาะสมเป็นประจำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการเกี่ยวกับการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม

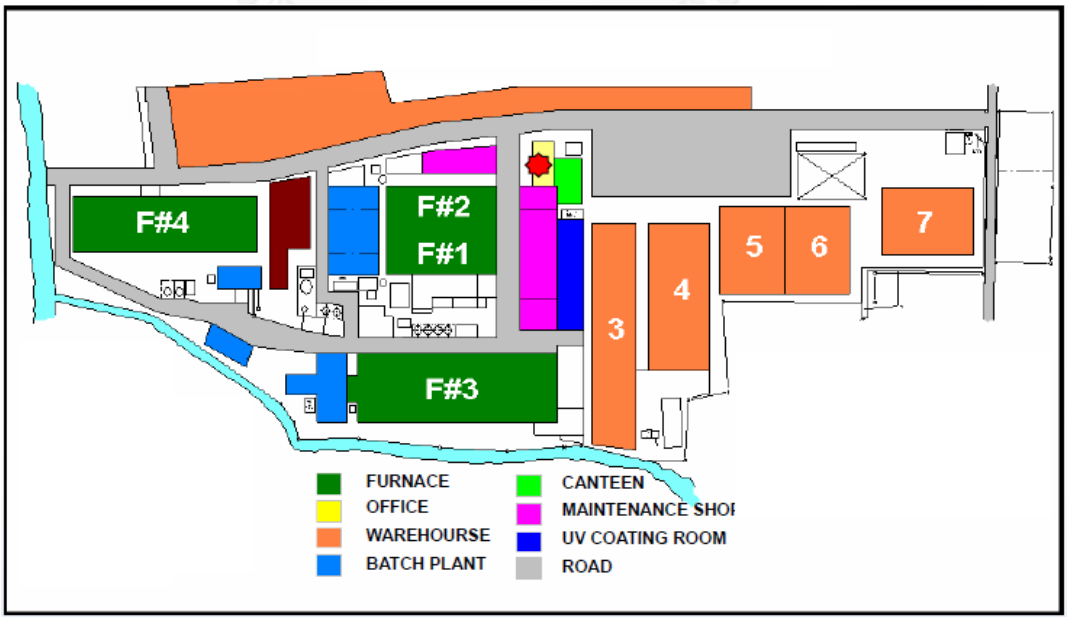
บทที่ 4
วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 ข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการและการใช้พลังงาน

สถานประกอบการที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลนี้เป็นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้ว ตั้งอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ มีพื้นที่โดยประมาณ 40 ไร่ โรงงานเปิดดำเนินการประมาณ 35 ปี ทำการผลิตขวดแก้วปากกว้างและขวดแก้วปากแคบ ทั้งสีขาวและสีชา ซึ่งเป็นโรงงานที่มีการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง ในส่วนของโรงงานมีอาคารในส่วนที่เป็นโรงหลอมและผลิตขวดแก้วอยู่ 4 โรง ประกอบไปด้วยเตาหลอมแก้ว 4 เตาหลอม โดยใช้เชื้อเพลิงในการหลอม คือ ก๊าซธรรมชาติ จำนวนพนักงานทั้งหมดประมาณ 700 คน มีกำลังผลิตทั้งสิ้น 600 ตันต่อวัน ดังตารางที่ 4.1 โรงงานจัดเป็นโรงงานควบคุมตามที่กฎหมายกำหนดประเภทของ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์แก้ว

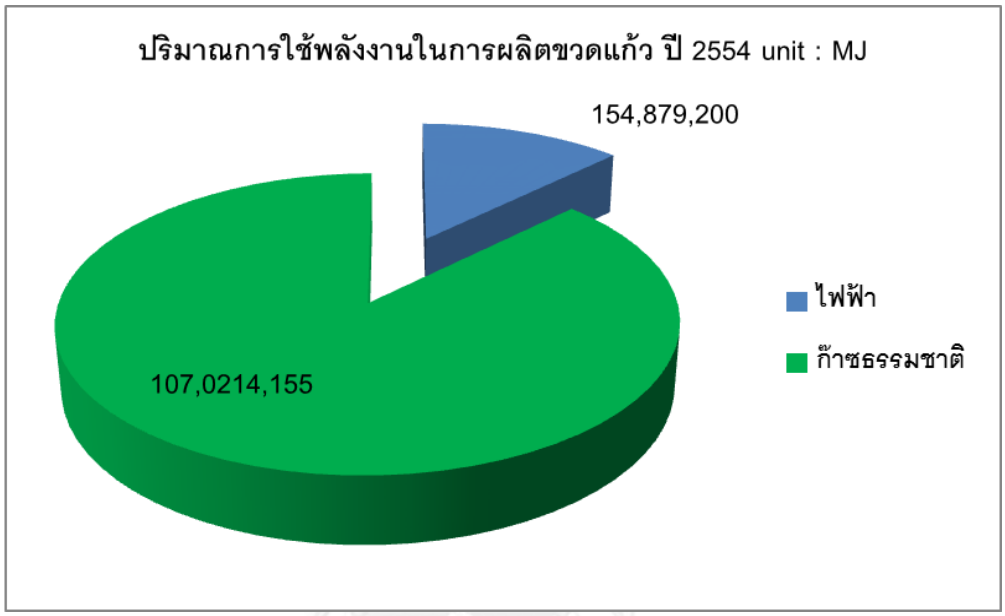
ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนการผลิตในแต่ละเตาหลอมของอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้ว

เตาหลอม	จำนวนไลน์การผลิต	จำนวนตัน/วัน
เตาหลอมที่ 1	3	110
เตาหลอมที่ 2	3	110
เตาหลอมที่ 3	3	180
เตาหลอมที่ 4	2	200

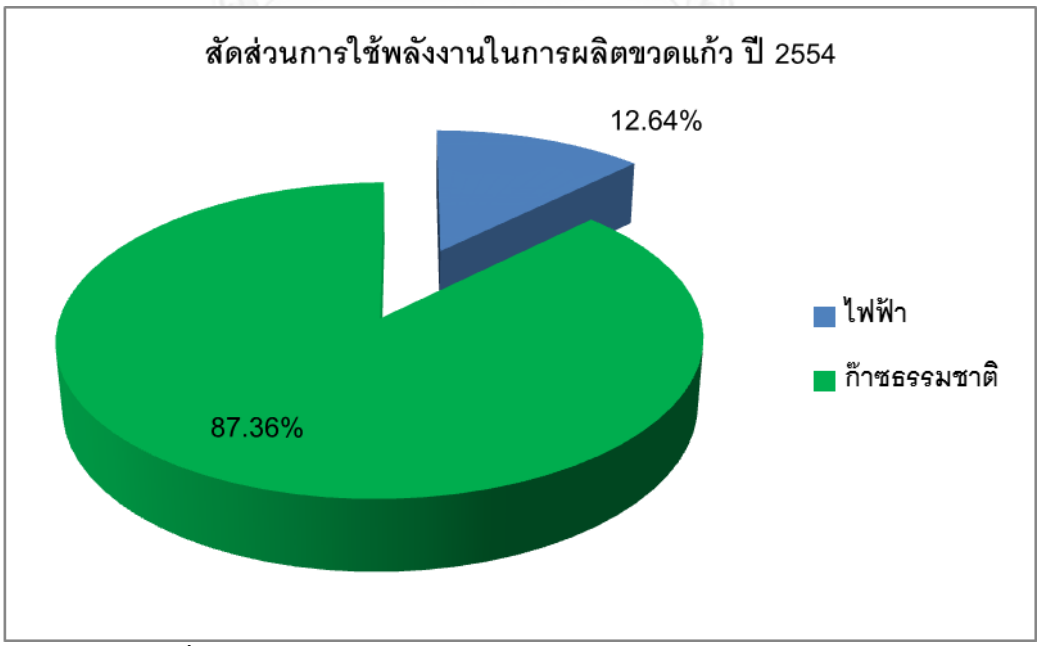


รูปที่ 4.1 แผนที่ของสถานประกอบการที่เข้าทำการศึกษา

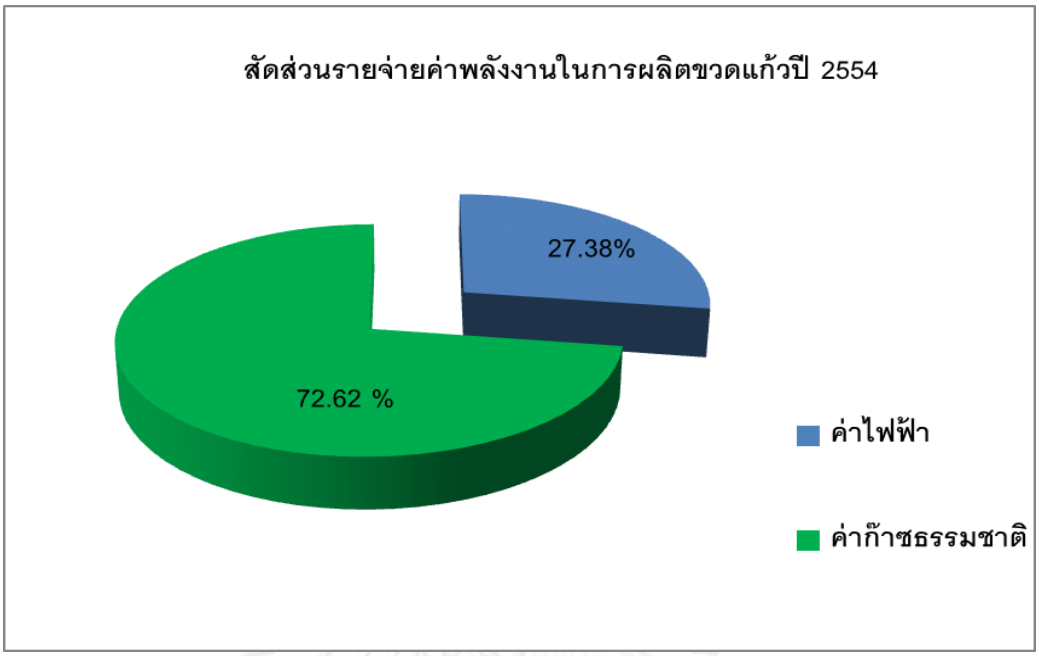
ในส่วนข้อมูลด้านพลังงาน ข้อมูลการใช้พลังงานในปี 2554 มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปี 43,022,000 kWhต่อปี คิดเป็นมูลค่าเงินที่ต้องจ่ายไปเท่ากับ 146,335,131.34 บาทต่อปี ส่วนพลังงานเชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติ ปริมาณการใช้ของปี 2554 อยู่ที่ 1,014,421 MMBTUต่อปี คิดเป็นมูลค่าเงินที่จ่ายไปเท่ากับ 388,081,104 บาทต่อปี



รูปที่ 4.2 ปริมาณการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้วปี 2554

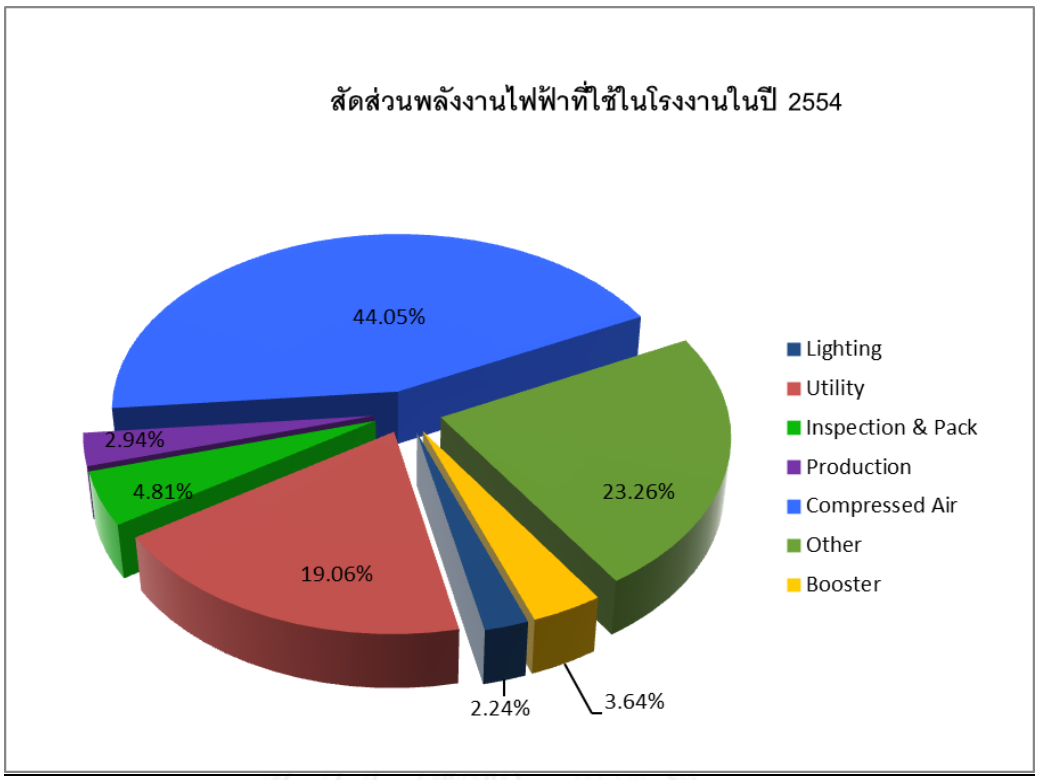


รูปที่ 4.3 สัดส่วนการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้วปี 2554



รูปที่ 4.4 สัดส่วนรายจ่ายค่าพลังงานในอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้วปี 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

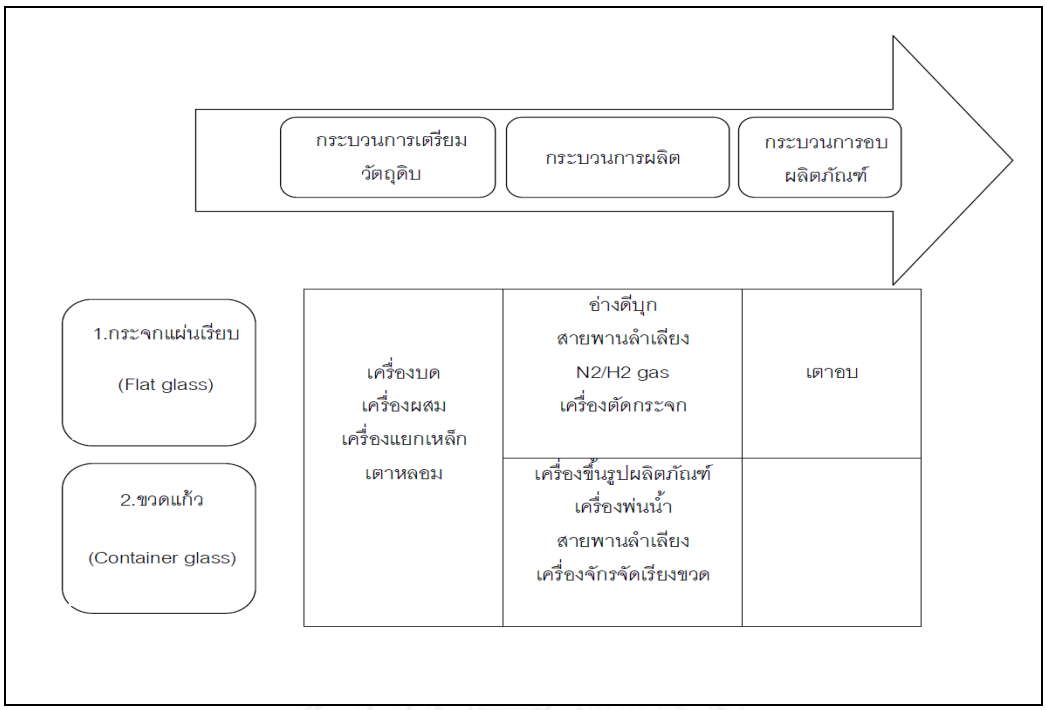


รูปที่ 4.5 สัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานในปี 2554

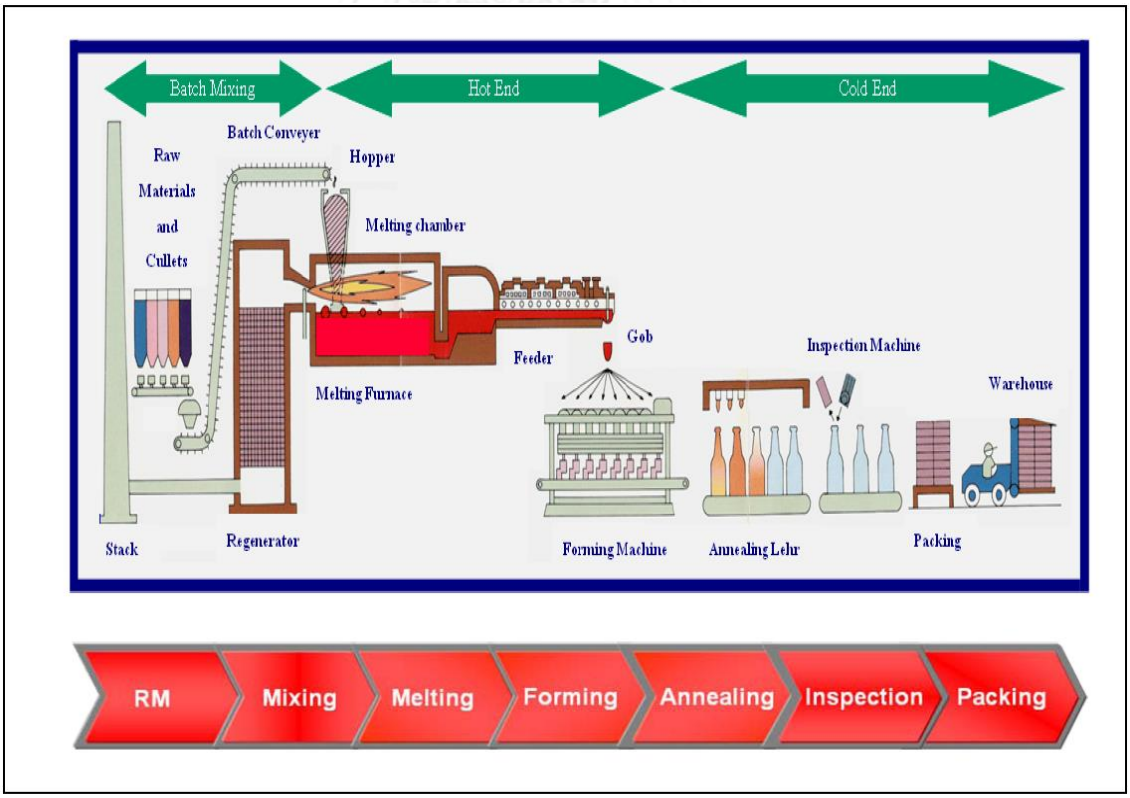
4.2 กระบวนการผลิตขวดแก้ว

ผังภาพกระบวนการผลิตทั่วไปของอุตสาหกรรมแก้ว ที่มา : แบบสำรวจ CI ของอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.6 ผังภาพกระบวนการผลิตทั่วไปของอุตสาหกรรมแก้ว



รูปที่ 4.7 กระบวนการผลิตขวดแก้วของอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษา

4.3 ขั้นตอนการผลิตขวดแก้ว

ขั้นตอนการผลิตขวดแก้ว ใช้กระบวนการผลิตและเทคโนโลยีที่ทันสมัย โดยจะควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ เพื่อให้การผลิตขวดแก้ว มีความสมบูรณ์ถูกต้องและแม่นยำและสามารถควบคุมคุณภาพและขั้นตอนการผลิตได้ โดยสามารถแบ่งขั้นตอนหลักได้ดังนี้

4.3.1 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ หรือ เรียกว่า ถือได้ว่าเป็นกระบวนการเริ่มต้นของการผลิตขวดแก้ว โดยได้นำเอาวัตถุดิบ คือ เศษแก้ว ทราย หินปูน โซดาแอส ผ่านเข้าเครื่องผสม และลำเลียงวัตถุดิบที่ได้ผสมกันแล้วนั้นผ่านสายพานลำเลียงเพื่อทำการหลอมแก้วในกระบวนการต่อไป โดยพลังงานหลักที่ใช้ในกระบวนการนี้คือพลังงานไฟฟ้า

4.3.2 กระบวนการผลิต

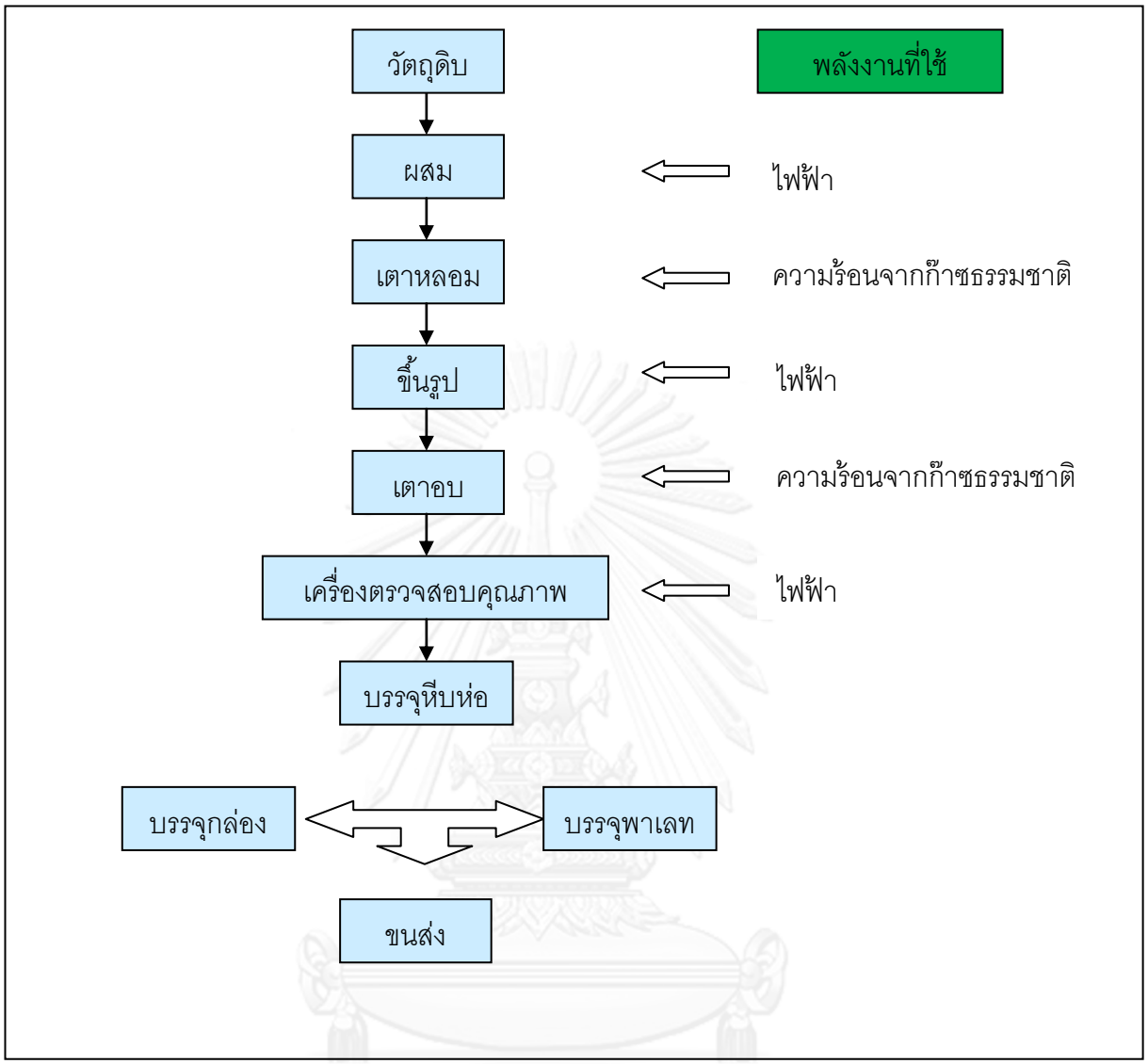
หลังจากได้ผสมวัตถุดิบในสัดส่วนที่เหมาะสม เข้าสู่กระบวนการผลิต คือ เริ่มต้นจากการหลอมแก้วที่มาจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ ในเตาหลอมแก้ว (Melting Furnace) ที่อุณหภูมิประมาณ 1500 องศาเซลเซียส แล้วส่งต่อมายังกระบวนการขึ้นรูป (Forming Machine) ขวดแก้ว ซึ่งกระบวนการผลิตใช้พลังงานความร้อนของก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการหลอมแก้ว และใช้พลังงานไฟฟ้าในการขึ้นรูป โดยใช้พลังงานลมจากเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) หลังจากเมื่อขึ้นรูปเสร็จแล้วทำการรอและเรียงขวดส่งเข้าเตาอบเพื่อควบคุมคุณภาพของเนื้อแก้วก่อนทำการส่งต่อกระบวนการตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการถัดไป

4.3.3 ตรวจสอบคุณภาพพร้อมส่งมอบลูกค้า

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตขวดแก้วและพร้อมที่จะส่งมอบให้กับลูกค้า โดยกระบวนการตรวจสอบคุณภาพคุณสมบัติต่างๆของขวดแก้วโดยใช้เครื่อง Inspection Machine หลังจากนั้นทำการบรรจุกล่องและพาเลทก่อนส่งมอบให้กับลูกค้าต่อไป

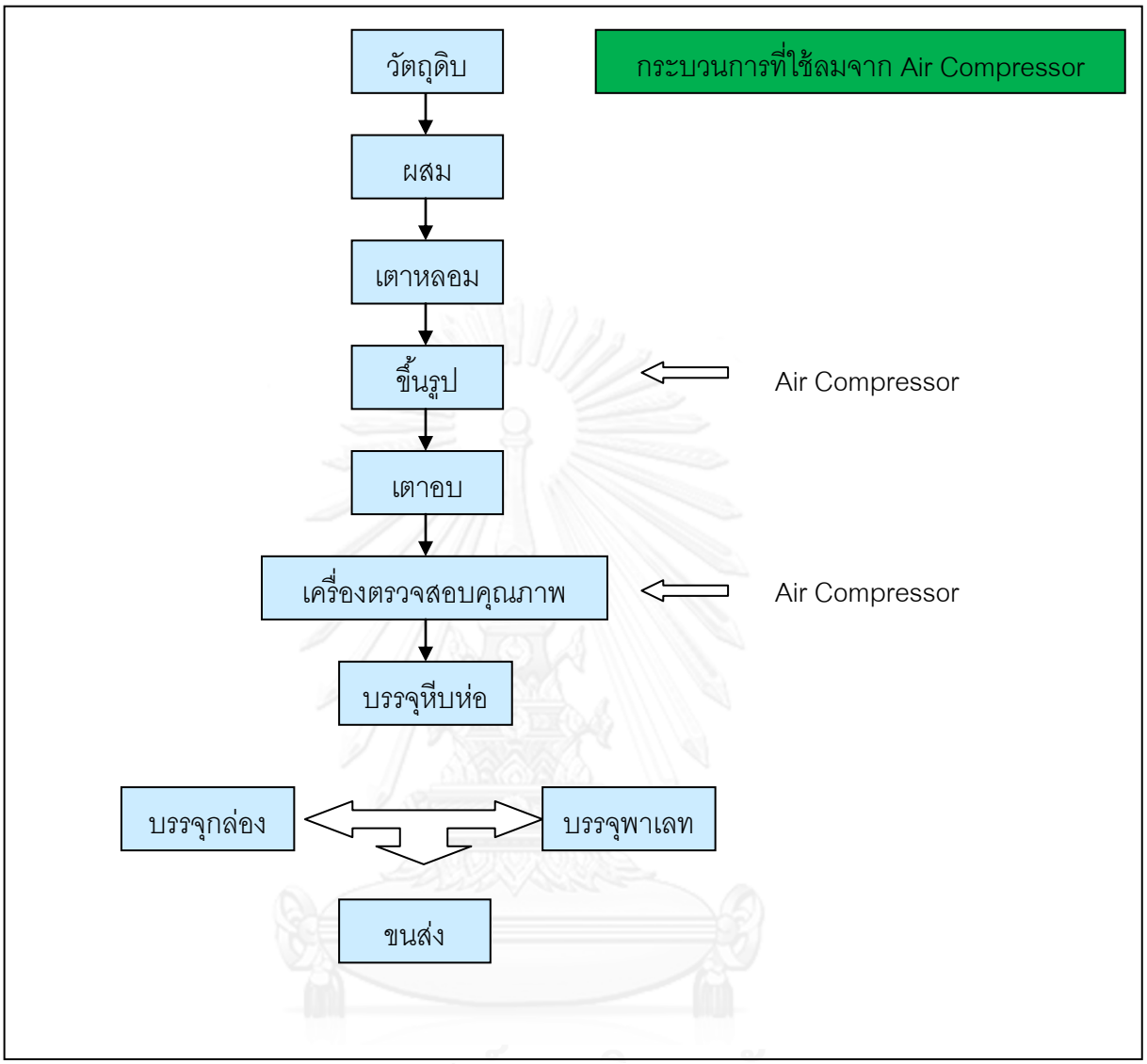
โดยจากการผลิตขวดแก้วทั้งหมดนั้นสามารถเขียนเป็น แผนผังแสดงการใช้พลังงานแต่ละกระบวนการผลิตดังรูปที่ 4.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.8 แผนผังแสดงการใช้พลังงานของแต่ละกระบวนการผลิต

และสามารถเขียนเป็น แผนผังแสดงการใช้ลมจากเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ในแต่ละกระบวนการผลิต ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แผนผังแสดงการใช้ลมจากเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ในแต่ละกระบวนการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4 ข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ที่ศึกษา

ข้อมูลเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ของโรงงานที่ทำการศึกษา แสดงดังตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

เครื่องอัดอากาศ (Air compressor)									
ลำดับ	ชื่อ	Model	Disch.	Real disch.	Flow(m^3/min)	Motor(kW.)	Min/Max(A)	Real Amp.	Year
1	JOY	TA-38	5(bar)	3.0(bar)	90	420	32/92	92	1991
2	JOY	TA-38	5(bar)	3.0(bar)	90	420	32/92	92	1991
3	JOY	TA-38	5(bar)	3.0(bar)	90	420	32/92	92	1991
4	Atlas cooper	GA-1408W	8(bar)	5.0(bar)	25	160	100/270	220	1988
5	Atlas cooper	GA-1408W	8(bar)	5.0(bar)	25	160	100/270	220	1988
6	Atlas cooper	GA-1408W	8(bar)	5.0(bar)	25	160	100/270	220	1989
7	Atlas cooper	GA-1408W	8(bar)	5.0(bar)	25	160	100/270	220	1989
8	Atlas cooper	GA-1408W	8(bar)	5.0(bar)	25	160	100/270	220	1989
9	JOY	TA-18	5(bar)	4.0(bar)	56	300	230/530	450	1994
10	JOY	TA-18	5(bar)	4.0(bar)	56	300	230/530	450	1994
11	JOY	TA-18	5(bar)	4.0(bar)	56	300	230/530	450	1994
12	JOY	TA-18	5(bar)	4.0(bar)	56	300	230/530	450	1994
13	Demag	ROW 600	6(bar)	3.6(bar)	75	200x2	(175/350)x2	(275)x2	1997
14	Gardner denver	ROL 120	5(bar)	4.0(bar)	12	75	125	125	2000
15	Gardner denver	ROL 120	5(bar)	4.0(bar)	12	75	125	125	2000
16	IHI	Tx-A200	5(bar)	2.95(bar)	42.5	220	220/375	320	2005
17	IHI	Tx-A200	5(bar)	3.14(bar)	42.5	220	220/375	350	2007
18	IHI	Tx-A290L	5(bar)	4.0(bar)	50.5	330	380/540	460	2010

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลมอเตอร์ปั๊มลมของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

รายละเอียด มอเตอร์ ปั๊มลม								
ลำดับ	ชื่อ	ชนิด	Motor (kW.)	Motor(hp.)	Volt	Amp.	Hz	rpm.
1	JOY	Turbo	420	563	3300	91.5	50	2975
2	JOY	Turbo	420	563	3300	91.5	50	2975
3	JOY	Turbo	420	563	3300	91.5	50	2975
4	Atlas cooper	Rotary Screw	160	214	380	295	50	1485
5	Atlas cooper	Rotary Screw	160	214	380	295	50	1485
6	Atlas cooper	Rotary Screw	160	214	380	295	50	1485
7	Atlas cooper	Rotary Screw	160	214	380	295	50	1485
8	Atlas cooper	Rotary Screw	160	214	380	295	50	1485
9	JOY	Turbo	300	402	380	535	50	2965
10	JOY	Turbo	300	402	380	535	50	2965
11	JOY	Turbo	300	402	380	535	50	2965
12	JOY	Turbo	300	402	380	535	50	2965
13	Demag	Rotary Vane	200x2	300x2	380	375	50	1485
14	Gardner denver	Rotary Vane	75	101	380	125	50	1480
15	Gardner denver	Rotary Vane	75	101	380	125	50	1480
16	IHI	Turbo	220	295	380	387	50	2975
17	IHI	Turbo	220	295	380	387	50	2975
18	IHI	Turbo	330	442	380	580	50	2960

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลการเดินเครื่องอัดอากาศประจำวัน (Air Compressor)

การเดินเครื่องอัดอากาศ ประจำวัน									
ลำดับ	ชื่อ	Real disch.	Flow(m^3/min)	Real Amp.	kWh.	hp.	สถานะ	จ่ายลม	สถานที่
1	JOY	3.0(bar)	90	92	473.2517	600	Run	L	F1-3
2	JOY	3.0(bar)	90	92	473.2517	600	Run	L	F1-3
3	JOY	3.0(bar)	90	92	473.2517	600	Run	L	F1-3
4	Atlas cooper	5.0(bar)	25	220	124.5239	220	Run	H	F1-4
5	Atlas cooper	5.0(bar)	25	220	124.5239	220	Run	H	F1-4
6	Atlas cooper	5.0(bar)	25	220	124.5239	220	Run	H	F1-4
7	Atlas cooper	5.0(bar)	25	220	124.5239	220	Stop	H	F1-4
8	Atlas cooper	5.0(bar)	25	220	124.5239	220	Run	H	F1-4
9	JOY	4.0(bar)	56	450	254.7079	400	Run	H	F1-4
10	JOY	4.0(bar)	56	450	254.7079	400	Stop	L	F4
11	JOY	4.0(bar)	56	450	254.7079	400	Run	L	F4
12	JOY	4.0(bar)	56	450	254.7079	400	Stop	H	F4
13	Demag	3.6(bar)	75	(275)x2	311.3097	600	Stop	L	F1-3
14	Gardner denver	4.0(bar)	12	125	70.7522	100	Stop	H	F1-3
15	Gardner denver	4.0(bar)	12	125	70.7522	100	Stop	H	F1-3
16	IHI	2.95(bar)	42.5	320	189.5501	300	Run	L	F1-3
17	IHI	3.14(bar)	42.5	350	207.3204	300	Run	L	F1-3
18	IHI	4.0(bar)	50.5	460	272.4782	400	Run	L	F4

หมายเหตุ

1. L = 3.2 bar และ H = 4.0 bar
2. มีการสลับหรือเปลี่ยนตัวเดินปั๊มลมเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องผลิตขวด

รูปที่ 4.10 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 1 JOY TA-38 (Turbo)

รูปที่ 4.11 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 2 JOY TA-38 (Turbo)

รูปที่ 4.12 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 3 JOY TA-38 (Turbo)

รูปที่ 4.13 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 4 Atlas cooper GA-1408W (Rotary Screw)

รูปที่ 4.14 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 5 Atlas cooper GA-1408W (Rotary Screw)

รูปที่ 4.15 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 6 Atlas cooper GA-1408W (Rotary Screw)

รูปที่ 4.16 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 7 Atlas cooper GA-1408W (Rotary Screw)

รูปที่ 4.17 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 8 Atlas cooper GA-1408W (Rotary Screw)

รูปที่ 4.18 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 9 JOY TA-18 (Turbo)

รูปที่ 4.19 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 10 JOY TA-18 (Turbo)

รูปที่ 4.20 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 11 JOY TA-18 (Turbo)

รูปที่ 4.21 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 12 JOY TA-18 (Turbo)

รูปที่ 4.22 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 13 DEMAG ROW-600 (Rotary Vane)

รูปที่ 4.23 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 14 Gardner ROL-120 (Rotary Vane)

รูปที่ 4.24 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 15 Gardner ROL-120 (Rotary Vane)

รูปที่ 4.25 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 16 IHI Tx-A200 (Turbo)

รูปที่ 4.26 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 17 IHI Tx-A200 (Turbo)

รูปที่ 4.27 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องที่ 18 IHI Tx-A290L (Turbo)

4.4 ข้อมูลค่าไฟฟ้าของโรงงานที่ทำการศึกษา

ข้อมูลค่าไฟฟ้าของโรงงานที่ทำการศึกษา แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าไฟฟ้าของปี 2554

ค่าไฟฟ้าของโรงงาน ปี2011 (บาท)	
มกราคม	11,544,271.44
กุมภาพันธ์	10,280,504.84
มีนาคม	12,398,392.62
เมษายน	11,332,653.08
พฤษภาคม	12,554,469.56
มิถุนายน	12,459,454.89
กรกฎาคม	12,750,030.12
สิงหาคม	13,072,798.96
กันยายน	12,650,142.82
ตุลาคม	12,327,469.28
พฤศจิกายน	12,715,344.30
ธันวาคม	12,249,599.43
รวม	**146,335,131.34**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ปี 2554

คิดเป็นค่าไฟฟ้าของระบบเครื่องอัดอากาศ 40% (บาท)		
มกราคม	11,544,271.44	4,617,708.58
กุมภาพันธ์	10,280,504.84	4,112,201.94
มีนาคม	12,398,392.62	4,959,357.05
เมษายน	11,332,653.08	4,533,061.23
พฤษภาคม	12,554,469.56	5,021,787.82
มิถุนายน	12,459,454.89	4,983,781.96
กรกฎาคม	12,750,030.12	5,100,012.05
สิงหาคม	13,072,798.96	5,229,119.58
กันยายน	12,650,142.82	5,060,057.13
ตุลาคม	12,327,469.28	4,930,987.71
พฤศจิกายน	12,715,344.30	5,086,137.72
ธันวาคม	12,249,599.43	4,899,839.77
รวม	**146,335,131.34**	**58,534,052.54**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

4.5.1 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Flow meter)

อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Flow meter) ทำหน้าที่วัดอัตราการไหลของอากาศในระบบอากาศอัด มีทั้งแบบติดตั้งละแบบพกพา ซึ่งข้อดีของเครื่องมือวัดอัตราการไหลของระบบอัดอากาศแบบพกพา (Mobile flow) คือ สามารถที่จะวัดอัตราการไหลของอากาศอัด ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่ต้องการ โดยไม่ต้องต่อสายไฟและยังสามารถเก็บบันทึกค่าอัตราการไหลของอากาศอัด ณ ตำแหน่งต่างๆเพื่อนำมาเก็บบันทึกค่าได้ ส่วนข้อดีของ เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศแบบติดตั้ง (Air consumption measurement) คือ สามารถติดตั้งได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องหยุดระบบในการติดตั้ง ติดตั้งได้ทั้งยึดกับผนังหรือติดตั้งกับตู้ Control สามารถที่จะได้ใช้กับท่อที่มีขนาดต่างๆกันได้ ในการวัดไม่ต้องคำนึงถึงแรงดันหรืออุณหภูมิของอากาศอัดแต่อย่างใด สามารถบันทึกค่าที่ทำการวัดได้ด้วยตัว Processor สามารถที่จะใช้ software ต่อเชื่อมเพื่อนทำการดูค่าของอุปกรณ์ได้ถึง 128 ตัว สามารถที่จะปรับค่าต่างๆ ได้โดยใช้ตัว Processor โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกสามารถที่จะถ่ายข้อมูลลงบน Memory Stick และนำมาถ่ายลงคอมพิวเตอร์ได้

รูปที่ 4.28 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Flow meter)

4.5.2 อุปกรณ์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Power meter)

อุปกรณ์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Power meter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการดูค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ และช่วยให้เรานำข้อมูลมาใช้คู่กับโครงการประหยัดพลังงาน ใช้วิเคราะห์การใช้ไฟฟ้า หรือช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้

รูปที่ 4.29 อุปกรณ์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Power meter)

4.5 การสำรวจลมรั่วในระบบอัดอากาศ

เนื่องจากโรงงานที่ทำการศึกษาเป็นโรงงานที่มีการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง จึงไม่สามารถทำการตรวจวัดลมรั่วในรระอัดอากาศด้วยวิธีการทดสอบเครื่องอัดอากาศที่ทำงานแบบ ON/OFF Load หรือการทดสอบเครื่องอัดอากาศแบบ Load + Unload ได้ จึงต้องใช้วิธีการสำรวจจุลมรั่วในระบบอัดอากาศและคิดการรั่วไหลของอากาศอัดเฉพาะจุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
ผลการวิจัยและวิเคราะห์

สำหรับบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการคำนวณและการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ นำมาเปรียบเทียบเพื่อการเลือกใช้งานเครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะสูงก่อนให้ใช้งานได้มากที่สุด และ นำเสนอความคุ้มค่าของการลงทุนในการเลือกเครื่องอัดอากาศตัวใหม่มาทดแทนตัวเก่าที่มีสมรรถนะต่ำ และรวมถึงการสำรวจลมรั่วเพื่อนำมาเป็นมาตรการในการประหยัดพลังงานด้วย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 ผลการคำนวณสมรรถนะเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) และวิเคราะห์ผล

ในการคำนวณสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศนี้ เราเลือกสำรวจและวิเคราะห์ที่เครื่องอัดอากาศ No. 1-12 เนื่องจากมีอายุการใช้งานมากกว่า 15 ปีขึ้นไป ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ No.1-12

ลำดับ	ชื่อ	จำนวนปี	Design (kW/l/sec)	Actual (kW/l/sec)
1	JOY TA-38	20	0.280	0.304
2	JOY TA-38	20	0.280	0.317
3	JOY TA-38	20	0.280	0.312
4	Atlas cooper GA-1408W	23	0.384	0.418
5	Atlas cooper GA-1408W	23	0.384	0.446
6	Atlas cooper GA-1408W	22	0.384	0.406
7	Atlas cooper GA-1408W	22	0.384	0.415
8	Atlas cooper GA-1408W	22	0.384	0.410
9	JOY TA-18	17	0.321	0.371
10	JOY TA-18	17	0.321	0.379
11	JOY TA-18	17	0.321	0.389
12	JOY TA-18	17	0.321	0.364

ผลการคำนวณจากตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่า สมรรถนะเครื่องอัดอากาศ No.5 Atlas cooper GA-1408W มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิตมากที่สุด คือ 0.446 kW/l/sec และรองลงมาคือ No.4 Atlas cooper GA-1408W มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต เท่ากับ 0.418 kW/l/sec, No.7 Atlas cooper GA-1408W มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต เท่ากับ 0.415 kW/l/sec, No.8 Atlas cooper GA-1408W มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต เท่ากับ 0.410 kW/l/sec, No.6 Atlas cooper GA-1408W มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต เท่ากับ 0.406 kW/l/sec, No.11 JOY TA-18 มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต เท่ากับ 0.389 kW/l/sec, No.10 JOY TA-18 มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต เท่ากับ 0.379 kW/l/sec, No.9 JOY TA-18 มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต เท่ากับ 0.371 kW/l/sec, No.12 JOY TA-18 มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต เท่ากับ 0.364 kW/l/sec, No.2 JOY TA-38 มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต เท่ากับ 0.317 kW/l/sec, No.3 JOY TA-38 มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต เท่ากับ 0.312 kW/l/sec และ No.1 JOY TA-18 มีการใช้ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิตน้อยที่สุด คือ 0.304 kW/l/sec ตามลำดับ ซึ่งสามารถจัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศโดยให้เครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะสูงเดินก่อน และที่มีสมรรถนะต่ำ ไว้เป็นตัวสำรองในกรณีที่มีการหยุดซ่อมบำรุงเครื่องอัดอากาศ หรือในกรณีฉุกเฉินที่ลมขาด ไม่เพียงพอ ก็สามารถเดินเครื่องที่เก็บไว้สำรองได้ตามตารางดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.2 แสดงการจัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ No.1-18

ลำดับ	ชื่อ	สถานะ	Design (kW/l/sec)	Actual (kW/l/sec)
1	JOY TA-38	Run	0.280	0.304
2	JOY TA-38	Run	0.280	0.317
3	JOY TA-38	Run	0.280	0.312
4	Atlas cooper GA-1408W	Stop	0.384	0.418
5	Atlas cooper GA-1408W	Stop	0.384	0.446
6	Atlas cooper GA-1408W	Stop	0.384	0.406
7	Atlas cooper GA-1408W	Stop	0.384	0.415
8	Atlas cooper GA-1408W	Stop	0.384	0.410
9	JOY TA-18	Run	0.321	0.371
10	JOY TA-18	Run	0.321	0.379
11	JOY TA-18	Run	0.321	0.389
12	JOY TA-18	Run	0.321	0.364
13	Demag ROW-600	Run	0.300	-
14	Gardner Denver ROL-120	Run	0.360	-
15	Gardner Denver ROL-120	Run	0.360	-
16	IHI TXA-200	Run	0.311	-
17	IHI TXA-200	Run	0.311	-
18	IHI TXA-290L	Run	0.392	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ผลการเปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) สมรรถนะต่ำกับเครื่องใหม่

ค่าใช้จ่ายเครื่องเดิม จำนวน 2 เครื่อง

-	ค่าไฟฟ้าต่อปี เครื่อง No.4	5,706,163.65	บาท
-	ค่าไฟฟ้าต่อปี เครื่อง No.5	6,088,394.71	บาท
-	ค่าบำรุงรักษาต่อปี เครื่อง N0.4	145,000	บาท
-	ค่าบำรุงรักษาต่อปี เครื่อง N0.5	145,000	บาท
	รวม	12,084,558.36	บาท

ค่าใช้จ่ายเครื่องใหม่ จำนวน 1 เครื่อง

-	ค่าไฟฟ้าต่อปี	10,809,450.65	บาท
-	ค่าบำรุงรักษาต่อปี	135,333	บาท
	รวม	10,944,783.65	บาท

ค่าใช้จ่ายส่วนต่างที่ประหยัดได้ต่อปี

ประหยัดได้ 12,084,558.36 – 10,944,783.65 = 1,139,775 บาท

ค่าใช้จ่ายในกาลงทุนซื้อเครื่องใหม่

ราคาเครื่อง IHI TXA-290L 1 เครื่อง 5,440,000 บาท

ผลกำไรกลับคืน

Pay back	=	5,440,000 / 1,139,775
	=	4.77 ปี
	=	4 ปี 9 เดือน
ระยะเวลาโครงการ	=	15 ปี
NPV	=	3,914,792
IRR	=	21 %

จากผลกำลังกลับคืน ที่มี ระยะเวลาการคืนทุน 4 ปี 9 เดือน มีค่า NPV เป็นบวก คือ 3,914,792 และมีค่า IRR คือ 21% ซึ่งเกินที่คาดการณ์ไว้ที่ 8% พบว่าเป็นโครงการที่น่าสนใจในการลงทุนที่จะปรับเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศเพื่อการประหยัดพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3 ผลการคำนวณหาปริมาณลมรั่วและค่าการสูญเสียพลังงาน

ตารางที่ 5.3 ผลการคำนวณหาปริมาณลมรั่วและค่าการสูญเสียพลังงาน

ลำดับ	ชื่อปั๊มลม	ขนาดรู (mm.)	ความดัน (bar)	สถานที่	ค่าการรั่วไหล (l/sec)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)	มูลค่าพลังงาน (บาท/ปี)
1	Atlas cooper (No.5)	3	4	โรงผสม F1,2	7.2	28130.11	105206.61
2	IHI (No.16)	3	3.2	เครื่อง IS#6	6.1	16618.60	62153.56
3	JOY (No.9)	2	4	Inspection Line#11	3.2	10399.87	38895.51

ซึ่งเมื่อรวมทั้ง 3 จุดแล้ว พบว่ามีมูลค่าการสูญเสียรวมกัน เท่ากับ 206255.68บาท/ปี จึงควรมีการใส่ใจและดูแลในระบบอากาศอัด และควรมีมาตรการเพื่อเพิ่มการตรวจสอบ ดังนี้

1. ควรทำการเดินสำรวจรอยรั่วในระบบเครื่องอัดอากาศเป็นประจำ เพื่อลดมูลค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากลมรั่ว
2. ควรมีการติดตั้ง Flow Meter เพื่อให้สะดวกกับการตรวจสอบปริมาณลมที่ใช้
3. ในระบบที่มีพื้นที่การใช้งานจำนวนมาก ควรจะมีมิเตอร์ตั้งอยู่ในแต่ละส่วนหรือในสถานที่ที่เกิดรอยรั่วได้ง่าย เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบและการควบคุมปริมาณการใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้วิจัยถึงการหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ เพื่อทำการจัดลำดับการใช้งานให้เครื่องที่มีสมรรถนะสูงทำงานให้ได้มากที่สุด และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบเพื่อเป็นข้อมูลในการซื้อเครื่องอัดอากาศตัวใหม่มามดแทนตัวเดิมที่มีอายุการใช้งานมาก และสมรรถนะต่ำกว่าตัวอื่น และรวมไปถึงการสำรวจหาลมรั่ว เพื่อเพิ่มมาตรการบำรุงรักษา ในการลดลมรั่ว และประหยัดพลังงาน ดังรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 1-5 แต่สำหรับบทนี้จะเป็นการสรุปผลโดยรวม พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะสำหรับการขยายผลการศึกษาต่อไปในอนาคตด้วย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

6.1 สรุปผลการวิจัย

1. ในการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากกาศพบว่า เครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะต่ำสุด คือ 0.446 kW/l/sec
2. การจัดลำดับการเดินเครื่องอัดอากาศ โดยให้เครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะต่ำจำนวน 5 เครื่อง ไว้เป็นเครื่องสำรอง และให้เครื่องที่มีสมรรถนะสูงกว่า ทำงานให้ได้มากที่สุด
3. มีการเปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศที่อายุการทำงานมากกับเครื่องใหม่ โดยซื้อเครื่องใหม่จำนวน 1 เครื่อง (IHI TXA-290L) เพื่อทดแทนเครื่องเดิมที่มีสมรรถนะต่ำ จำนวน 2 เครื่อง (Atlas cooper GA-1408W) ซึ่งมีระยะการคืนทุนอยู่ที่ 4 ปี 9 เดือน
4. จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการเปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศที่อายุการทำงานมากกับเครื่องใหม่ พบว่าค่า NPV เป็นค่าบวก คือ 3,914,792 และ ค่า IRR เท่ากับ 21% ซึ่งถือว่าเป็นโครงการที่น่าลงทุน
5. จากข้อมูลการวิเคราะห์หาลมรั่วในระอากาศอัด พบลมรั่วในกระบวนการทั้งหมด 3 จุด รวมเป็นมูลค่าการสูญเสีย เท่ากับ 206,256 บาท/ปี
6. จากข้อมูลมูลค่าการสูญเสียของลมรั่ว จึงควรมีการใส่ใจและดูแลในระบบอากาศอัด และควรมีมาตรการเพื่อเพิ่มการตรวจสอบ ดังนี้

    - ควรทำการเดินสำรวจรอยรั่วในระบบเครื่องอัดอากาศเป็นประจำ เพื่อลดมูลค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากลมรั่ว
    - ควรมีการติดตั้ง Flow Meter เพื่อให้สะดวกกับการตรวจสอบปริมาณลมที่ใช้
    - ในระบบที่มีพื้นที่การใช้งานจำนวนมาก ควรจะมีมิเตอร์ตั้งอยู่ในแต่ละส่วน หรือในสถานที่ที่เกิดรอยรั่วได้ง่าย เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบและการควบคุมปริมาณการใช้

6.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยต่อไป

1. จากการตรวจวัดข้อมูลเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ พบว่ามีบางจุดที่ทำการตรวจวัดยาก ควรมีการติดตั้ง Flow Meter เพื่อให้สะดวกกับการตรวจสอบปริมาณลมที่ใช้
2. ในโรงงานผลิตขวดแก้วมีการใช้งานพลังงานหลักๆ 2 ส่วน คือ ก๊าซธรรมชาติ และ ไฟฟ้า ซึ่งก๊าซธรรมชาติก็เป็นตัวหลักที่ใช้ปริมาณมาก จึงอาจหาแนวทางในการศึกษาเพื่อลดการใช้พลังงานลงได้
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อศึกษาการหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศในอุตสาหกรรมอื่นๆได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. ชาญณรงค์ ลุนสะแกวงษ์, การหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ และประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นในโรงงาน ไดเซล เซฟตี้ เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย), สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2553, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
2. ประกอบ เอี่ยมสะอาด, การบริหารจัดการพลังงานในระบบอากาศอัดของโรงงานอุตสาหกรรม, สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
3. หน่วยปฏิบัติการวิจัยการบริหารอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, โครงการพัฒนาผู้ประกอบการอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกไทย (กรณีศึกษา: การลดต้นทุนพลังงานในระบบลมอัดอากาศ). คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. วิทยา เตชาวงศ์, การประยุกต์ใช้โปรแกรมพลวัต ช่วยตัดสินใจในการบำรุงรักษาและการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศ, สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย. 2551, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
5. บริษัท อีอีซี อีเนอร์จีติคส์ จำกัด, การเลือกวิธีการประหยัดพลังงานโดยการควบคุมและบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ, เอกสารเผยแพร่แนวทางการปฏิบัติงานที่ดี หมายเลข 12. 2547, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. p. 27-30.
6. Bureau of Energy Efficiency, Energy Performance Assessment of Compressors. p. 107-114.
7. Teenet.tei.or.th, ระบบอัดอากาศ. p. 86 – 124.
8. อัตราค่าไฟฟ้า, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2554.
9. เครื่องมือในการประเมินโครงการ, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
10. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, คู่มือคำอธิบายพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ. 2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) สำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม, กระทรวงพลังงาน, p. 14-19.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก.
ข้อมูลการตรวจวัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. ข้อมูลแสดงสมรรถนะเริ่มต้นของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

ข้อมูลสมรรถนะเริ่มต้นของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) แสดงดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก. 1 แสดงข้อมูลประสิทธิภาพเริ่มต้นของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

ลำดับ	ชื่อ	Motor (kW.)	Flow (m^3/min)	KW/l/sec
1	JOY TA-38	420	90	0.280
2	JOY TA-38	420	90	0.280
3	JOY TA-38	420	90	0.280
4	Atlas cooper GA-1408W	160	25	0.384
5	Atlas cooper GA-1408W	160	25	0.384
6	Atlas cooper GA-1408W	160	25	0.384
7	Atlas cooper GA-1408W	160	25	0.384
8	Atlas cooper GA-1408W	160	25	0.384
9	JOY TA-18	300	56	0.321
10	JOY TA-18	300	56	0.321
11	JOY TA-18	300	56	0.321
12	JOY TA-18	300	56	0.321
13	Demag ROW-600	200x2	80	0.300
14	Gardner Denver ROL-120	75	12.5	0.360
15	Gardner Denver ROL-120	75	12.5	0.360
16	IHI TXA-200	220	42.5	0.311
17	IHI TXA-200	220	42.5	0.311
18	IHI TXA-290L	330	50.5	0.392

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. COMPRESSOR SPECIFICATION

No.	ITEM	SPECIFICATION	NOTE
1	Required Quantity	1 set	
2	Type	Tx-A200	
3	Location	Indoor (MAX. AMBIENT TEMP. 40℃)	Non-hazardous
4	Gas Name	Air	
5	No. of stage	Two	
6	Rated Operating Conditions		
	Ambient Press.	0.1013 MPa	
	Suction Press.	0.0993 MPa	
	Suction Temp.	38 ℃ (Design point)	(Option)
	Relative Humidity	80 %	
7	Discharge Press.	0.5MPa (Gauge)	(5.0 BarG)
8	Capacity	42.5 m^3/min	±4%
9	Discharge Temp.	Approximately 40 ℃	After-cooler outlet
10	Driver	Motor	
	Main motor Type	Open drip proof, squirrel cage	
	Rated	220 kW	
	Revolution	3000 min^{-1}	
11	Revolution of Bull Gear	2960 min^{-1}	
12	CAPACITY CONTROL	・CONSTANT PRESS.+ Load/Unload CONTROL ・CONSTANT PRESS.+ Anti-surge CONTROL	Switching system (Option)
13	Noise Level	Machine side 1.5m (For circumferences average.) ■ 91dB (A) *With in allowance of JIS C 1509-1	±3dB (A) Except blow-off Condition

รูปที่ ก. 1 ตัวอย่างใบแสดงข้อมูลจำเพาะของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

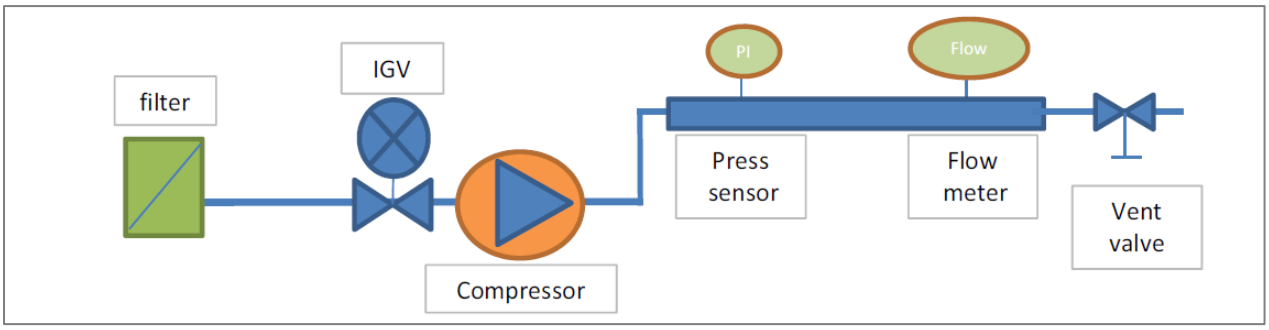
2. ข้อมูลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

ข้อมูลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ แสดงดังตารางต่อไปนี้

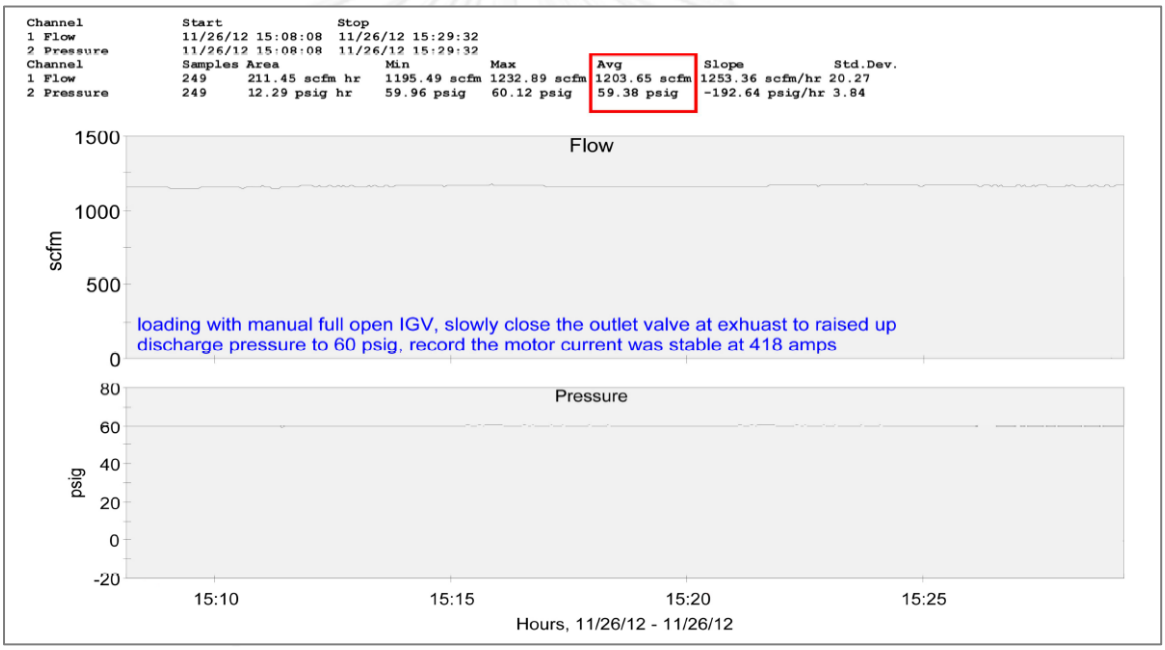
ตารางที่ ก. 2 แสดงข้อมูลการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

วันที่	เวลา	ชื่อ	จำนวนปีการทำงาน	Design Flow (ICFM)	Actual Flow (ICFM)	kW
28/11/12	20 นาที	JOY TA-18 (No.10)	17	1978	1377	12.3
12/05/14	20 นาที	JOY TA-18 (No.9)	17	1978	1381	12.1
12/05/14	20 นาที	JOY TA-18 (No.11)	17	1978	1362	12.5
12/05/14	20 นาที	JOY TA-18 (No.12)	17	1978	1387	11.9
13/05/14	20 นาที	JOY TA-38 (No.1)	20	3178	2118	15.2
13/05/14	20 นาที	JOY TA-38 (No.2)	20	3178	2109	15.8
13/05/14	20 นาที	JOY TA-38 (No.3)	20	3178	2185	16.1
14/05/14	20 นาที	Atlas cooper GA-1408W (No.4)	23	883	548	5.4
14/05/14	20 นาที	Atlas cooper GA-1408W (No.5)	23	883	561	5.9
14/05/14	20 นาที	Atlas cooper GA-1408W (No.6)	22	883	574	5.5
15/05/14	20 นาที	Atlas cooper GA-1408W (No.7)	22	883	582	5.7
15/05/14	20 นาที	Atlas cooper GA-1408W (No.8)	22	883	569	5.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ ก. 2 วิธีการตรวจวัดอัตราการไหลของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)



รูปที่ ก. 3 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลการตรวจวัดอัตราการไหลของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

รูปที่ ก. 4 วิธีการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

3. ข้อมูลการตรวจวัดลมรั่ว

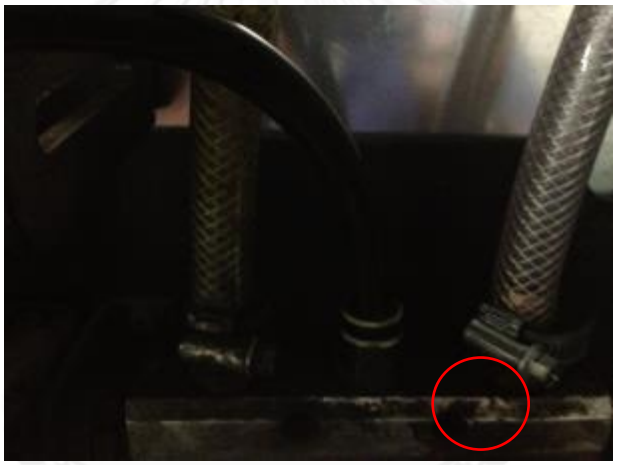
ข้อมูลจากการเดินสำรวจ และวัดขนาดรูของลมที่รั่วจากท่อ แสดงดังตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก. 3 แสดงข้อมูลขนาดรูของลมที่รั่วในระบบอัดอากาศ

ลำดับ	ชื่อปั๊มลม	Model	ขนาดรู (mm.)	ความดัน (bar)	สถานที่
1	Atlas cooper (No.5)	GA-1408W	3	4	โรงผสม F1,2
2	IHI (No.16)	Tx-A200	3	3.2	เครื่อง IS#6
3	JOY (No.9)	TA-18	2	4	Inspection Line#11

รูปที่ ก. 5 รูปรูที่มีลมรั่ว ที่โรงผสม F#1,2

รูปที่ ก. 6 รูปรูที่มีลมรั่ว ที่เครื่อง IS#6

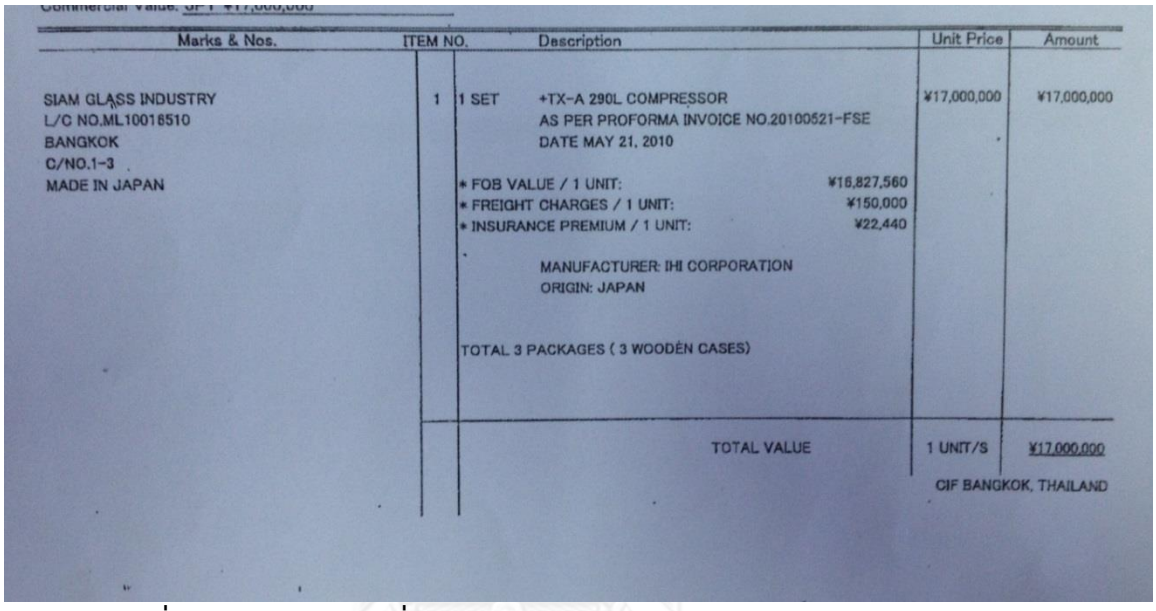


รูปที่ ก. 7 รูปรูที่มีลมรั่ว ที่เครื่อง Inspection Line#11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ข้อมูลราคาเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

ข้อมูลราคาเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) IHI TXA-290L 1 set ราคา 17,000,000 Yen ซึ่งคิดราคาเป็นเงินไทยอยู่ที่ประมาณ 5,440,000 บาท (คิดที่ 100 Yen = 32 บาท) แสดงดังรูป ก.8



Marks & Nos.	ITEM NO.		Description	Unit Price	Amount
SIAM GLASS INDUSTRY L/C NO.ML10016510 BANGKOK C/NO.1-3 MADE IN JAPAN	1	1 SET	+TX-A 290L COMPRESSOR AS PER PROFORMA INVOICE NO.20100521-FSE DATE MAY 21, 2010	¥17,000,000	¥17,000,000
			* FOB VALUE / 1 UNIT: ¥16,827,560 * FREIGHT CHARGES / 1 UNIT: ¥150,000 * INSURANCE PREMIUM / 1 UNIT: ¥22,440		
			MANUFACTURER: IHI CORPORATION ORIGIN: JAPAN		
			TOTAL 3 PACKAGES (3 WOODEN CASES)		
			TOTAL VALUE	1 UNIT/S	¥17,000,000
				CIF BANGKOK, THAILAND	

รูปที่ ก. 8 ข้อมูลราคาเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) IHI TXA-290L 1 set

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข.
ตัวอย่างการคำนวณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. การคำนวณสมรรถนะเริ่มต้นของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

ข้อมูลเริ่มต้นของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) แสดงดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข. 1 แสดงข้อมูลเริ่มต้นของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

ลำดับ	ชื่อ	Motor (kW.)	Flow (m^3/min)
1	JOY TA-38	420	90
2	JOY TA-38	420	90
3	JOY TA-38	420	90
4	Atlas cooper GA-1408W	160	25
5	Atlas cooper GA-1408W	160	25
6	Atlas cooper GA-1408W	160	25
7	Atlas cooper GA-1408W	160	25
8	Atlas cooper GA-1408W	160	25
9	JOY TA-18	300	56
10	JOY TA-18	300	56
11	JOY TA-18	300	56
12	JOY TA-18	300	56
13	Demag ROW-600	200x2	80
14	Gardner Denver ROL-120	75	12.5
15	Gardner Denver ROL-120	75	12.5
16	IHI TXA-200	220	42.5
17	IHI TXA-200	220	42.5
18	IHI TXA-290L	330	50.5

1.1 เครื่องอัดอากาศ No.1-3 JOY TA-38 มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้าจากมอเตอร์ 420 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 90 m^3/min

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ คือ

$$\text{Specific Power Consumption} = \frac{\text{Power Consumption}}{\text{Free Air Delivered}} = \frac{kW_e}{Q_{FAD}(\frac{Nl}{sec})}$$

เมื่อ Power Consumption (kWe) คือ ค่ากำลังงานไฟฟ้า (kW)

Free Air Delivered (Q_{FAD}) คือ อัตราการไหลของอากาศอิสระ (Nl/sec)

เริ่มการคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย m^3/min ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

90 m^3/min = (90 m^3/min * 1,000 l)/60 sec

= 1,500 l/sec

เมื่อ 1 m^3 = 1,000 l

1 min = 60 sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 420 kW / 1,500 l/sec

= 0.280 kW/l/sec

1.2 เครื่องอัดอากาศ No.4-8 Atlas cooper GA-1408W มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้าจากมอเตอร์ 160 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 25 m^3/min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย m^3/min ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

25 m^3/min = (25 m^3/min * 1,000 l)/60 sec

= 416.67 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 160 kW / 416.67 l/sec

= 0.384 kW/l/sec

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.3 เครื่องอัดอากาศ No.9-12 JOY TA-18 มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้าจากมอเตอร์ 300 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 56 m^3/min
-

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย m^3/min ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

56 m^3/min = (56 m^3/min * 1,000 l)/60 sec

= 933.33 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 300 kW / 933.33 l/sec

= 0.321 kW/l/sec

1.4 เครื่องอัดอากาศ No.13 Demag ROW-600 มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้าจากมอเตอร์ 400 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 80 m^3/min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย m^3/min ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

80 m^3/min = (80 m^3/min * 1,000 l)/60 sec

= 1,333.33 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 400 kW / 1,333.33 l/sec

= 0.300 kW/l/sec

1.5 เครื่องอัดอากาศ No.14-15 Gardner Denver ROL-120 มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้าจากมอเตอร์ 75 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 12.5 m^3/min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย m^3/min ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

12.5 m^3/min = (12.5 m^3/min * 1,000 l)/60 sec

= 208.33 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 75 kW / 208.33 l/sec

= 0.360 kW/l/sec

1.6 เครื่องอัดอากาศ No.16-17 IHI TXA-200 มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้าจากมอเตอร์ 220 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 42.5 m^3/min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย m^3/min ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

42.5 m^3/min = (42.5 m^3/min * 1,000 l)/60 sec

= 708.33 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 220 kW / 708.33 l/sec

= 0.311 kW/l/sec

1.7 เครื่องอัดอากาศ No.18 IHI TXA-290L มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้าจากมอเตอร์ 330 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 50.5 m^3/min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย m^3/min ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

50.5 m^3/min = (50.5 m^3/min * 1,000 l)/60 sec

= 841.67 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 330 kW / 841.67 l/sec

= 0.392 kW/l/sec

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. การคำนวณสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ที่ทำการศึกษา

ตารางที่ ข. 2 แสดงข้อมูลการตรวจวัดเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

ลำดับ	ชื่อ	Actual Flow (ICFM)	kW	เวลา (นาที)
1	JOY TA-38	2,118	15.2	20
2	JOY TA-38	2,109	15.8	20
3	JOY TA-38	2,185	16.1	20
4	Atlas cooper GA-1408W	548	5.4	20
5	Atlas cooper GA-1408W	561	5.9	20
6	Atlas cooper GA-1408W	574	5.5	20
7	Atlas cooper GA-1408W	582	5.7	20
8	Atlas cooper GA-1408W	569	5.5	20
9	JOY TA-18	1,381	12.1	20
10	JOY TA-18	1,377	12.3	20
11	JOY TA-18	1,362	12.5	20
12	JOY TA-18	1,387	11.9	20

2.1 เครื่องอัดอากาศ No.1 JOY TA-38 มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 15.2 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 2,118 ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute)
- เวลาที่ตรวจวัด 20 min

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ คือ

$$\text{Specific Power Consumption} = \frac{\text{Power Consumption}}{\text{Free Air Delivered}} = \frac{kW_e}{Q_{FAD}(\frac{Nl}{sec})}$$

เมื่อ Power Consumption (kWe) คือ ค่ากำลังงานไฟฟ้า (kW)

Free Air Delivered (Q_{FAD}) คือ อัตราการไหลของอากาศอิสระ (Nl/sec)

เริ่มการคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย ICFM ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

2,118 ICFM = (2,118 ft^3/min * 0.035315)/(20min*60 sec)

= 49.98 l/sec

เมื่อ 1 l = ft^3/0.035315

1 min = 60 sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 15.2 kW / 49.98 l/sec

= 0.304 kW/l/sec

2.2 เครื่องอัดอากาศ No.2 JOY TA-38 มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 15.8 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 2,109 ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute)
- เวลาที่ตรวจวัด 20 min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย ICFM ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

2,109 ICFM = (2,109 ft^3/min * 0.035315)/(20min*60 sec)

= 49.77 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 15.8 kW / 49.77 l/sec

= 0.317 kW/l/sec

2.3 เครื่องอัดอากาศ No.3 JOY TA-38 มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 16.1 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 2,185 ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute)
- เวลาที่ตรวจวัด 20 min

CHULALONGKORN UNIVERSITY

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย ICFM ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

2,185 ICFM = (2,185 ft^3/min * 0.035315)/(20min*60 sec)

= 51.56 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 16.1 kW / 51.56 l/sec

= 0.312 kW/l/sec

2.4 เครื่องอัดอากาศ No.4 Atlas cooper GA-1408W มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 5.4 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 548 ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute)
- เวลาที่ตรวจวัด 20 min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย ICFM ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

548 ICFM = (548 ft^3/min * 0.035315)/(20min*60 sec)

= 12.93 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 5.4 kW / 12.93 l/sec

= 0.418 kW/l/sec

2.5 เครื่องอัดอากาศ No.5 Atlas cooper GA-1408W มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 5.9 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 561 ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute)
- เวลาที่ตรวจวัด 20 min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย ICFM ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

561 ICFM = (561 ft^3/min * 0.035315)/(20min*60 sec)

= 13.24 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 5.9 kW / 13.24 l/sec

= 0.446 kW/l/sec

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6 เครื่องอัดอากาศ No.6 Atlas cooper GA-1408W มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 5.5 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 574 ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute)
- เวลาที่ตรวจวัด 20 min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย ICFM ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

574 ICFM = (574 ft^3/min * 0.035315)/(20min*60 sec)

= 13.54 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 5.5 kW / 13.54 l/sec

= 0.406 kW/l/sec

2.7 เครื่องอัดอากาศ No.7 Atlas cooper GA-1408W มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 5.7 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 582 ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute)
- เวลาที่ตรวจวัด 20 min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย ICFM ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

582 ICFM = (582 ft^3/min * 0.035315)/(20min*60 sec)

= 13.73 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 5.7 kW / 13.73 l/sec

= 0.415 kW/l/sec

2.8 เครื่องอัดอากาศ No.8 Atlas cooper GA-1408W มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 5.5 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 569 ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute)
- เวลาที่ตรวจวัด 20 min

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย ICFM ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

569 ICFM = (569 ft^3/min * 0.035315)/(20min*60 sec)

= 13.43 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 5.5 kW / 13.43 l/sec

= 0.410 kW/l/sec

2.9 เครื่องอัดอากาศ No.9 JOY TA-18 มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 12.1 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 1,381 ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute)
- เวลาที่ตรวจวัด 20 min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย ICFM ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

1,381 ICFM = (1,381 ft^3/min * 0.035315)/(20min*60 sec)

= 32.59 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 12.1 kW / 32.59 l/sec

= 0.371 kW/l/sec

2.10 เครื่องอัดอากาศ No.10 JOY TA-18 มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 12.3 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 1,377 ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute)
- เวลาที่ตรวจวัด 20 min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย ICFM ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

1,377 ICFM = (1,377 ft^3/min * 0.035315)/(20min*60 sec)

= 32.49 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 12.3 kW / 32.59 l/sec

= 0.379 kW/l/sec

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.11 เครื่องอัดอากาศ No.11 JOY TA-18 มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 12.5 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 1,362 ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute)
- เวลาที่ตรวจวัด 20 min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย ICFM ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

1,362 ICFM = (1,362 ft^3/min * 0.035315)/(20min*60 sec)

= 32.14 l/sec

ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 12.5 kW / 32.14 l/sec

= 0.389 kW/l/sec

2.12 เครื่องอัดอากาศ No.12 JOY TA-18 มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 11.9 kW
- ค่าอัตราการไหลของอากาศ 1,387 ICFM (Inlet Cubic Feet per Minute)
- เวลาที่ตรวจวัด 20 min

การคำนวณจากแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศจากหน่วย ICFM ให้เป็นหน่วย l/sec ดังนี้

1,387 ICFM = (1,387 ft^3/min * 0.035315)/(20min*60 sec)

= 32.73 l/sec

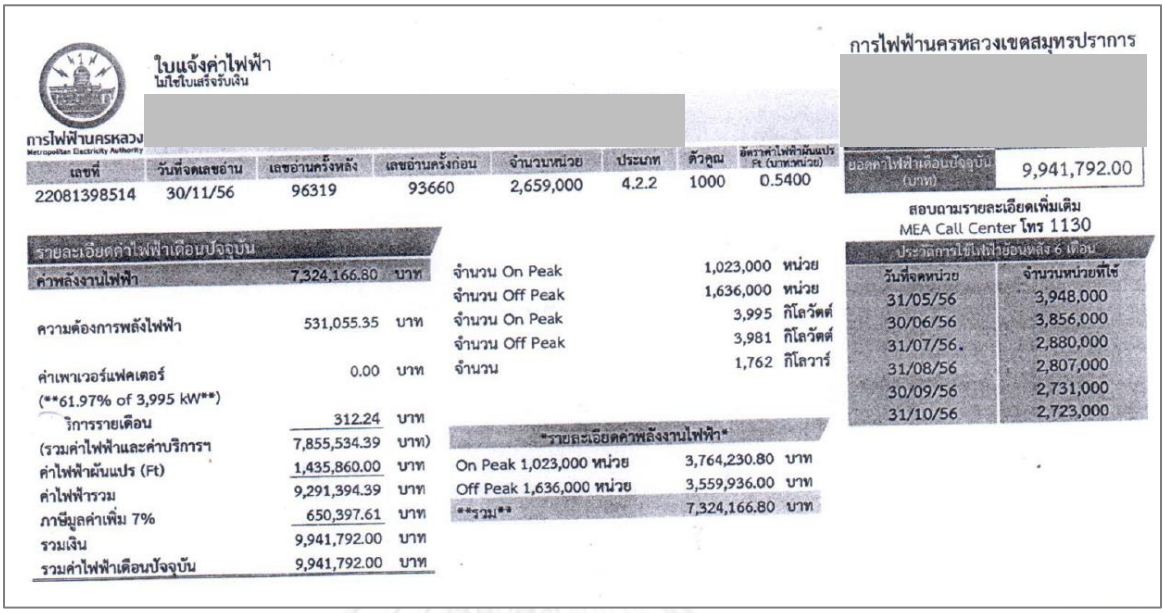
ดังนั้นการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจึงได้ดังนี้

Specific Power Consumption = 11.9 kW / 32.73 l/sec

= 0.364 kW/l/sec

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. การคำนวณค่าไฟฟ้าต่อหน่วย



ใบแจ้งค่าไฟฟ้า
ไม่ใช่ใบเสร็จรับเงิน

การไฟฟ้านครหลวง
Metropolitan Electricity Authority

การไฟฟ้านครหลวงเขตสมุทรปราการ

เลขที่	วันที่จดเลขอ่าน	เลขอ่านครั้งหลัง	เลขอ่านครั้งก่อน	จำนวนหน่วย	ประเภท	ตัวคูณ	อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร Ft (บาท/หน่วย)
22081398514	30/11/56	96319	93660	2,659,000	4.2.2	1000	0.5400

ยอดค่าไฟฟ้าเดือนปัจจุบัน (บาท) 9,941,792.00

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติม
MEA Call Center โทร 1130

ประวัติการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง 6 เดือน

วันที่จดหน่วย	จำนวนหน่วยที่ใช้
31/05/56	3,948,000
30/06/56	3,856,000
31/07/56	2,880,000
31/08/56	2,807,000
30/09/56	2,731,000
31/10/56	2,723,000

รายละเอียดค่าไฟฟ้าเดือนปัจจุบัน

ค่าพลังงานไฟฟ้า	7,324,166.80	บาท
ความต้องการพลังไฟฟ้า	531,055.35	บาท
ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (**61.97% of 3,995 kW**)	0.00	บาท
ริการายเดือน	312.24	บาท
(รวมค่าไฟฟ้าและค่าบริการฯ	7,855,534.39	บาท)
ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)	1,435,860.00	บาท
ค่าไฟฟ้ารวม	9,291,394.39	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	650,397.61	บาท
รวมเงิน	9,941,792.00	บาท
รวมค่าไฟฟ้าเดือนปัจจุบัน	9,941,792.00	บาท

จำนวน On Peak	1,023,000	หน่วย
จำนวน Off Peak	1,636,000	หน่วย
จำนวน On Peak	3,995	กิโลวัตต์
จำนวน Off Peak	3,981	กิโลวัตต์
จำนวน	1,762	กิโลวาร์

"รายละเอียดค่าพลังงานไฟฟ้า"

On Peak 1,023,000 หน่วย	3,764,230.80	บาท
Off Peak 1,636,000 หน่วย	3,559,936.00	บาท
รวม	7,324,166.80	บาท

รูปที่ ข. 1 ตัวอย่างใบแจ้งค่าไฟฟ้า

จากรูปสามารถคำนวณค่าไฟฟ้าต่อหน่วยได้ดังนี้

- ค่าการใช้พลังงานไฟฟฟ้า 2,659,000 หน่วย (kWh)
- ค่าไฟฟ้ารวม 9,941,792 บาท
- ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย = 9,941,792 / 2,659,000
  = 3.74 บาท/หน่วย (บาท/kWh)

4. การคำนวณค่าไฟฟ้าเปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศสมรรถนะต่ำกับเครื่องใหม่

ตารางที่ ข. 3 **แสดงข้อมูลเครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะต่ำ**

ลำดับ	ชื่อ	Flow (l/sec)	Design (kW/l/sec)	Actual (kW/l/sec)
1	Atlas cooper GA-1408W (No.5)	416.67	0.384	0.446
2	Atlas cooper GA-1408W (No.4)	416.67	0.384	0.418
3	Atlas cooper GA-1408W (No.7)	416.67	0.384	0.415
4	Atlas cooper GA-1408W (No.8)	416.67	0.384	0.410
5	Atlas cooper GA-1408W (No.6)	416.67	0.384	0.406

จากตารางที่ ข.3 สามารถคำนวณค่าไฟฟ้าที่ต้องใช้ต่อปี ได้ดังนี้

ตัวอย่าง 1. Atlas cooper GA-1408W (No.5)

- Flow 416.67 l/sec
- Actual Power 0.446 kW/l/sec
- จำนวนวันใช้งาน 365 วัน/ปี
- ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 3.74 บาท/หน่วย (บาท/kWh)

จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี = (0.446*416.67)*(365*24)
= 1,627,913 kWh
ราคาค่าไฟฟ้าต่อปี = 1,627,913*3.74
= 6,088,395 บาท

จึงสรุปได้ดังตารางที่ ข.4

ตารางที่ ข. 4 แสดงข้อมูลค่าไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะต่ำ

ลำดับ	ชื่อ	จำนวน kWh/ปี	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ (บาท/ปี)
1	Atlas cooper GA-1408W (No.5)	1,627,913	6,088,395
2	Atlas cooper GA-1408W (No.4)	1,525,712	5,706,164
3	Atlas cooper GA-1408W (No.7)	1,514,762	5,665,210
4	Atlas cooper GA-1408W (No.8)	1,496,512	5,596,955
5	Atlas cooper GA-1408W (No.6)	1,481,912	5,542,350

ตารางที่ ข. 5 แสดงข้อมูลสมรรถนะเครื่องอัดอากาศเครื่องใหม่

ชื่อ	Motor (kW.)	Flow (m^3/min)	Flow (L=l/sec)	Design (kW/l/sec)
IHI TXA-290L	330	50.5	841.67	0.392

จากตารางที่ ข.5 สามารถคำนวณค่าไฟฟ้าที่ต้องใช้ต่อปี ได้ดังนี้

IHI TXA-290L

- Flow 841.67 l/sec
- Actual Power 0.392 kW/l/sec
- จำนวนวันใช้งาน 365 วัน/ปี
- ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 3.74 บาท/หน่วย (บาท/kWh)

จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี = (0.392*841.67)*(365*24)

= 2,890,227.4 kWh

ราคาค่าไฟฟ้าต่อปี = 2,890,227.4*3.74

= 10,809,451 บาท

5. ค่าการซ่อมบำรุงเปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศสมรรถนะต่ำกับเครื่องใหม่

ตารางที่ ข. 6 แสดงข้อมูลค่าซ่อมบำรุงเครื่องอัดอากาศ

ลำดับ	ชื่อ	Final filter	Primary filter	De-oiling filter	Oil filter	Ejector filter	Oil system	Inter cooler	Total
1	Atlas cooper GA-1408W	-	-	60,000	9,000	6,000	40,000	30,000	145,000
2	IHI TXA-290L	60,000	8,000	-	12,000	12,000	20,000	23,333	135,333

6. การคำนวณการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศสมรรถนะต่ำเป็นเครื่องใหม่

โดยเลือกเครื่องอัดอากาศสมรรถนะต่ำ (Atlas cooper GA-1408W) จำนวน 2 เครื่อง เพื่อเปลี่ยนเป็นเครื่องใหม่ (IHI TXA-290L) จำนวน 1 เครื่อง โดยดูจากปริมาณลมที่ต้องการของเดิมกับของใหม่ก็มีค่าใกล้เคียงกัน คือ เดิม ต้องการ 25 m^3/min จำนวน 2 เครื่อง เท่ากับ 50 m^3/min ส่วนของใหม่นั้นมีค่าเท่ากับ 50.5 m^3/min และคำนวณได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายเครื่องเดิม จำนวน 2 เครื่อง

- ค่าไฟฟ้าต่อปี เครื่อง No.4 5,706,164 บาท
- ค่าไฟฟ้าต่อปี เครื่อง No.5 6,088,395 บาท
- ค่าบำรุงรักษาต่อปี เครื่อง N0.4 145,000 บาท
- ค่าบำรุงรักษาต่อปี เครื่อง N0.5 145,000 บาท

รวม 12,084,559 บาท

ค่าใช้จ่ายเครื่องใหม่ จำนวน 1 เครื่อง

- ค่าไฟฟ้าต่อปี 10,809,451 บาท
- ค่าบำรุงรักษาต่อปี 135,333 บาท

รวม 10,944,784 บาท

ค่าใช้จ่ายส่วนต่างที่ประหยัดได้ต่อปี

ประหยัดได้ = 12,084,559 – 10,944,784 = 1,139,775 บาท

ค่าใช้จ่ายในกาลงทุนซื้อเครื่องใหม่

ราคาเครื่อง IHI TXA-290L 1 เครื่อง 5,440,000 บาท

ผลกำไรกลับคืน (Pay back)

Pay back = 5,440,000 / 1,139,775

= 4.77 ปี

= 4 ปี 9 เดือน

ระยะเวลาโครงการ = 15 ปี

NPV = 3,914,792

IRR = 21 %

Project	โครงการเปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะต่ำกับเครื่องใหม่															
Initial Investment	5,440,000.0															
Equipment Life Year	15															
Discount Rate (%)	8															
List	Year															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investment Cost (Baht)	5,440,000.0															
Benefit (Baht)		1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7
Yearly PV		1,048,592.7	964,705.3	887,528.9	816,526.6	751,204.5	691,108.1	635,819.4	584,953.9	538,157.6	495,105.0	455,496.6	419,056.9	385,532.3	354,689.7	326,314.5
Accume PV		1,048,592.7	2,013,298.0	2,900,826.9	3,717,353.5	4,468,558.0	5,159,666.1	5,795,485.5	6,380,439.4	6,918,597.0	7,413,702.0	7,869,198.5	8,288,255.4	8,673,787.7	9,028,477.4	9,354,791.9
Cash flow	- 5,440,000.0	- 4,391,407.27	- 3,426,701.95	- 2,539,173.06	- 1,722,646.48	- 971,442.03	- 280,333.94	355,485.51	940,439.40	1,478,596.98	1,973,701.96	2,429,198.54	2,848,255.39	3,233,787.69	3,588,477.41	3,914,791.95
GPV Baht	9354791.947															
NPV Baht	3914791.947															
IRR 20.95%	- 5,440,000.0	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7	1,139,774.7

รูปที่ ข. 2 การคำนวณ NPV และ IRR

7. การคำนวณปริมาณลมรั่ว

การคิดการรั่วไหลของอากาศอัดเฉพาะจุด ซึ่งวิธีนี้ก็เหมาะสำหรับโรงงานที่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ไม่มีวันหยุด โดยต้องเดินตรวจสอบรอยรั่วไหลทั้งหมด และนำมาวิเคราะห์ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ

$$Q_{leak} = C_k \times d^2 \times (P_g + P_o) \quad l/sec$$

เมื่อ C_k คือ ค่าคงที่ของการรั่วไหลของอากาศอัดโดยตรง

d คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรั่ว (mm)

P_g คือ ค่าแรงดันเกจ ณ. จุดรั่วไหล (bar)

P_o คือ ความดันสัมบูรณ์ (1.013 bar)

การหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในการอัดอากาศ

$$E_{us} = Q_{leak} \times kW_{st} \times T \times t$$

เมื่อ E_{us} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/ปี)

Q_{leak} คือ อัตราการรั่วไหลของอากาศอัด (l/s)

kW_{st} คือ ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอัดอากาศ (kW/l/s)

T คือ วันทำงานต่อปี (วัน/ปี)

t คือ เวลาทำงานต่อวัน (ชั่วโมง/วัน)

การหามูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย

$$E_{cost} = E_{us} \times E_e$$

เมื่อ E_{us} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/ปี)

E_e คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)

ตารางที่ ข. 7 แสดงข้อมูลขนาดรูของลมที่รั่วในระบบอัดอากาศ

ลำดับ	ชื่อปั๊มลม	Model	ขนาดรู (mm.)	ความดัน (bar)	สถานที่
1	Atlas cooper (No.5)	GA-1408W	3 mm.	4	โรงผสม F1,2
2	IHI (No.16)	Tx-A200	3 mm.	3.2	เครื่อง IS#6
3	JOY (No.9)	TA-18	2 mm.	4	Inspection Line#11

รูปที่ ข. 3 รูปรูที่มีลมรั่ว ที่โรงผสม F#1,2

ค่าการรั่วไหลของอากาศอัดเฉพาะจุด

Q_{leak} = $0.16 * (3)^2 * (4+1.013)$

= 7.2 l/sec

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในการอัดอากาศ

E_{us} = $7.2 * 0.446 * 365 * 24$

= 28,130.11 kWh/ปี

มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย

E_{cost} = $28130.11 * 3.74$

= 105,206.61 บาท

รูปที่ ข. 4 รูปรูที่มีลมรั่ว ที่เครื่อง IS#6

ค่าการรั่วไหลของอากาศอัดเฉพาะจุด

Q_{leak} = $0.16 * (3)^2 * (3.2+1.013)$

= 6.1 l/sec

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในการอัดอากาศ

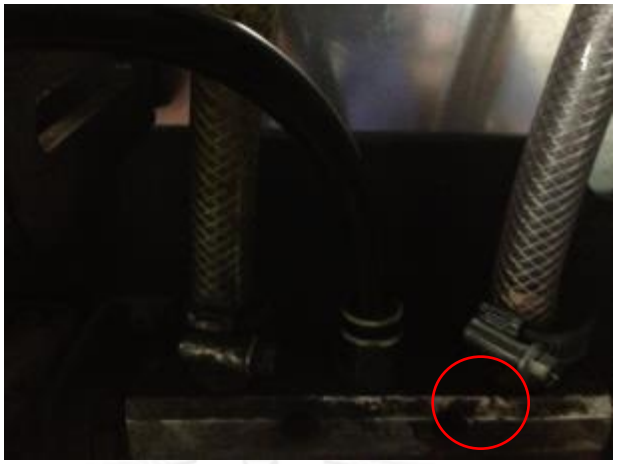
E_{us} = $6.1 * 0.311 * 365 * 24$

= 16,618.60 kWh/ปี

มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย

E_{cost} = $16618.60 * 3.74$

= 62,153.56 บาท



รูปที่ ข. 5 รูปรูที่มีลมรั่ว ที่เครื่อง Inspection Line#11

ค่าการรั่วไหลของอากาศอัดเฉพาะจุด

Q_{leak} = 0.16 * $(2)^2$ * (4+1.013)

= 3.2 l/sec

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในการอัดอากาศ

E_{us} = 3.2 * 0.371 * 365 * 24

= 10,399.87 kWh/ปี

มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย

E_{cost} = 10,399.87 * 3.74

= 38,895.51 บาท

รวมทั้ง 3 จุด เป็นมูลค่าการสูญเสีย= 105,206.61 + 62,153.56 + 38,895.51

= 206,256 บาท/ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอัจฉราภรณ์ ฟักแสง เกิดเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2529 ที่ จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2550 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคต้นของปีการศึกษา 2553

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University