การศึกษามาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด
กรณีศึกษา : โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำ

สันติ บุญนา

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2561

Energy Saving Measures in Compressed Air Syatem: A Case Study of Aqua Feed Mill Factory

Santi Boonna

A Thematic Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering

College of Innovative Technology and Engineering

Dhurakij Pundit University

2018

ใบรับรองสารนิพนธ์

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อสารนิพนธ์ การศึกษามาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด กรณีศึกษา : โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำ

เสนอโดย สันติ บุญนา

สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์แล้ว

....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์)

....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ ...14...... เดือน ...ธันวาคม........ พ.ศ. ...๒๕๖๑.....

หัวข้อสารนิพนธ์	การศึกษามาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด กรณีศึกษา : โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำ
ชื่อผู้เขียน	สันติ บุญนา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์
สาขาวิชา	การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางและมาตรการการลดการใช้พลังงานของระบบอากาศอัดในโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำ ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบอากาศอัดเพื่อหาสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่อง โดยมุ่งเน้นการค้นหาปัญหาด้วยเครื่องมือ 7 Wastes และ Why Why analysis ในการวิเคราะห์รวมถึงการหามาตรการการประหยัดพลังงาน

จากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์สามารถกำหนดมาตรการการดำเนินงานได้ 3 มาตรการ คือ (1) มาตรการการจัดลำดับการทำงานของเครื่องอัดอากาศตามประสิทธิภาพโดยให้เครื่องที่ประสิทธิภาพดีที่สุดทำงานเป็นเครื่องแรกและเครื่องที่ประสิทธิภาพต่ำที่สุดทำงานเป็นเครื่องสำรองเครื่องสุดท้ายสามารถลดการใช้พลังงานลงได้อยู่ที่ 9.43 kW (6.48% ของการใช้พลังงานทั้งหมดทั้งปีของเครื่องอัดอากาศ) (2) มาตรการลดการรั่วไหลระบบอากาศอัดและ (3) มาตราการลดแรงดันของเครื่องอัดอากาศสามารถลดการใช้พลังงานลงได้อยู่ที่ 10.74 kW (7.38% ของการใช้พลังงานทั้งหมดทั้งปีของเครื่องอัดอากาศ) หากดำเนินการทั้ง 3 มาตรการ พบว่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 551,851 บาทต่อปี งบประมาณลงทุน 220,000 บาทและมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 0.4 ปี และลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยปริมาณผลผลิต ในปี พ.ศ. 2559 พลังงานที่ใช้เฉลี่ยอยู่ที่ 9.36 kWh ผลผลิตที่ได้อยู่ที่ 111,289 ตัน ในขณะที่ในปี พ.ศ. 2560 ลดพลังงานที่ใช้ลงเฉลี่ยอยู่ที่ 8.42 kWh (10.04 %) และผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 125,921 ตัน

Thematic Paper Title	Energy Saving Measures in the Compressed Air System: a Case Study of an Aqua Feed Mill
Author	Santi Boonna
Thematic Paper Advisor	Assistant Professor Aumnad Phdungsilp, Ph.D., Tekn. Dr.
Department	Engineering Management
Academic Year	2018

ABSTRACT

This research aimed to study approaches and measurs to reduce energy consumption of the compressed air system in an aqua feed mill. Data regarding the compressed air system were collected to determine performance and efficiency of each air compressor. Seven Wastes and Why-Why Analysis tools were used to analyse problems and identify energy saving measures.

Data collection and analysis led to three measures. First measure was to sequence the air compressors according to their efficiency by operating the most efficient one first and using the least efficient one last or as a backup. This reduced the energy consumption to 9.43 kW (6.48% of total annual energy consumption of the air compressors). Second measure was to reduce the leakage of the compressed air system. Third measure was to decrease pressure of the air compressors. This reduced the energy consumption to 10.74 kW (7.38% of total annual energy consumption of the air compressors). If all three measures were implemented, the costs would be reduced by 551,851 baht per year with investment budget of 220,000 baht, and the payback period would approximately be 0.4 year. Moreover, this resulted in a reduction in energy consumption per production unit. In 2016, the average energy consumption was 9.36 kWh and the production volume was 111,289 tons, while in 2017, the average energy consumption was reduced to 8.42 kWh (10.04% reduction) and the production volume increased to 125,921 tons.

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์เรื่อง การศึกษามาตรการการอนุรักษพลังงานในระบบอากาศอัด กรณีศึกษา : โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำ สำเร็จลุล่วงจากการได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้สารนิพนธ์ฉบับนี้มีความชสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คณะบุคลากรประจำสาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัฒกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ทุกท่านที่ได้แนะนำข้อมูลตลอดระยะเวลาการศึกษาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณ คุณภูมิศักดิ์ นาเทียมเขต คุณจุฑาภัค ทองปั้น คุณเกียรติศักดิ์ เพียงจันทึก คุณสมเกียรติ ตระกูลทวีคูณ คุณสุกิจ ศรีตระเวณ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการศึกษาตลอดระยะเวลา

ขอบกราบพระคุณ ผู้บริหารบริษัทเจริญโภคภัณฑ์อาหารสัตว์ คุณพิสิฐ ดีสุวรรณ คุณธงชัย พฤษศิริสมบัติ คุณโสภณ ธนาสารพูนผล ที่ให้โอกาส เข้ามาทำการศึกษา และ ได้อนุญาตให้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลเพื่อทำการศึกษาและวิจัยงาน จนสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ ขอกราบพระคุณ คุณแม่และครอบครัวอันเป็นที่เคารพรัก ที่คอยห่วงใยเป็นกำลังใจ สนับสนุนด้านการศึกษามาโดยตลอด

สันติ บุญนา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย..	ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..	ง
กิตติกรรมประกาศ...	จ
สารบัญตาราง..	ซ
สารบัญภาพ..	ฌ
บทที่	
1. บทนำ...	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย..	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..	4
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบอากาศอัด...	4
2.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด...............................	10
2.3 วิธีการคำนวณเกี่ยวกับระบบอากาศอัด..	14
2.4 เครื่องมือที่ใช้ทำการวิเคราะห์ปัญหามีการนำเครื่องมือมาใช้ทำการวิเคราะห์ เพื่อหามาตรการดำเนินการอยู่ 2 เครื่องมือดังนี้..	16
2.5 การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่า ทางเศรษฐศาสตร มีดังนี้..	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง...	18
3.วิธีดำเนินการวิจัย..	23
3.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน...	23
3.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล...	26
3.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล..	32
4.ผลการดำเนินงาน..	33
4.1 ผลการศึกษาระบบอากาศอัด..	33

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2 ผลวิเคราะห์สภาพปัญหาที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบอากาศอัด............	49
4.3 ผลดำเนินการตามมาตรการ...	52
4.4 ผลคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์...	60
4.5 อภิปรายผลงานวิจัย..	61
5.สรุปผลงานวิจัย..	62
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน...	62
5.2 ข้อเสนอแนะ...	62
บรรณานุกรม..	63
ภาคผนวก...	66
ประวัติผู้เขียน..	78

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ตารางแสดงค่าพลังงานจำเพาะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอัดอากาศ…………….... 10
2.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบงานวิจัย………………………………………… 21
3.1 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานแต่ละระบบที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า
ปี 2558 และ 2559…………………………………………………………….. 26
3.2 แสดงรายละเอียดเครื่องอัดอากาศ…………………………………………… 31
4.1 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่า FAD comp……………………………... 34
4.2 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่า kW onload /FAD comp…………………... 35
4.3 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ………… 37
4.4 แสดงข้อมูลขนาดถังเก็บอากาศ……………………………………………….. 38
4.5 แสดงข้อมูลขนาดถังเก็บอากาศและZoneการใช้งาน…………………………….. 39
4.6 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความจุของถังเก็บอากาศ………………… 39
4.7 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานของระบบอากาศอัดต่อผลผลิตปี 2559……………… 49
4.8 แสดงรายละเอียดการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ
หลังการปรับลดแรงดัน……………………………………………………….... 58
4.9 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานของระบบอากาศอัดต่อผลผลิตปี 2560……………… 60

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 แสดงค่าใช้จ่ายต่างๆของระบบอากาศอัด.. 2
2.1 แสดงลักษณะเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ.. 4
2.2 แสดงลักษณะเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรู.. 4
2.3 แสดงลักษณะเครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง... 5
2.4 แสดงลักษณะอุปกรณ์ระบายความร้อนหลังการอัดอากาศ............................... 5
2.5 แสดงลักษณะตัวแยกน้ำมัน... 6
2.6 แสดงลักษณะตัวกรองอากาศภายในท่อและตัวทำให้อากาศแห้ง.................... 7
2.7 แสดงลักษณะวาล์วนิรภัย.. 7
2.8 แสดงลักษณะถังเก็บอากาศและมาตรวัดความดัน...................................... 8
2.9 แสดงลักษณะอุปกรณ์ควบคุมความดัน.. 9
2.10 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัด.. 9
2.11 แสดงลักษณะการตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศที่มีการตัดต่อเท่ากัน......... 12
2.12 แสดงลักษณะการตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศที่มีค่าเหลื่อมกัน.............. 12
2.13 แสดงแบบฟอร์มการประเมินคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์............................... 17
3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.. 23
3.2 แสดงกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ... 24
3.3 แสดงข้อมูลค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า... 24
3.4 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า(kWh.. 25
3.5 แสดงเครื่อง Power meter... 27
3.6 แสดงถุงมือกันไฟฟ้า... 27
3.7 แสดงเครื่องTemperature Gun.. 28
3.8 แสดงเครื่อง Thermo scan.. 28
3.9 แสดงลักษณะโปรแกรมเก็บค่าพลังงาน E-Sumtion................................... 30
4.1 แสดง Nameplate Air compressor.. 33

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.2 แสดงการคำนวณหาประสิทธิภาพ (FAD comp) ของเครื่องอัดอากาศ
โดยโปรแกรม Excel…………………………………………………………………… 35
4.3 แสดงการคำนวณหาการใช้กำลังจำเพาะขณะเครื่องมีภาระ (kW onload /FAD
comp) ของเครื่องอัดอากาศโดยโปรแกรม Excel………………………………….... 36
4.4 แสดงข้อมูลของเครื่องอัดอากาศ……………………………………………….. 41
4.5 แสดงข้อมูลเครื่องทำลมแห้ง(Air Dryer) ………………………………………… 42
4.6 แสดงหลักการทำงานของ Air Dryer…………………………………………… 43
4.7 แสดงข้อมูลรูปแบบการติดตั้ง Air Dryer การติดตั้งถังพักลม แบบที่ 1………….. 44
4.8 แสดงข้อมูลรูปแบบการติดตั้ง Air Dryer การติดตั้งถังพักลม แบบที่ 2………….. 45
4.9 แสดงข้อมูลรูปแบบการติดตั้ง Air Dryer การติดตั้งถังพักลม แบบที่ 3………….. 45
4.10 แสดงข้อมูลการเดินท่อแบบแยกสาขา (Branch line) ………………………….. 46
4.11 แสดงข้อมูลการเดินท่อแบบวงแหวน (Ring Circuit) ………………………….. 46
4.12 แสดงข้อมูลการเดินท่อเมนลมของโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด……….. 48
4.13 แสดงข้อมูลพื้นที่ที่ทำการตรวจสอบ…………………………………………… 49
4.14 แสดงข้อมูลผลการวิเคราะห์สภาพปัญหาที่มีผลต่อการใช้พลังงานของ
ระบบอากาศอัดอากาศ…………………………………………………………… 51
4.15 แรงดันที่ใช้(เริ่มสตาร์ทเครื่อง)และ(ตัดการทำงาน)ก่อนดำเนินการ………….. 52
4.16 แสดงข้อมูลการจัดลำดับสถานะการทำงานของเครื่องอัดอากาศก่อน
การดำเนินการแก้ไข……………………………………………………………... 52
4.17 แสดงข้อมูลการจัดลำดับสถานะการทำงานของเครื่องอัดอากาศหลัง
การดำเนินการแก้ไข……………………………………………………………… 53
4.18 แสดงการใช้พลังงานก่อน – หลังปรับปรุงการจัดลำดับตามประสิทธิภาพ
เครื่องอัดอากาศ………………………………………………………………….. 53
4.19 แสดงข้อมูลและชนิดของ Auto drain…………………………………………… 55
4.20 แสดงการคำนวนหาอัตราการรั่วไหลโดยโปรแกรม Excel…………………….. 55
4.21 แสดงข้อมูลการรั่วไหลในแต่ละพื้นที่…………………………………………… 56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.22 แสดงการดำเนินงานตรวจสอบและแก้ไขจุดรั่วไหล…………………………….. 56

4.23 แสดงข้อมูลการคำนวณทางทฤษฎีที่ดำเนินการตามมาตรการปรับลด
ระดับแรงดัน……………………………………………………………………… 57

4.24 แสดงการปรับลดแรงดันที่ใช้งาน……………………………………………... 58

4.25 แสดงการใช้พลังงานที่ใช้ก่อน – หลังดำเนินการตามมาตรการข้อที่ 4.3.2, 4.3.3 59

4.26 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานที่ใช้ก่อนปี 2559 – หลังปรับปรุงปี 2560… 60

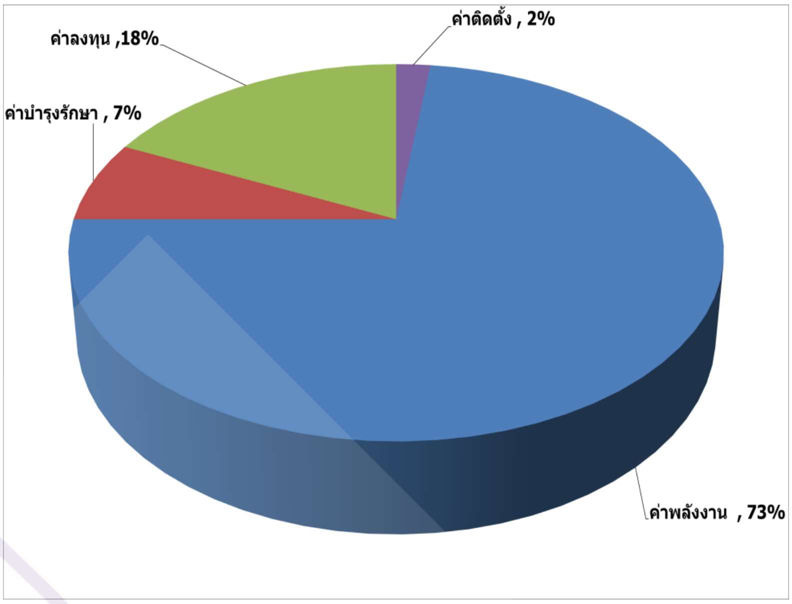
4.27 การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์……………………………………… 61

DPU

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีความจำเป็นและมีความสำคัญกับการใช้ในการผลิตของทุกโรงงาน การประหยัดพลังงานไฟฟ้า จึงไม่ใช่เพียงแต่เอื้อประโยชน์ต่อผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเพียงเท่านั้น แต่ยังจำเป็นต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศด้วย เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบันยังต้องอาศัยการนำเข้าของเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ และมีแนวโน้มว่าจะต้องมีการนำเข้าเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคธุรกิจอุตสาหกรรมและใน ระบบอากาศอัด (Compressed Air System) เป็นระบบหนึ่งที่โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตในหลายกลุ่มอุตสาหกรรมแทบทุกประเภท เนื่องจากในกระบวนการผลิตหลายกระบวนการจำเป็นต้องมีการใช้งานพลังงานลมสำหรับอุปกรณ์นิวแมติกส์ต่างๆ เช่น Air Cylinder ปืนลม เครื่องขัด เครื่องอัดเม็ดและการลำเลียง รวมถึงกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด ระบบอากาศอัดเป็นระบบหนึ่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาก เนื่องจากต้องการความดันของอากาศอัดสูง โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานระบบอากาศอัดประมาณ 5-15% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในโรงงาน (ขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม) ระบบอากาศอัดจะมีค่าใช้จ่ายในการใช้งานมากกว่าค่าซื้อเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) โดยมีสัดส่วนดังภาพที่ 1.1 การประหยัดพลังงานจากการปรับปรุงระบบอากาศอัดจะมีปริมาณ 20 ถึง 50 % ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรืออาจมากกว่านั้น ซึ่งนับเป็นมูลค่าที่สูง ดังนั้นการใช้พลังงานในระบบอากาศอัดให้มีประสิทธิภาพ สามารถประหยัดพลังงาน ลดการบำรุงรักษา ลดต้นทุนการผลิตซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่คุ้มค่าที่สุด



ภาพที่ 1.1 แสดงค่าใช้จ่ายต่างๆของระบบอากาศอัด

ที่มา : คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน

จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบอากาศอัดในปี 2558-2559 ของบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเท่ากับ 1,034,601 kWh และ 1,046,789 kWh ตามลำดับ ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบอากาศอัดเฉลี่ยเท่ากับ 6.27% และ 5.88% การใช้งานเครื่องอัดอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพ หรือขาดการบริหารจัดการที่ดีพอ จึงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานอย่างเปล่าประโยชน์ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและต้นทุนการผลิตสูงขึ้นอีกด้วย

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบอากาศอัดของโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด ค้นหาสภาพปัญหาเพื่อหามาตรการที่มีความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กำหนดมาตรการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันที่ยั่งยืนต่อไป อีกทั้งยังทำให้สามารถลดค่าไฟฟ้า ลดต้นทุนการผลิตของโรงงานได้

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางมาตรการการประหยัดพลังงานในระบบอากาศอัด

2. เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอากาศอัดเทียบต่อหน่วยตันอาหาร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.ศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอากาศอัดของ บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำหนองแค

2. กำหนดมาตรการ เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้ในการดำเนินการ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดปริมาณการใช้พลังงานในระบบอากาศอัด

2. ลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าของโรงงาน

3. กำหนดมาตรการอนุรักษ์สำหรับระบบอากาศอัดได้เหมาะสมและนำไปใช้ได้จริง

4. ลดต้นทุนการผลิต

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบอากาศอัด

ระบบอากาศอัด คืออากาศที่ถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นกว่าความดันบรรยากาศ เพื่อนำมาใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนระบบ เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ เนื่องจากระบบอากาศอัดมีความคล่องตัวปรับเปลี่ยนสถานะได้ ในโรงงานอุตาหกรรมประเภทต่างๆทั้งในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก อุตสาหกรรมขนาดกลาง อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีการใช้พลังงานลมในกระบวนการผลิต จะมีส่วนประกอบของระบบอากาศอัดที่สำคัญอยู่ 3 ส่วนหลักดังต่อไปนี้

2.1.1 ส่วนการสร้างอากาศอัด

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ผลิตอากาศอัดจากอากาศปกติให้กลายเป็นอากาศที่มีความดันสูง หรือมีชื่อเรียกว่า เครื่องอัดอากาศ(AC : Air Compressor)มีหลักการทำงานคือ ดูดอากาศที่มีความดันปกติเข้าสู่ห้องอัดอากาศแล้วทำให้ปริมาตรของอากาศมีขนาดเล็กลง อากาศที่มีปริมาตรน้อยลงนั้นจะมีความดันที่เพิ่มขึ้นแล้วส่งอากาศอัดความดันสูงเข้าระบบอากาศอัด เครื่องอัดจะมีวิธีการอัดอากาศและชนิดเครื่องอัดอากาศที่แตกต่างกันไปตามความต้องการชนิดที่นิยมใช้กันมากคือ เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรู เครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่งโดยมีรายระเอียดดังนี้

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เป็นเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง ยิ่งมีจำนวนขั้น (Stage) เพิ่มขึ้นยิ่งมีประสิทธิภาพสูง ส่วนใหญ่ใช้เพียง 2 ขั้น เครื่องอัดอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเหมาะสมกับการรับโหลดที่ไม่สม่ำเสมอได้ดี เนื่องจากมีอุปกรณ์ Un-load ที่ดี การใช้อุปกรณ์ Un-load น้อยมากเมื่อเทียบกับเครื่องแบบอื่นๆ การควบคุมยังสามารถทำเป็นแบบ Multi Step ในช่วงการเดิน Part Load จะให้ประสิทธิภาพดี ดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

ที่มา : จากการใช้งานจริงที่โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรู เป็นเครื่องที่มีความสึกหรอน้อยเนื่องจากตัวสกรูไม่ได้สัมผัสกัน การอัดอากาศมีประสิทธิภาพพอสมควรแต่โครงสร้างเป็นตัวสกรูทำให้มีอัตราส่วนความดันคงที่ เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรูเหมาะกับการรับโหลดเต็มพิกัดและสม่ำเสมอ จึงจะให้ประสิทธิภาพ ที่ดีได้ ดังภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรู

ที่มา : จากการใช้งานจริงที่โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

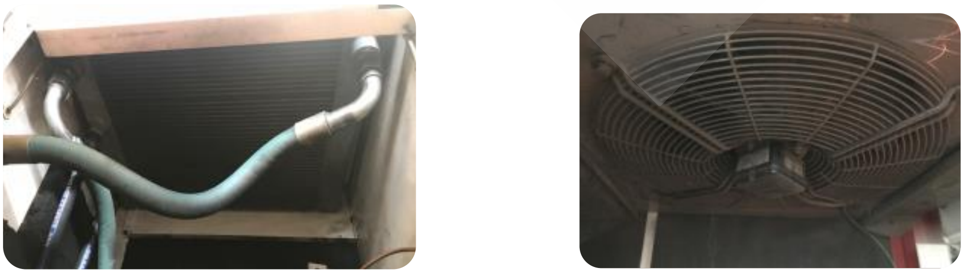
http://www.xn--12c5csalj0b2c7d4h.net/

เครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง เป็นเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงพอควรเหมาะกับระบบที่มีความต้องการอากาศมาก ดังภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะเครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง

ที่มา : http://elearnkrutung.blogspot.com/2017/11/blog-post_25.html

ส่วนการสร้างอากาศอัดนอกจากเครื่องอัดอากาศแล้วยังมีส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องคือ อุปกรณ์ระบายความร้อนหลังการอัดอากาศ (After Cooler) ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งตัวระบายความร้อนนั้นโดยทั่วไปถ้าเป็นเครื่องอัดอากาศแบบแบบโรตารี่สกรูจะถูกออกแบบและติดตั้งอยู่ที่ตัวเครื่องดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะอุปกรณ์ระบายความร้อนหลังการอัดอากาศ

ที่มา : จากการใช้งานจริงที่โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

ตัวแยกน้ำมัน (Oil Separator) ทำหน้าที่แยกละอองหรือหยดน้ำมันที่ปนเปื้อนมาจากกระบวนการอัดของเครื่องอัดอากาศดังภาพที่ 2.5

ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะตัวแยกน้ำมัน

ที่มา : จากการใช้งานจริงที่โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

ตัวกรองอากาศภายในท่อ (Air Line Filter) ทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกออกจากอากาศอัดก่อนส่งจ่ายไปยังส่วนต่างๆเพื่อให้อากาศอัดมีความสะอาดก่อนเข้าอุปกรณ์ดังภาพที่ 2.6 หมายเลข 1 และยังมีตัวทำให้อากาศแห้ง (Air Dryer) ทำหน้าที่ดูดความชื้นออกจากอากาศอัดก่อนส่งจ่าย ตัวทำให้อากาศแห้งนี้จะมีลักษณะคล้ายระบบทำความเย็น เมื่ออากาศอัดผ่านเข้ามาในตัวทำให้อากาศแห้งอากาศอัดก็จะสัมผัสกับอุณหภูมิที่ต่ำความชื้นในอากาศจึงเกิดการกลั่นตัวออกมาเป็นหยดน้ำ ดังนั้นอากาศที่ผ่านกระบวนการนี้ออกไปจึงเป็นอากาศที่แห้ง ดังภาพที่ 2.6 หมายเลข 2

ภาพที่ 2.6 แสดงลักษณะตัวกรองอากาศภายในท่อและตัวทำให้อากาศแห้ง

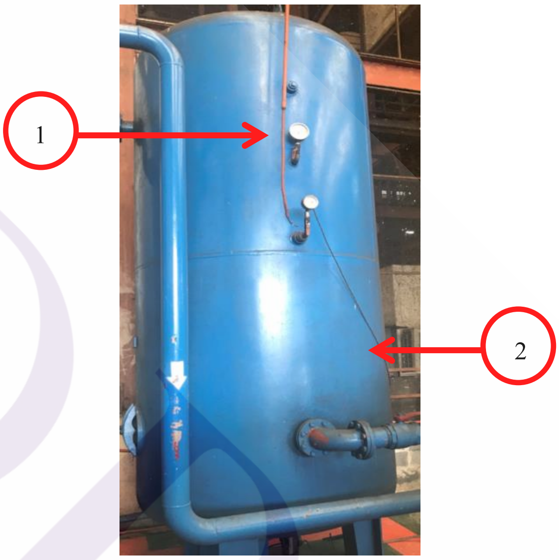
ที่มา : จากการใช้งานจริงที่โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

วาล์วนิรภัย (Safety Valve) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ความดันในระบบอากาศอัดสูงเกินไป โดยยทั่วไปจะติดตั้งที่ถังเก็บอากาศ ดังภาพที่ 2.7

ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะวาล์วนิรภัย

ที่มา :http://www.epmc.co.th/Safety%20Valves/conbraco.html

ถังเก็บอากาศ (Air Receiver) ทำหน้าทีเก็บอากาศอัดก่อนส่งจ่ายสู่ระบบเพื่อปรับความสมดุลของความดันให้มีค่าคงที่สม่ำเสมอดังภาพที่ 2.8 หมายเลข 1 และยังมีมาตรวัดความดัน (Pressure Gauge) ทำหน้าที่แสดงค่าความดันของอากาศในระบบโดยทั่วไปจะมีติดตั้งที่ถังเก็บหรืออุปกรณ์ที่ต้องการทราบค่าของความดันดังภาพที่ 2.8 หมายเลข 2



ภาพที่ 2.8 แสดงลักษณะถังเก็บอากาศและมาตรวัดความดัน

ที่มา : จากการใช้งานจริงที่โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

2.1.2 ส่วนการจ่ายอากาศอัด (Distribution Section)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ส่งจ่ายอากาศจากส่วนการสร้างอากาศอัดไปยังตำแหน่งต่างๆที่ต้องการใช้อากาศอัดภายในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม โดยจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้ คือ ท่อจ่ายลมหลัก (Supply Line) ท่อเมนจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะไม่ให้ความเร็วของอากาศภายในสูงเกินไป ลักษณะการต่อท่อเมนในระบบใหญ่นิยมต่อเป็นวงแหวน สำหรับระบบขนาดเล็กต่อเป็นแนวตรงก็ใช้ได้ ระบบ ท่อเมนต้องดูแลให้มีการรั่วของอากาศไม่เกิน 5 % ท่อแยก (Branch Line) เป็นท่อที่มีขนาดเล็กกว่าท่อจ่ายเมนหลัก ทำหน้าที่ส่งจ่ายอากาศอัดไปยังอุปกรณ์ปลายทางที่ต้องการใช้งาน และอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Regulator) ทำหน้าที่ควบคุมระดับความดันลมให้ได้ความดันตามที่อุปกรณ์ปลายทางต้องการ ดังภาพที่ 2.9

ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะอุปกรณ์ควบคุมความดัน

ที่มา : จากการใช้งานจริงที่โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

2.1.3 ส่วนการใช้อากาศอัด

เป็นส่วนสุดท้ายของระบบอากาศอัดในส่วนนี้จะนำเอาอากาศอัดไปใช้งานกับอุปกรณ์หรือเครื่องมือ เครื่องจักรต่าง ๆ ที่ใช้ลมในการใช้งาน เช่น กระบอกสูบ (Air Cylinder) ปืนลม บล็อกลม เป็นต้นดังภาพที่ 2.10

ภาพที่ 2.10 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัด

ที่มา : จากการใช้งานจริงที่โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

2.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด

2.2.1 การเลือกใช้เครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง ต้องทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศที่มีอยู่ว่าประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศต้องสูงกว่า 80 % เมื่อเทียบกับเกณฑ์อ้างอิง ดังตารางที่ 2.1 (อากาศอัดที่ได้เทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้)

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าพลังงานจำเพาะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอัดอากาศ

ประเภทของเครื่องอัดอากาศ	ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (l/s/kW)
ลูกสูบ	2.30 - 2.65(single state)
	2.85 - 3.35 (double state)
สกรู	2.35 - 2.85
เวน	2.22 - 2.5
หมุนเหวี่ยง	2.85 - 3.33

หมายเหตุ : การดำเนินการทดสอบที่ความดัน 7 bar

2.2.2 การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ

สำหรับการตรวจสอบสภาพของเครื่องอัดอากาศอยู่เป็นประจำ จะช่วยทำให้เกิดการประหยัดพลังงานและเป็นการยืดอายุเครื่องอัดอากาศโดยดำเนินการตามที่คู่มือระบุมา จุดที่ต้องหมั่นตรวจสอบเป็นพิเศษเพราะมีผลต่อการประหยัดพลังงานโดยตรงได้แก่

- การตรวจสอบระบบส่งกำลัง คือตรวจสอบชุดสายพานและพูเล่ย์ให้อยู่ในสภาพที่ดี การตรวจสอบความตึงของสายพานให้ตรวจสอบจากคู่มือการบำรุงรักษาของเครื่องอัดอากาศ

- ชุดแยกน้ำมันออกจากอากาศอัดภายในเครื่องอัดอากาศแบบสกรู ควรทำการตรวจสอบอยู่เสมอว่ามีความดันตกคร่อมต้องไม่เกิน 1 bar ถ้าเกินกว่านี้ควรทำการเปลี่ยนชุดแยกน้ำมันออกจากอากาศอัดใหม่

- การตรวจสอบระบบระบายความร้อน คือแผงระบายความร้อนของอากาศและน้ำมันเครื่องให้อยู่ในสภาพที่สะอาดสามารถระบายความร้อนได้ดี การตรวจสอบสามารถดูได้จากอุณหภูมิของไหลก่อนเข้าแผงระบายความร้อนและหลังจากระบายความร้อนเปรียบเทียบกัน โดยทั่วไปอุณหภูมิก่อนและหลังจะต้องต่างกันอย่างน้อย 10 °C ขึ้นไป

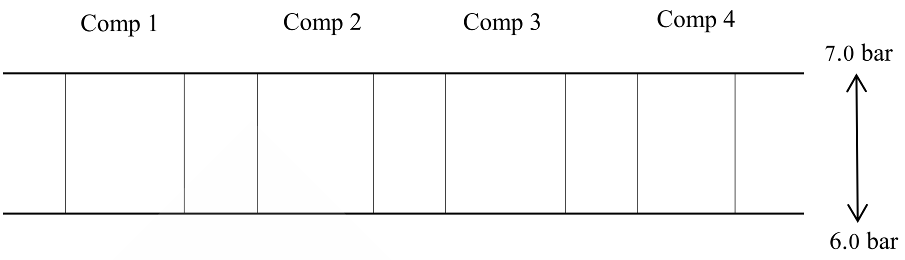
- การตรวจสอบชุดกรองอากาศ คือตรวจสอบสภาพกรองอากาศให้มีสภาพที่ดีอยู่เสมอโดยดูได้จากอินดิเคเตอร์ของเครื่องอัดอากาศหรือตรวจสอบจากอายุการใช้งานตามคู่มือของโรงงานผู้ผลิต และยังดูจากสภาพภายนอกของชุดกรองอากาศ ถ้าอยู่ในสภาพที่สกปรกมากควรใช้อากาศอัดเป่าทำความสะอาดหรือทำการเปลี่ยนชุดกรองอากาศใหม่ สำหรับการตรวจสอบอุปกรณ์อื่นๆของเครื่องอัดอากาศให้มีสภาพที่ดีอยู่เสมอ ถึงแม้จะไม่เกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงานโดยตรง แต่ก็เป็นการยืดอายุเครื่องอัดอากาศให้มีการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

2.2.3 การลดความดันในการผลิตอากาศอัดที่เครื่องอัดอากาศ

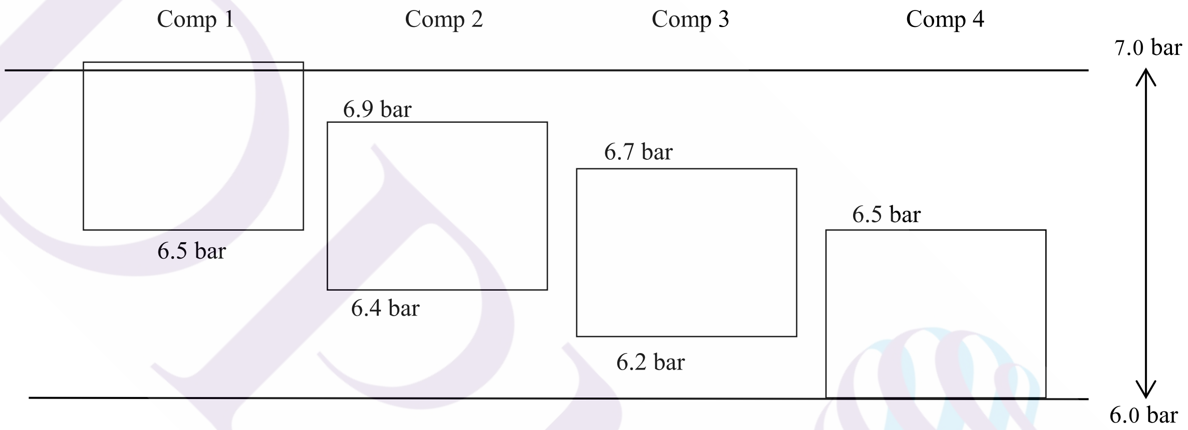
ขั้นตอนการลดความดันในการผลิตคือ สำรวจการใช้อากาศอัดทุกๆจุดและสำรวจความต้องการความดันอากาศอัดของเครื่องจักร ว่าต้องการความดันสูงสุดเท่าใดก่อนการปรับลดความดันเพื่อมิให้มีผลกระทบต่อการผลิต มีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องว่า การผลิตความดันอากาศอัดที่ความดันสูงๆ แล้วให้เครื่องหยุดพักในลักษณะแบบไร้โหลด จะทำให้เครื่องได้หยุดพักและใช้พลังงานน้อยลง ซึ่งก็เป็นความจริง เครื่องอัดอากาศที่ทำงานในลักษณะไร้โหลดเป็นการที่มอเตอร์กินค่าพลังงานไฟฟ้ าน้อยลงแต่มิได้จ่ายอากาศอัดออกมาเท่ากับว่าเป็นการสูญเสียพลังงานอย่างมากในช่วงนี้ อุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดทั่วๆไป มีความต้องการอากาศอัดเพียง 5-6 bar เท่านั้น หากอุปกรณ์ใดมีการใช้อากาศอัดที่ความดันสูงกว่านี้ จะถูกจัดไว้เป็นอุปกรณ์พิเศษ ควรทำการแยกระบบท่อออกไป หรือถ้าอุปกรณ์ประเภทนี้มีไม่มากนักควรใช้ปั๊มเพิ่มความดัน (Pressure booster) เพื่อเพิ่มความดันอากาศอัดเฉพาะเป็นจุดๆ ไม่ควรทำการผลิตอากาศอัดที่ความดันสูงเพื่อรองรับอุปกรณ์ที่ใช้ความดันพิเศษเพียงบางจุดและการปรับลดความดันควรเป็นแบบลักษณะค่อยๆลด โดยพยายามลดลงคราวละประมาณ 0.5 bar หรือน้อยกว่านี้ถ้าเครื่องสามารถปรับได้

2.2.4 การจัดโหลดเครื่องอัดอากาศ

การจัดโหลดเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการ คือการวางแผนการใช้เครื่องอัดอากาศให้มีการเดินตัวเปล่า(unload) น้อยที่สุด ไม่ควรให้มีการเดินตัวเปล่ามากกว่า 10% เพื่อการประหยัดพลังงานสูงสุด โดยทั่วไปสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเครื่องอัดอากาศหลายๆเครื่องต่อร่วมในระบบเดียวกัน มักมีการตั้งค่าความดันในการตัดต่อเครื่องอัดอากาศเท่ากัน เครื่องอัดอากาศก็จะมีการทำงานพร้อมกันและหยุดพร้อมกัน ดังภาพที่ 2.11ซึ่งจะเกิดปัญหาการเดินตัวเปล่าเป็นอย่างมาก สำหรับการจัดโหลดให้เหมาะสมเป็นการตั้งความดันให้มีค่าเหลื่อมกันเป็นลักษณะขั้นบันได ซึ่งจะสามารถลดช่วงเวลาการเดินเครื่องตัวเปล่าได้ ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.11 แสดงลักษณะการตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศที่มีการตัดต่อเท่ากัน



ภาพที่ 2.12 แสดงลักษณะการตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศที่มีค่าเหลื่อมกัน

ที่มา : โกวิทย์ รัตนารามิก.2556.

จากวิธีการตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศให้มีค่าเหลื่อมกันแล้ว ยังจะต้องมีวิธีการเลือกเครื่องอัดอากาศสำหรับการเป็นเครื่องอัดอากาศตัวเมนและเครื่องสำรอง โดยการเลือกเครื่องอัดอากาศเมนหลักมีวิธีการเลือกดังนี้

- ควรเลือกเครื่องที่มีกำลังการผลิตอากาศอัดมากกว่าเป็นตัวหลักในการทำงานและเครื่องที่ผลิตอากาศอัดน้อยรองลงมาเป็นตัวเสริมโหลด
- เลือกเครื่องที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเป็นตัวหลัก เพราะจะใช้พลังงานน้อยกว่าผลิตอากาศได้มาก

- ถ้าเครื่องมีอัดอากาศมีระบบอินเวอเตอร์ให้เลือกเครื่องอัดอากาศประเภทนี้เป็นตัวหลักก่อนสำหรับการตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศ ถ้ามีการใช้เครื่องควบคุมอัตโนมัติควบคุมการทำงานจะช่วยให้ควบคุมช่วงความกว้างของความดันได้ละเอียดและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

2.2.5 บำรุงรักษาชุดกรองและจุดกรองต่างๆในระบบอากาศอัด

ในการผลิตอากาศอัดที่มีคุณภาพจำเป็นต้องมีไส้กรองเป็นจำนวนมาก ควรมีการบำรุงรักษาคือ การหมั่นทำความสะอาดเป็นประจำตามคู่มือที่ผู้ผลิตกำหนดระยะเวลามาหากเกินให้ทำการเปลี่ยนตัวใหม่ทันที การบำรุงรักษาที่ดีส่งผลให้การไหลของอากาศที่ไหลผ่านกรองได้ดีความต้านทานในระบบอากาศอัดต่ำและเป็นการประหยัดพลังงาน

2.2.6 การวางรูปแบบของท่อลม (Pipe Line Lay Out)

สำหรับการวาง Lay out ของท่อลมที่ใช้กันโดยทั่วไปในขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงานจำนวนเครื่องจักร และอัตราการใช้ลม ซึ่งบางแห่งอาจเลือกใช้แบบใดแบบหนึ่งและบางแห่งก็อาจใช้หลายแบบผสมกันก็ได้หลัก ๆอยู่ 3 แบบ โดยมีรายละเอียดในแต่ละแบบดังต่อไปนี้

2.2.6.1 การวางแบบกริด (Grid System)

เป็นรูปแบบที่เหมาะกับไลน์หรือกลุ่มเครื่องจักรเล็ก ๆ ที่มีอัตราการใช้ลมน้อยและระยะการจ่ายลมจากเครื่องอัดลมไปจนถึงท้ายไลน์ไม่ไกลมากนัก โดยท่อเมนที่ต่อออกจากถังลมมีขนาดใหญ่แล้วค่อย ๆ ลดขนาดให้เล็กลงในตอนท้าย ส่วนท่อสาขา จะต่อออกจากท่อหลักเข้าสู่เครื่องจักรและอุปกรณ์นิเมติกส์ต่าง

2.2.6.2 การวางแบบวงท่อ (Loop Piping System)

เป็นรูปแบบที่เหมาะกับไลน์หรือกลุ่มเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่หรือครอบคลุมพื้นที่มากมีอัตราการใช้ลมที่มากและท่อลมมีความยาวมาก การจัดวางไลน์ท่อลมแบบวงนั้น ท่อจะเชื่อมต่อกันทั้งหมด และจ่ายลมออกจากเครื่องอัดอากาศผ่านถังเก็บลมและระบบปรับปรุงคุณภาพลมเข้าสู่ระบบเนื่องจากไม่มีหัวไลน์และท้ายไลน์จึงทำให้การสมดุลแรงดันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงทำให้เกิดปัญหาแรงดันลมตก (PressureDrop) น้อยกว่าระบบอื่น อีกทั้งเมื่อเกิดการใช้ลมที่ส่วนท้ายของวงท่อเป็นปริมาณมาก ลมจะวิ่งจากจุดจ่ายไปยังจุดที่ต้องการใช้ลมโดยผ่านท่อทั้งสองด้านของวงทำให้สามารถรองรับปริมาณการใช้ลมที่มากกว่าได้ในท่อขนาดเดียวกัน

2.2.6.3 การวางแบบผสม

เป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับความต้องการลมของแต่ละหน่วยผลิตย่อย ซึ่งอาจพิจารณาจากปริมาณการใช้ลม ขนาดและความยาวของท่อลมที่ใช้ตลอดจนเรื่องอื่น ๆ จากนั้นก็ติดตั้งปั๊มลมและถังเก็บลมสำหรับแต่ละหน่วยการผลิตโดยอาจมีทั้งไลน์ลมแบบวงสำหรับหน่วยการผลิตย่อยที่มีขนาดใหญ่ และไลน์ลมแบบกริด สำหรับหน่วยการผลิตขนาดเล็กที่ใช้ลมไม่มาก

2.3 วิธีการคำนวณเกี่ยวกับระบบอากาศอัด

2.3.1 การวัดการส่งอากาศอิสระของเครื่องอัดอากาศ สามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

a) คำนวณปริมาตรของระบบท่อที่ต่อระหว่างเครื่องอัดอากาศและถัง เก็บอากาศอัด จาก a ถึง b บันทึกค่าเป็น Vpipe

b) คำนวณปริมาตรของถังเก็บอากาศอัด บันทึกค่าเป็น Vtank

c) หยุดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

d) ปิดวาล์วที่ออกจากถังเก็บอากาศอัดทุกตัว ในที่นี้คือ 1 S และ 2 S เปิดวาล์วเข้าถังเก็บอากาศอัด 3 S

e) ระบายอากาศอัดออกจากถังเก็บอากาศอัดผ่านวาล์วระบายที่ถังจน ความดันลดลงถึงระดับที่ต้องการ ปิดวาล์วระบายอ่านค่าความดัน ที่มาตรวัดความดันที่ถังเก็บอากาศอัด บันทึกค่าเป็น P1g

f) เริ่มเดินเครื่องและเริ่มจับเวลา

g) รอจนกระทั่งความดันในถังเก็บอากาศอัดมีความดันที่ต้องการ บันทึกความดันเป็น P2g และเวลาที่ใช้เป็น t จากข้อมูลข้างต้น สามารถนำมาใช้คำนวณหาการส่งอากาศอิสระของเครื่อง อัดอากาศ (FAD *comp*) ได้ดังนี้

$$FAD_{comp} = \frac{\left(P_{2g} - P_{1g}\right)\left(V_{pipe} + V_{tank}\right)}{P_{atm}t}$$

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานระบบอากาศอัด(2560)

2.3.2 การคำนวณหาการใช้กำลังไฟฟ้าจำเพาะขณะเครื่องมีภาระ(onload) ในการหากำลังเฉพาะต้องทำพร้อมกับการหาการส่งอากาศอิสระของเครื่องอัดอากาศ (FAD_{comp}) การหาสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

a) การวัดต้องกระทำในระหว่างเครื่องมีภาระ(load)

b) ในกรณีที่ใช้ไฟฟ้า 3เฟสให้วัดกระแสไฟฟ้าในสาย R, S, และ T บันทึกค่าเป็น I_R , I_S และ I_T ตามลำดับแล้วให้ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าบันทึกค่าที่ได้เป็น E

c) หาค่าเฉลี่ยของกระแส I จาก I = ($I_R + I_S + I_T$) / 3

d) ในกรณีที่ใช้ไฟฟ้าเฟสเดียวให้วัดกระแสและแรงดันฟ้าฟ้า บันทึกค่าเป็น I และ E ตามลำดับ

e) คำนวณหา kw/ FAD*comp*

$$\frac{kW_{onload}}{FAD_{comp}} = \frac{\frac{\left[EI\cos\phi\right]_{onload}}{1000}}{FAD_{comp}}$$

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานระบบอากาศอัด(2560)

2.3.3 การคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของพลังงานระบบอากาศอัดสามารถเดินการได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

a) คำนวณหาการส่งอากาศอิสระของเครื่องอัดอากาศ FAD_{comp}

b) ในขณะที่เครื่องกำลังทำงาน รอจนกระทั่งเครื่องหยุดทำงาน เริ่ม จับเวลาจากนี้จนกระทั่งเครื่องเริ่มเดินอีกครั้ง บันทึกเวลาเป็น t_{unload} พร้อมกับจับเวลาต่อนับตั้งแต่เครื่องเริ่มเดินไปจนกระทั่ง เครื่องหยุดเดิน บันทึกเวลาเป็น t_{onload}

c) ทำหัวข้อ b ซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของ t_{onload} จากข้อมูลที่ได้ข้างต้นนำมาคำนวณหาอัตราการรั่วของอากาศอัดในระบบ (FAD_{leak}) ได้ดังนี้

$$FAD_{leak} = \left(\frac{t_{onload}}{t_{onload} + t_{unload}}\right) FAD_{comp}$$

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานระบบอากาศอัด(2560)

2.3.4 การคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดอากาศทางทฤษฎีสามารถเดินการได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

kW_{th} = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ทางทฤษฎี (kW)

FAD_{comp} = การส่งอากาศอิสระ (m^3/s)

T_1 = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศขาเข้า (K)

P_1 = ความดันบรรยากาศ (Pa)

P_2 = ความดันสมบูรณ์อากาศขาออก (Pa)

$$kW_{th} = 1.2054T_1\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{0.286} - 1\right](FAD)_{comp}$$

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานระบบอากาศอัด(2560)

2.4 เครื่องมือที่ใช้ทำการวิเคราะห์ปัญหามีการนำเครื่องมือมาใช้ทำการวิเคราะห์เพื่อหามาตรการดำเนินการอยู่ 2 เครื่องมือดังนี้

2.4.1 7 Wastes คือ ความสูญเสีย 7 ประการ ได้แก่

1.ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตมากเกินไป (Overproduction)

2.ความสูญเสียเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง (Inventory)

3.ความสูญเสียเนื่องจากการขนส่ง (Transportation)

4.ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว (Motion)

5.ความสูญเสียเนื่องจากกระบวนการผลิต (Processing)

6.ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย (Delay)

7.ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตของเสีย (Defect)

2.4.2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ Why Why Analysis คือ เทคนิคการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบ มีขั้นมีตอนไม่เกิดการตกหล่น ซึ่งไม่ใช่การคิดแบบคาดเดาเมื่อเรามีปัญหาอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้น เราจะ มาคิดกันดูว่าอะไรเป็นปัจจัยหรือสาเหตุที่ทำให้มันเกิดโดยการ ตั้งคำถามว่า “ทำไม” โดยตั้งคำถามไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ปัจจัย ที่เป็นต้นตอของปัญหาในช่องสุดท้าย ปัจจัยที่อยู่หลังสุด จะต้องเป็นปัจจัยที่สามารถพลิกกลับ กลายเป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพ (เป็นมาตรการป้องกัน ไม่ให้ปัญหาเกิดขึ้นซ้ำอีก) ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ปัญหาด้วย Why-Why Analysis จะต้องไป ตรวจสอบสถานที่จริง และดูสภาพของจริง อันเป็นที่มาของปัญหาเพื่อ สร้างความเข้าใจเกี่ยวกับรายละเอียดของปัญหาให้ถูกต้องชัดเจนและจะต้องทำการแจกแจงส่วนงานที่เป็นปัญหาให้ออกมาเป็นไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของ

ชิ้นส่วน, แสดงความสัมพันธ์ของ หน้าที่, แสดงค่าที่ควรจะเป็นของชิ้นส่วนนั้นๆ กับสภาพที่ใช้งานจริง หรือกล่าวได้ว่าเป็นการเปรียบเทียบ basic condition กับ working condition

2.5 การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร มีดังนี้

2.5.1 การคำนวณโดยการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value ; NPV)คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบัน ของผลประโยชน์ และมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนของโครงการพิจารณาจาก NPV มีค่ามากกว่าศูนย์หรือ มีค่าเป็นบวก แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

2.5.2 หาอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return; IRR) คือ อัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ท าให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน พิจารณาจาก IRR มีค่ามากกว่าต้นทุนของเงินลงทุนแสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

2.5.3 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio: BCR) คือ อัตราส่วน ระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวมพิจารณาจาก BCR มีค่ามากกว่าหนึ่งหรือมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

2.5.4 ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period) คือ จ านวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิในแต่ละปีมีค่ารวมเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรกจากการดำเนินการวิจัยนี้ใช้ตารางแบบฟอร์มการคำนวณของทางโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด ดังภาพที่ 2.13

Feasibility Form of xxxx : Nongkae Plant

Description		2018	2019	2020	2021	2022
รวม Benefits ทั้งหมด		-	-	-	-	-
Investment :						
Equipment						
Net Benefits (Free cash flow)		0.00	0	0	0	0
IRR		0	0	0	0	0
Net Present Value (NPV)		0	0	0	0	0

*% Growth (Cost)อ้างอิงจากอัตราเงินเฟ้อ ณ 16 ม.ค. 60

https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/Documents/PressMPC_62560_5Y8J9.pdf

NPV 5 years	0	THB
Capital	0	THB
Payback period	#DIV/0!	Year
IRR 5 years	#NUM!	

Notes :

rate NPV 6.5%

อัตราดอกเบี้ย MLR 6.5% ของธนาคารกรุงเทพ

https://www.bot.or.th/thai/statistics/_layouts/application/interest_rate/in_rate.aspx

ภาพที่ 2.13 แสดงแบบฟอร์มการประเมินคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ที่มา : จากหน่วยงานควบคุมดูแลค่าใช้จ่ายและงบประมาณของทางบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาพบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัดนั้นมีหลากหลายมาตรการซึ่งส่วนใหญ่มาตรการที่นำมาใช้คือมาตรการการลดการรั่วไหลเนื่องจากเป็นมาตรการที่ใช้เงินลงทุนไม่มากและสามารถประหยัดพลังงานได้จริง

อัจฉราภรณ์ ฟักแสง(2556)ได้ทำการศึกษาแนวทางในการประหยัดพลังงานลมอัดในอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้วด้วยการหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่องพบว่าเครื่องอัดอากาศส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานมากและมีประสิทธิภาพต่ำจึงได้เสนอมาตรการประหยัดพลังงานคือ การจัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศโดยให้เครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะสูงทำงานก่อน ส่วนที่มีสมรรถนะต่ำเก็บไว้เป็นเครื่องสำรอง และมาตรการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงมาแทนเครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะต่ำสุด โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ 4 ปี 9 เดือน มีอัตราผลตอบแทน 21% มาตรการสุดท้ายการบำรุงรักษาระบบเครื่องอัดอากาศโดยการซ่อมรูรั่วขนาดใหญ่ซึ่งลดค่าใช้จ่ายได้ 206,256 บาท/ปี

ประกอบ เอี่ยมสอาด (2549) ทำการศึกษาวิเคราะห์มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัดจาก 23 โรงงานพบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการลดการรั่วไหล สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 1.35 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน, มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบส่งจ่ายและใช้ประโยชน์อากาศอัด สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 0.79, มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการควบคุมระดับความดันของอากาศอัด สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 0.30 , มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 0.33, มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการดัดแปลงระบบท่อส่งจ่ายอากาศอัด สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 1.36 และมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการติดตั้งถังเก็บอากาศอัด สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 1.34 และมีศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัดของ โรงงานอุตสาหกรรม(ควบคุม) ประมาณร้อยละ 5.47 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดคิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้ประมาณ 2,300 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/Y) หรือประมาณ 196 ktoe/ปี

สุรศักดิ์ เรืองศรี (2555)ทำการศึกษาหามาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราจากการศึกษาวิจัยได้กำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานมาได้ทั้งหมด 8 มาตรการ ซึ่งมี 3 มาตรการจากมาตรการทั้งหมดเป็นมาตรการปรับปรุงระบบอากาศอัดได้แก่

มาตรการปรับปรังปรุงโดยการลดอัตรารั่วในระบบอากาศอัดประหยัดได้ 538,865.25 บาท/ปี ใช้เงินลงทุน 60,000บาท มีระยะเวลาคืนทุนที่ 0.11 ปี, มาตรการลดความดันของอากาศในระบบให้เหมาะสมกับการใช้งานคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 212,596.3 บาท/ปี ไม่ต้องใช้เงินลงทุน และมาตรการลดอุณหภูมิของอากาศทางเข้าเครื่องอัดอากาศ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 85,555.78 บาท/ปี ใช้เงินลงทุนทั้งหมด 20,000 บาท มีระยะเวลาคือทุนที่ 0.05 ปี

โกวิทย์ รัตนารามิก(2556)ทำการศึกษาหามาตรการประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรม ในโรงงานผลิตผลิตก๊อกน้ำทองเหลืองแห่งหนึ่งเพื่อหามาตรการปรับปรุงให้เกิดการประหยัดพลังงานสูงสุด ซึ่งการสำรวจได้ทำใน 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนการผลิตอากาศอัด, ส่วนการส่งจ่ายอากาศอัด และการใช้อากาศอัด โรงงานมีเครื่องอัดอากาศทั้งหมด 12 เครื่องแบ่งเป็น 4 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งมีการเดินท่ออากาศอัดเชื่อมถึงกัน สามารถจ่ายอากาศอัดให้อาคารผลิตทั้งหมด 9 อาคาร ความต้องการใช้อากาศอัดเฉลี่ย = 873.76 l/s กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตอากาศอัด = 398.97 kW และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย = 2.19 l/s/kW ผลที่ได้จากการที่ได้ทำการวิจัยสามารถ 6 มาตรการ ได้แก่ 1.เปลี่ยนเครื่องอัดอากาศที่มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ าจำเพาะต่ำออกแล้วเอาเครื่องอัดอากาศใหม่ที่มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ าจำเพาะสูงแทน 2.ติดตั้งชุดควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบศูนย์กลางเดียวกัน 3.ปรับปรุงอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ 4.ปรับปรุงระบบท่อส่งอากาศอัดภายในโรงงาน 5.ปรับลดความดันของเครื่องอัดอากาศลง 6.ปรับปรุงคุณภาพอากาศอัดและลดความดันตกคร่อมของอุปกรณ์ งบประมาณที่ใช้ในการปรับปรุงระบบอากาศอัดทั้ง 6 มาตรการรวมเป็นมูลค่า 5,310,000 บาท สามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้ าได้ 505,146บาท/เดือน คิดเป็นจุดคืนทุน 10.51 เดือน

สรินรัช รัตนบุรี(2550)ทำการศึกษาวิธีการวัดปริมาณลมรั่วของอากาศอัด ณ ตำแหน่งที่รั่วซึมในรูปแบบต่างๆ โดยทำการศึกษาจำลองระบบอากาศอัดและตำแหน่งที่รั่วซึมมีลักษณะเป็นรูวงกลม 4 ขนาดคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,2,3 และ 4 มิลลิเมตรแล้วนำเสนอวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 6 วิธี จากการทดลองทำให้ทราบลักษณะ ข้อดี ข้อเสีย และค่าความแตกต่างของการวัด เมื่อกำหนดให้วิธีการวัดโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบ Hot Wire เป็นเกณฑ์ในการอ้างอิงค่าความแตกต่างจะสามารถสรุปค่าความแตกต่างในการวัดของแต่ละวิธีได้คือ วิธีวัดโดยใช้หลักการแทนที่น้ำประมาณ 34.44% วิธีวัดโดยใช้ถุงครอบประมาณ 26.09% วิธีวัดโดยใช้วิธีวัดอัตราการไหลประมาณ 39.02% วิธีวัดโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบใบพัดวัดความเร็วภายในท่อโดยตรงประมาณ 7.18 % และวิธีวัดโดยการคำนวณจากค่าความดันที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมประมาณ 9.53% เพื่อนำไปเปผ็นข้อมูลในการเลือกวิธีการวัดให้เหมาะสมน่าเชื่อถือกับการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติ

ภาชนีย์ ฤทธิบุญ(2557)ทำการศึกษาวิธีการลดต้นทุนด้านพลังงานต่อหน่วยการผลิตของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ผลิต ฮาร์ดิสก์ จากการประเมินพลังงานมีการตั้งเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนต่อหน่วยการผลิตลง 14 % จากเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม 2555มี 6 มาตรการที่นำมาดำเนินการ คือ 1.เปลี่ยนใช้เครื่องทำความเย็นประสิทธิภาพสูง ดำเนินการ 9 เดือนประหยัดได้ 645,857 บาท 2.บริหารแผนการจัดการเครื่องทำความเย็นดำเนินการ 3 เดือนประหยัดได้ 495,590 บาท 3.การลดการรั่วไหลในระบบอากาศอัดดำเนินการ 4 เดือนประหยัดได้ 14,708 บาท 4. พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวณหลอดไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นดำเนินการ 2 เดือน ประหยัดได้ 146,762 บาท 5. เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED ดำเนินการ 2 เดือนประหยัดได้ 216,758 บาท 6. จัดอบรมด้านพลังงานให้กับพนักงานดำเนินการ 9 เดือนผลที่ได้สามารถปรับปรุงระบบการอนุรักษ์พลังงานโดยวัดผลจากการประเมิณผ่าน EMM คะแนนก่อนปรับปรุง 3.38

ปารุวัฒน์ ชูวงศ์(2558)ทำการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงานอุตสาหกรรมตัดเหล็กแผ่นโดยวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง ระบบอากาศอัด และระบบพัดลมระบายอากาศพนักงานในโรงงานจากการศึกษาพบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง ระบบอากาศอัด และระบบพัดลมระบายอากาศเท่ากับ 1,013,531 kWh/ปี, 380,136 kWh/ปี และ 220,953 kWh/ปี ตามลำดับ คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารวม 22,500,000 บาท/ปี มาตรการการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมตัดเหล็กแผ่น คือ (1) การลดจำนวนชั่วโมงการใช้งานหลอดไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น (2) การเปลี่ยนมาใช้โคมไฟฟ้า LED ภายในอาคารโรงงาน (3)การเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟฟ้า Fluorescent TL5 สำหรับแสงสว่างเครื่องจักร (4) การลดการรั่วไหลของระบบอากาศอัด (5) การเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์พัดลมประสิทธิภาพสูง จากการนำแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าไปวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ด้วยการหาระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนการลงทุน พบว่า หากนำแนวทางทั้งหมดไปปฏิบัติเพื่อการอนุรักษ์พลังงานจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้า 5,800,000 kWh/ปี และคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 3,950,000 บาท/ปี หรือประมาณ 17.5 % โดยมีการเปรียบเทียบงานวิจัยตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบงานวิจัย

อ้างอิง	มาตรการที่ใช้ดำเนินการ	ผลการศึกษา
อัจฉราภรณ์ ฟักแสง(2556)	1.การจัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศโดยให้เครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะสูงทำงานก่อน	1.มีเครื่องที่สมรรถนะต่ำ จำนวน 5 เครื่องเป็นเครื่องสำรอง
	2. มาตรการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงมาแทนเครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะต่ำสุด	2.พบลมรั่ว 3 จุดมูลค่าการสูญเสียเท่ากับ 206,256 บาท/ปี
	3.มารตการบำรุงรักษาระบบเครื่องอัดอากาศโดยการซ่อมรูรั่ว	
ประกอบ เอียมสอาด(2549)	1. มาตรการลดการรั่วไหล	ประหยัดได้ร้อยละ 1.35 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด
	2. มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบส่งจ่ายและใช้ประโยชน์อากาศอัด	ประหยัดได้ร้อยละ 0.79 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด
	3. มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการควบคุมระดับความดันของอากาศอัด	ประหยัดได้ร้อยละ 0.30 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด
	4. มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ	ประหยัดได้ร้อยละ 0.33 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด
	5. มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการดัดแปลงระบบท่อส่งจ่ายอากาศอัด	ประหยัดได้ร้อยละ 1.36 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด
	6.มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการติดตั้งถังเก็บอากาศอัด	ประหยัดได้ร้อยละ 1.34 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด
สุรศักดิ์ เรืองศรี (2555)	1. มาตรการปรับปรังปรุงโดยการลดอัตรารั่วในระบบอัดอากาศ	ประหยัดได้ 538,865.25 บาท/ปี
	2. มาตรการลดความดันของอากาศในระบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน	ประหยัดได้ 212,596.3 บาท/ปี
	3. มาตรการลดอุณหภูมิของอากาศทางเข้าเครื่องอัด	ประหยัดได้ 85,555.78 บาท/ปี
โกวิทย์ รัตนารามิก(2556)	1. เปลี่ยนเครื่องอัดอากาศที่มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะต่ำออกแล้วเอาเครื่องอัดอากาศใหม่ที่มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะสูงแทน	สามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 505,146บาท/เดือน
	2. ติดตั้งชุดควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบศูนย์กลางเดียวกัน	
	3. ปรับปรุงอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ	
	4. ปรับปรุงระบบท่อส่งอากาศอัดภายในโรงงาน	
	5.ปรับลดความดันของเครื่องอัดอากาศลง	
	6.ปรับปรุงคุณภาพอากาศอัดและลดความดันตกคร่อม	
สรินรัช รัตนบุรี(2550)	1. วิธีวัดโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ	ผลอัตราการรั่งไหลประมาณ 34.44%
	2. วิธีวัดโดยใช้ถุงครอบ	ผลอัตราการรั่งไหลประมาณ 26.09%
	3. วิธีวัดโดยใช้วิธีวัดอัตราการไหล	ผลอัตราการรั่งไหลประมาณ 39.02%
	4. วิธีวัดโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบใบพัดวัดความเร็วภายในท่อโดยตรง	ผลอัตราการรั่งไหลประมาณ 7.18%
	5. วิธีวัดโดยการคำนวณจากค่าความดันที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมประมาณ	ผลอัตราการรั่งไหลประมาณ 9.53%

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

อ้างอิง	มาตรการที่ใช้ดำเนินการ	ผลการศึกษา
ภาชนีย์ ฤทธิบุญ(2557)	1.เปลี่ยนใช้เครื่องทำความเย็นประสิทธิภาพสูง	ดำเนินการ 9 เดือนประหยัดได้ 645,857 บาท
	2.บริหารแผนการจัดการเครื่องทำความเย็น	ดำเนินการ 3 เดือนประหยัดได้ 495,590 บาท
	3.การลดการรั่วไหลในระบบอากาศอัด	ดำเนินการ 4 เดือนประหยัดได้ 14,708 บาท
	4.พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวณหลอดไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น	ดำเนินการ 2 เดือนประหยัดได้ 146,762 บาท
	5. เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED	ดำเนินการ 2 เดือนประหยัดได้ 216,758 บาท
	6.จัดอบรมด้านพลังงานให้กับพนักงาน	ดำเนินการ 9 เดือนผลที่ได้สามารถปรับปรุงระบบการอนุรักษ์พลังงานโดยวัดผลจากการประเมิณผ่าน EMM คะแนนก่อนปรับปรุง 3.38
ปารุวัฒน์ ชูวงศ์(2558)	การลดจำนวนชั่วโมงการใช้งานหลอดไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น	ประหยัดพลังงานไฟฟ้า 5,800,000 kWh/ปี และคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 3,950,000 บาท/ปี
	การเปลี่ยนมาใช้โคมไฟฟ้า LED ภายในอาคารโรงงาน	
	การเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟฟ้า Fluorescent TL5 สำหรับแสงสว่างเครื่องจักร	
	การลดการรั่วไหล	
	ของระบบอากาศอัด	
	การเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์พัดลมประสิทธิภาพสูง	

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษามาตรการการประหยัดพลังงานในระบบอากาศอัดของโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำมีขั้นตอนดำเนินการ ดังภาพที่ 3.1

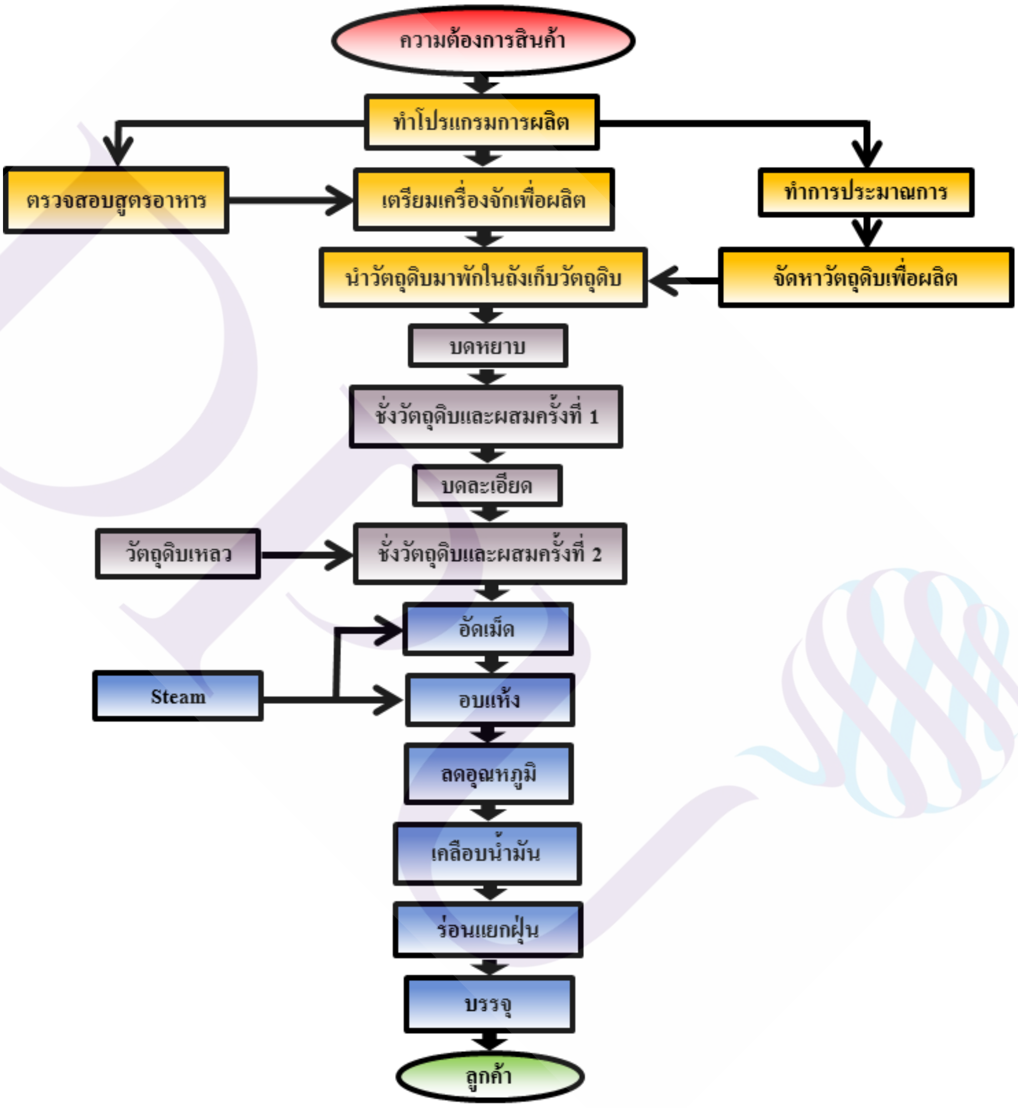
ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่ที่ 9/9 หมู่ 8 ถนนพหลโยธิน อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี เข้าข่ายโรงงานควบคุมกลุ่มที่ 2 (ขนาดใหญ่) ที่ติดตั้งหม้อแปลง

ไฟฟ้ารวมกันตั้งแต่สามพันกิโลวัตต์หรือสามพันห้าร้อยสามสิบกิโลโวลต์แอมแปร์ขึ้นไป ประเภทอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์น้ำ มีจำนวนพนักงาน 199 คน แบ่งเป็น 18 แผนก ชั่วโมงการทำงานของพนักงานส่วนสำนักงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน พนักงานส่วนโรงงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน ดังภาพที่ 3.2

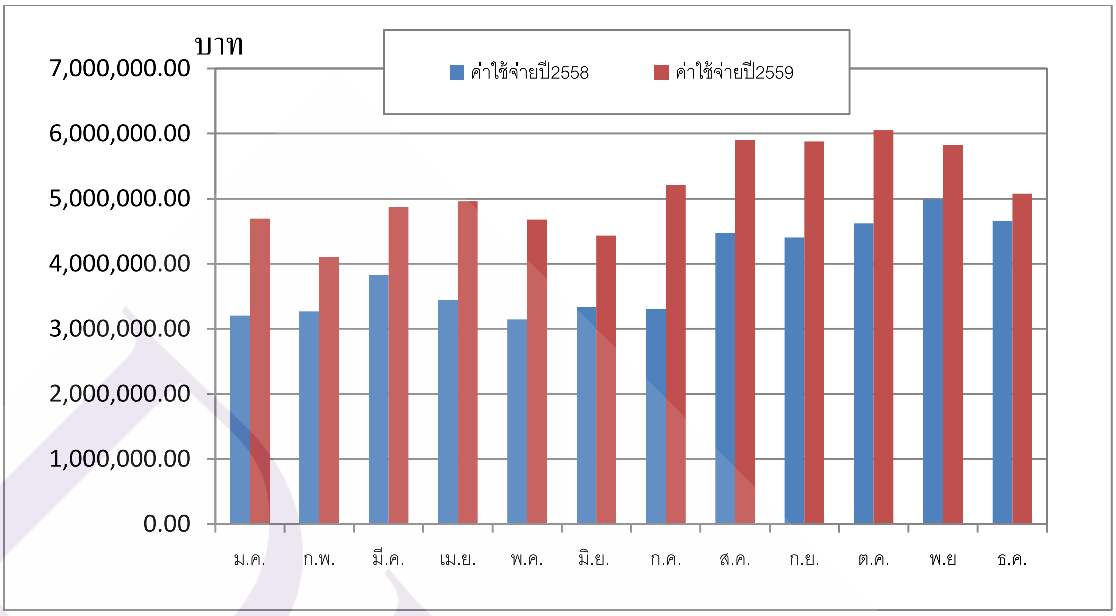
กระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด



ภาพที่ 3.2 แสดงกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ

ที่มา : จากโครงสร้างกระบวนการผลิตโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำ

ข้อมูลค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าปี 2558 - 2559 ของโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด



ภาพที่ 3.3 แสดงข้อมูลค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า

ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าปี 2558 – 2559 ของโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

ภาพที่ 3.4 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า(kWh)

ที่มา : จากรายงานการจัดการพลังงานประจำปี 2559 บริษัทเจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด(มหาชน)

ตารางที่ 3.1 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานแต่ละระบบที่มีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า ปี 2558 และ 2559

สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าแต่ละระบบ (kWh)	ปี 2558	ปี 2559
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	778,832.44	1,096,528.38
ระบบอากาศอัด	1,034,600.75	1,046,789.00
Intake	79,853.31	89,700.94
Silo	113,586.88	121,805.75
เครื่องบดหยาบ	1,005,565.38	1,072,878.75
ระบบสนับสนุนการบดหยาบ	416,494.19	458,080.50
ผสม ครั้งที่ 1	107,057.50	123,397.50
เครื่องบดละเอียด	2,159,986.83	2,483,756.11
ระบบสนับสนุนการบดละเอียด	988,640.31	1,138,137.13
ผสม ครั้งที่ 2	39,888.34	18,311.44
ระบบสนับสนุนการผสม ครั้งที่ 2	120,672.50	143,231.75
เครื่องอัดเม็ด	4,769,297.00	5,090,696.00
กระบวนการอบแห้ง , เคลือบน้ำมัน และลด	2,908,390.75	3,119,823.50
Packing	215,870.81	200,677.50
ระบบบำบัดกลิ่น	242,143.75	24,000.00
อื่น ๆ	1,509,839.27	1,567,945.77

3.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การดำเนินงานวิจัยจะทำการสำรวจและตรวจวัดสภาพและการใช้พลังงานของระบบอากาศอัดตามความเป็นจริงของโรงงาน หลังจากนั้นจะทำการเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบอากาศอัดเพื่อลดการใช้พลังงานโดยมีส่วนที่สำคัญในการรวบรวมอยู่ 2 ส่วนดังนี้

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

- Power Quality Analyzers / Fluke 434 Series II Energy Analyzer คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าพลังงานเช่น ค่าแรงดัน ค่ากระแส และค่า kW ดังภาพที่ 3.5

ภาพที่ 3.5 แสดงเครื่อง Power meter

ที่มา : http://en-us.fluke.com/products/power-quality-analyzers/

- ถุงมือกันไฟฟ้าคือ อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลใช้สวมใส่ขณะนำเครื่องมือวัดเข้าเก็บข้อมูลที่ตู้ MDB: Main Distribution Board ดังภาพที่ 3.6

ภาพที่ 3.6 แสดงถุงมือกันไฟฟ้า

ที่มา : https://pantip.com/topic/34302913

-Temperature Gun หรือปืนวัดอุณหภูมิ เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ในการตรวจสอบอุณหภูมิ เข้าเก็บข้อมูลที่ตัวเครื่องอัดอากาศ ดังภาพที่ 3.7

ภาพที่ 3.7 แสดงเครื่องTemperature Gun

ที่มา : จากการใช้งานจริงจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

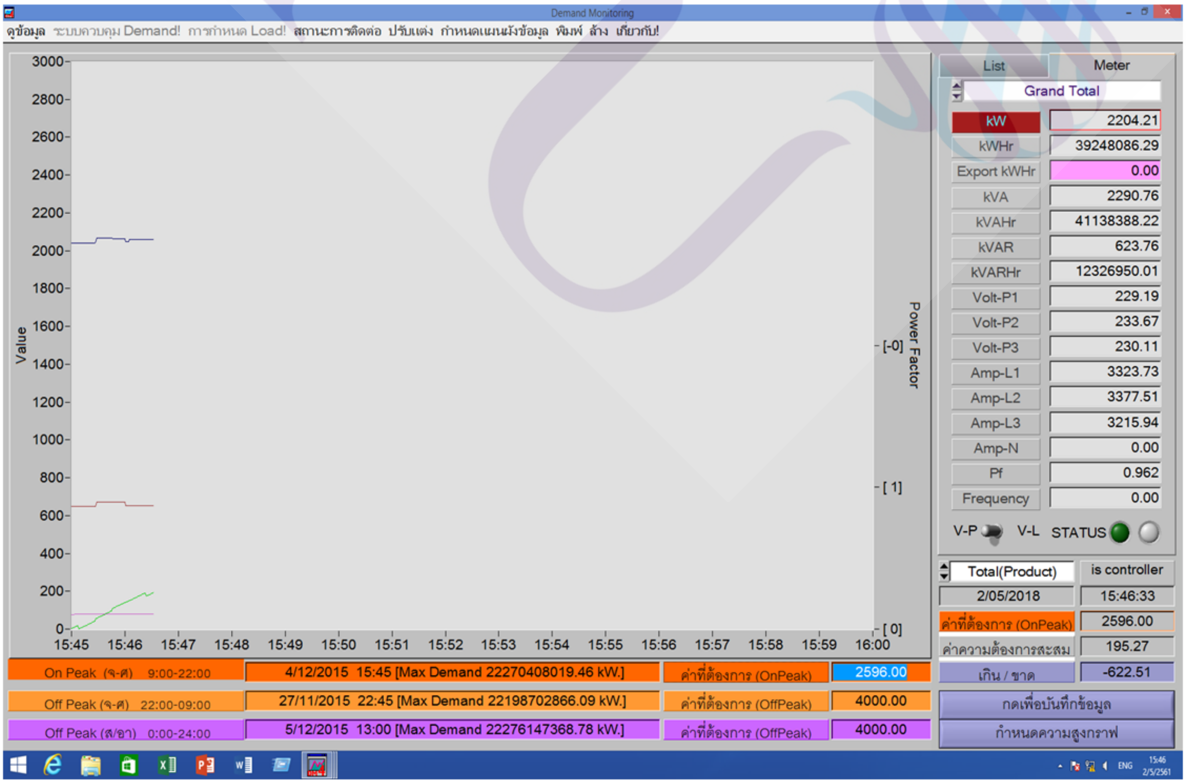
- กล้อง Thermo Scan หรือเครื่องที่ใช้ในการตรวจสอบความร้อนใช้ในการเก็บข้อมูลที่เครื่องอัดกาศและทำการตรวจสอบหาจุรั่วไหลของระบบอากาศอัด ดังภาพที่ 3.8

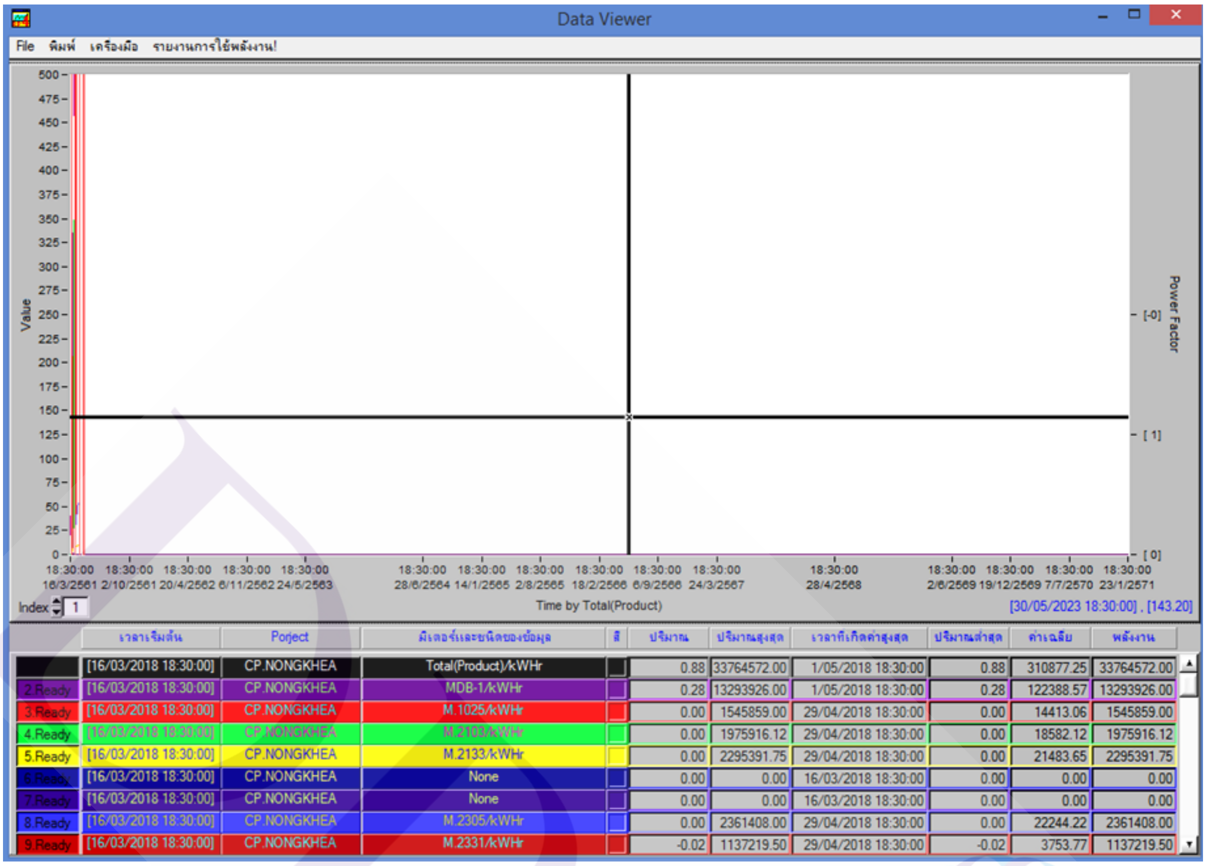
ภาพที่ 3.8 แสดงเครื่อง Thermo scan

ที่มา : จากการใช้งานจริงจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

-โปรแกรมเก็บค่าพลังงาน E-Sumption เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลของการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรภายในโรงงานผลิตอากหารสัตว์น้ำนิดเม็ด ดังภาพที่ 3.9

E-SUMPTION
บริษัท ทองเทียนชัย จำกัด TONG TIAN CHAI CO., LTD.
เลขที่ 2 อาคาร ยูพีเอ ชั้นที่ 2 ถนนรามคำแหง แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510 Tel. 0-2917-7292-3 Fax. 0-2917-7301


Demand Monitoring
Value
Power Factor
List
Meter
Grand Total
kW 2204.21
kWHr 39248086.29
Export kWHr 0.00
kVA 2290.76
kVAHr 41138388.22
kVAR 623.76
kVARHr 12326950.01
Volt-P1 229.19
Volt-P2 233.67
Volt-P3 230.11
Amp-L1 3323.73
Amp-L2 3377.51
Amp-L3 3215.94
Amp-N 0.00
Pf 0.962
Frequency 0.00
V-P V-L STATUS
Total(Product)
is controller
2/05/2018
15:46:33
ค่าที่ต้องการ (OnPeak) 2596.00
195.27
เกิน / ขาด -622.51
กดเพื่อบันทึกข้อมูล
กำหนดความสูงกราฟ
On Peak (จ-ศ) 9:00-22:00
4/12/2015 15:45 [Max Demand 22270408019.46 kW.]
ค่าที่ต้องการ (OnPeak) 2596.00
Off Peak (จ-ศ) 22:00-09:00
27/11/2015 22:45 [Max Demand 22198702866.09 kW.]
ค่าที่ต้องการ (OffPeak) 4000.00
Off Peak (ส/อา) 0:00-24:00
5/12/2015 13:00 [Max Demand 22276147368.78 kW.]
ค่าที่ต้องการ (OffPeak) 4000.00



ภาพที่ 3.9 แสดงลักษณะโปรแกรมเก็บค่าพลังงาน E-Sumtion

ที่มา : จากการใช้งานจริงจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

3.2.2 รวบรวมข้อมูลระบบอากาศอัดของโรงงาน

- ศึกษาขนาดของเครื่องอัดอากาศ โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด เครื่องอัดอากาศมีหน้าที่ผลิตลมจ่ายยังเครื่องจักรต่างๆในกระบวนการผลิตที่ใช้ระบบนิวเมติกส์ในการควบคุม ประกอบไปด้วย เครื่องอัดอากาศ ทั้งหมดจำนวน 5 เครื่อง มีขนาดเท่ากันหมดทุกตัว โดยข้อมูลและรายละเอียดของเครื่องอัดอากาศตามตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่3.2 แสดงรายละเอียดเครื่องอัดอากาศ

เครื่องที่	ยี่ห้อ	ขนาด(kW)	อายุการใช้งาน(ปี)	ชั่วโมงการใช้งานเฉลี่ย(ชม.ต่อปี)	ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย(kWh)
1	Gardner Denver	37	8	7,104	1,034,628
2	Gardner Denver	37	8	7,104	1,034,628
3	Gardner Denver	37	8	7,104	1,034,628
4	Gardner Denver	37	8	7,104	1,034,628
5	Gardner Denver	37	8	7,104	1,034,628

- ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศแต่ละตัวมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

1.การวัดการส่งอากาศอิสระของเครื่องอัดอากาศ โดยปกติแล้วการส่งอากาศอิสระของเครื่องอัดอากาศ (Free Air Delivery : FAD comp) นั้น จะถูกระบุ มากับคู่มือของเครื่องอัดอากาศทุกเครื่อง ซึ่งการส่งอากาศอิสระนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตาม ความดันเดินเครื่อง อย่างไรก็ตามสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศจะถดถอยลงเมื่อเวลาผ่านไป จึงต้องมีการตรวจสอบการส่งอากาศอิสระอยู่เสมอ การส่งอากาศอิสระ

2. การคำนวณหาการใช้กำลังไฟฟ้าจำเพาะขณะเครื่องมีภาระ(onload) หมายถึง ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อการผลิตการส่งอากาศอิสระระหว่างที่เครื่องมีภาระ แสดงอยู่ในหน่วย กิโลวัตต์ต่อการส่งอากาศอิสระ kw/ FAD_{comp} หรือ kw/*lps*

- ศึกษาความสอดคล้องของขนาดถังเก็บลม (Receiver Tank) กับเครื่องอัดอากาศและการทำงานของระบบ Auto Drain

- ศึกษาความสอดคล้องของปริมาณการใช้พลังงานลมของอุปกรณ์และเครื่องจักรเทียบกับการผลิตพลังงานลมของเครื่องอัดอากาศ ทำโดยการเข้าตรวจสอบหาปริมาณการใช้พลังงานลมสูงสุดของ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตอากาศอัด

- ศึกษาความสอดคล้องของเครื่องทำลมแห้ง (Air Dryer) กับเครื่องอัดอากาศ ทำโดยการตรวจสอบหาค่า อัตราการผลิตสูงสุดของเครื่องทำลมแห้งเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตสูงสุดของเครื่องอัดอากาศจากคู่มือการใช้งานหรือ Name plate ของเครื่อง

- ศึกษาการติดตั้งถังเก็บลม การติดตั้ง Air Dryer และแผนผังการเดินท่อเมน ท่อแยกส่งจ่าย ทำโดยการตรวจสอบการติดตั้งจากหน้างานจริงว่าลักษณะของถังเก็บ , Air Dryer , ท่อเมนและท่อแยก ติดตั้งรูปแบบใดเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปแบบมาตรฐาน

- ตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานอากาศอัดมาก ทำโดยการตรวจสอบกลุ่มอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้พลังงานอากาศอัดมาก คือกลุ่มของ Air shock , Packing ,Robot หากไม่อยู่ในสภาพปกติจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นมาก

- ศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศต่อผลผลิต ทำโดยการศึกษาข้อมูลอัตราการผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด เปรียบเทียบกับอัตราการใช้พลังงาน ปี 2559 เพื่อแนวโน้มของการใช้พลังงานหลังการดำเนินการ

3.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 วิเคราะห์สภาพปัญหาที่มีผลต่อระบบอากาศอัด จากข้อมูลที่ทำการรวบรวมหาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบอากาศอัด

3.3.2 วิธีการวิเคราะห์และคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของพลังงานระบบอากาศอัด โดยข้อมูลที่รวบรวมมานั้น คำนวณหาอัตราการรั่วที่เกิดขึ้นในระบบอากาศอัด

3.3.3 วิธีการวิเคราะห์และคำนวณจากการปรับลดแรงดัน โดยข้อมูลที่รวบรวมจากที่หน้างานจริง จะได้นำมาทำการวิเคราะห์และคำนวณหาค่าการใช้พลังงานจากการปรับลดแรงดัน

3.3.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ คือจะมีการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของการดำเนินงาน

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 **ผลการศึกษาระบบอากาศอัด**

4.1.1 ผลจากการศึกษาขนาดของเครื่องอัดอากาศของโรงงาน

ระบบเครื่องอัดอากาศของโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด มีหน้าที่ผลิตพลังงานลมจ่ายยังเครื่องจักรต่างๆในกระบวนการผลิตที่ใช้ระบบนิวเมติกส์ในการควบคุม ประกอบไปด้วยเครื่องอัดอากาศ ทั้งหมดจำนวน 5 เครื่อง ใช้งานจริง 3 เครื่อง สำรอง 2 เครื่อง รายละเอียดของเครื่องอัดอากาศ ดังภาพที่ 4.1

	รุ่นที่ 1 จำนวน 1 เครื่อง	รุ่นที่ 2 จำนวน 4 เครื่อง
ยี่ห้อ	Garder Denver	Garder Denver
LICENCE ID	\K06-010-00482	-
TYPE	BLF37-85A	ES37-10
UNIT ID	QX190289	QX194791
SERIES	CN20110908002	GDC20070141
CAPACITY	6.02 m3/min	5.48 m3/min
WORK PRESSURE	Max 0.85 Mpa	Max 1.0 Mpa
MOTOR POWER	37 kW	37 kW
PW.SPPLY	400/50 V/Hz	380/50 V/Hz
WEIGHT	1100 kg	745 kg
SIZE	L 1651	L 690
	W 887	W 1005
	H 1750	H 1700
DATE	2012.01	2007.04
ชม.การใช้งานเฉลี่ย	7,104 ชั่วโมงต่อปี	
ปริมาณการใช้พลังงาน	1,046,789 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี	

ภาพที่ 4.1 แสดง Nameplate Air compressor

ที่มา : จาก Nameplate Air compressor ที่ใช้งานจริงจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

4.1.2 ผลการศึกษาตรวจสอบและการคำนวณหาประสิทธิภาพ (FAD_{comp}) ของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่อง และการคำนวณหาการใช้กำลังจำเพาะขณะเครื่องมีภาระ (kW onload /FAD comp) ของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่อง โดยได้นำข้อมูลตามตารางที่ 4.1 และ 4.2 มาทำการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่า FAD comp

ข้อมูลที่ในการคำนวณหาค่า FAD comp					
เครื่องที่	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
ขนาดถังเก็บอากาศอัดรวมท่ออากาศอัด Vtank (m^3)	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
เวลาที่ใช้อัดอากาศเข้าถังจากความดันต่ำสุดถึงสุด (วินาที)	164.55	165.25	168.00	169.32	153.04
ความดันที่ใช้ในการทดสอบสูงสุด (bar_g)	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
ความดันที่ใช้ในการทดสอบต่ำสุด (bar_g)	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
ขนาดรวมของท่อก่อนจ่ายออกใช้งาน Vpipe (m3)	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
ความดันบรรยากาศสัมบูรณ์ *Patm* (bar)	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013

การคำนวณหาประสิทธิภาพ (FAD_{comp}) ของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่องใช้สมการในการคำนวณดังนี้

$$FAD_{comp} = \frac{\left(P_{2g} - P_{1g}\right)\left(V_{pipe} + V_{tank}\right)}{P_{atm}t}$$

ผลการศึกษาการคำนวณหาประสิทธิภาพ FAD_{comp} ของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่องดังภาพที่ 4.2

เครื่อง 1		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
P2g	8	barg
P1g	7	barg
Vpipe	0.97	m3
Vtank	12	m3
Patm	1.013	bar
t	164.55	sec
FADcomp	**0.078**	**m3/sec**
	4.669	**m3/min**

เครื่อง 2		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
P2g	8	barg
P1g	7	barg
Vpipe	0.97	m3
Vtank	12	m3
Patm	1.013	bar
t	165.25	sec
FADcomp	**0.077**	**m3/sec**
	4.649	**m3/min**

เครื่อง 3		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
P2g	8	barg
P1g	7	barg
Vpipe	0.97	m3
Vtank	12	m3
Patm	1.013	bar
t	168.00	sec
FADcomp	**0.076**	**m3/sec**
	4.573	**m3/min**

เครื่อง 4		
ตัวแปร	**ค่า**	**หน่วย**
P2g	8	barg
P1g	7	barg
Vpipe	0.97	m3
Vtank	12	m3
Patm	1.013	bar
t	169.32	sec
FADcomp	**0.076**	**m3/sec**
	4.537	**m3/min**

เครื่อง 5		
ตัวแปร	**ค่า**	**หน่วย**
P2g	8	barg
P1g	7	barg
Vpipe	0.97	m3
Vtank	12	m3
Patm	1.013	bar
t	153.04	sec
FADcomp	**0.084**	**m3/sec**
	5.020	**m3/min**

ภาพที่ 4.2 แสดงการคำนวณหาประสิทธิภาพ (FAD *comp*) ของเครื่องอัดอากาศโดยโปรแกรม Excel

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่า kW onload /FAD comp

ข้อมูลที่ในการคำนวณหาค่า kW onload/FAD comp						
เครื่องที่		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
ช่วงเวลาทำการอัดอากาศ (Load) ขณะทำการทดสอ ประสิทธิภาพ	แรงดันไฟฟ้า (V)	398.92	400.87	397.20	397.88	390.89
	กระแสไฟฟ้า Ir (A)	66.26	64.40	67.83	64.26	65.12
	กระแสไฟฟ้า Is (A)	60.86	62.77	62.37	63.68	62.68
	กระแสไฟฟ้า It (A)	60.07	62.29	62.23	64.75	63.06
	PF.	0.85	0.82	0.83	0.84	0.88
	พลังงานไฟฟ้า (kW)	37.43	39.20	37.98	38.68	39.99
การส่งอากาศอิสระของเครื่องอัดอากาศ FAD comp		4.669	4.649	4.573	4.537	5.020

การตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศสามารถนำคำนวณหาการใช้กำลังจำเพาะขณะเครื่องมีภาระ (kW onload /FAD onload) ของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่องโดยใช้สมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$\frac{kW_{onload}}{FAD_{comp}} = \frac{\dfrac{\left[\sqrt{3}EI\cos\phi\right]_{onload}}{1000}}{FAD_{comp}}$$

ผลการศึกษาการคำนวณหาการใช้กำลังจำเพาะขณะเครื่องมีภาระ (kW onload /FAD comp) ของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่อง ดังภาพที่ 4.3

เครื่องที่1		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
kWonload	37.429	kW
FADcomp	4.669	m3/min
kWonload/ FADcomp	8.017	kW/(m3/min)

เครื่องที่2		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
kWonload	39.197	kW
FADcomp	4.649	m3/min
kWonload/ FADcomp	8.432	kW/(m3/min)

เครื่องที่3		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
kWonload	37.975	kW
FADcomp	4.573	m3/min
kWonload/ FADcomp	8.305	kW/(m3/min)

เครื่องที่4		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
kWonload	38.682	kW
FADcomp	4.537	m3/min
kWonload/ FADcomp	8.526	kW/(m3/min)

เครื่องที่5		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
kWonload	39.988	kW
FADcomp	5.020	m3/min
kWonload/ FADcomp	7.966	kW/(m3/min)

ภาพที่ 4.3 แสดงการคำนวณหาการใช้กำลังจำเพาะขณะเครื่องมีภาระ (kW onload /FAD comp) ของเครื่องอัดอากาศโดยโปรแกรม Excel

จากข้อมูลภาพที่ 4.3 เป็นการคำนวณหา kW onload /FAD comp นำมาเทียบกับการเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศในการใช้พลังงาน l/s/kW (ตารางจากเทคนิคการตรวจ วิเคราะห์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) รายละเอียดตาม ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

การเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ									
ประเภทเครื่องอัด	ประเภทการหล่อลื่น	ประเภทการระบายความร้อน	อัตราการผลิตอากาศอัด l/s	พลังงานไฟฟ้าในการอัด l/s/kW	ประสิทธิภาพพลังงานเครื่องอัดอากาศ l/s/kw	ประสิทธิภาพในช่วงที่ไม่มีการใช้โหลด	การลงทุน	ค่าบำรุงรักษา	คุณภาพอากาศที่ผลิต
ลูกสูบ	Lubricated	Air	2-25	0.52	1.92	ดี	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ
	Lubricated	Water	25-250	0.43	2.33	ดี	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ
	Lubricated	Water	250-1000	0.36	2.78	ดีมาก	สูง	สูง	ปานกลาง
	Oil Free	Air	2-25	0.56	1.79	ดี	ปานกลาง	สูง	สะอาด
	Oil Free	Water	25-250	0.47	2.13	ดี	ปานกลาง	สูง	สะอาด
	Oil Free	Water	250-1000	0.41	2.44	ดีมาก	สูง	สูง	สะอาด
สกรู	Oil Inected	Air	2-25	0.52	1.92	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง
	Oil Inected	Air	25-250	0.45	2.22	ดี(ถ้าใช้ VDS)	ต่ำ(สูงVDS)	ปานกลาง	ปานกลาง
	Oil Inected	Water	250-1000	0.41	2.44	พอใช้	กลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
	Oil Free	Air	2-25	0.43	2.33	ดี	สูง	ปานกลาง	สะอาด
	Oil Free	Air	25-250	0.38	2.63	ดี	สูง	ปานกลาง	สะอาด
	Oil Free	Water	250-1000	0.38	2.63	ดี	สูง	ปานกลาง	สะอาด
โรตารี่เวน	Oil Inected	Air	2-25	0.52	1.92	ดี	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
	Oil Inected	Air	25-250	0.45	2.22	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง
แบบหมุนเหวี่ยง (เซ็นตริฟิวกัลป์)	Oil Free	Water	250-1000	0.45	2.22	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง	สะอาด
	Oil Free	Water	1000-2000	0.39	2.56	ดีมาก	ปานกลาง	ต่ำ	สะอาด
	Oil Free	Water	มากกว่า 2000	0.36	2.78	ดีมาก	สูง	ต่ำ	สะอาด

ที่มา : เทคนิคการตรวจ วิเคราะห์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

หมายเหตุ. ช่องประสิทธิภาพพลังงานเครื่องอัดอากาศ(l/s/kW)ค่าเปรียบเทียบที่ได้ควรต่ำกว่า 80

จากคำนวณหาการใช้กำลังจำเพาะขณะเครื่องมีภาระ (kW onload /FAD comp) ของเครื่องอัดอากาศนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐาน 0.45) เพื่อหาสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่องได้ผลดังนี้

เครื่องที่ 1 8.017 kW/m3/min = (8.017 x60)/1000 = 0.4810 kW/l/s = (0.45/ 0.4810)x100 = 93 %

เครื่องที่ 2 8.432 kW/m3/min = (8.432 x60)/1000 = 0.5059 kW/l/s = (0.45/ 0.5059)x100 = 88 %

เครื่องที่ 3 8.305 kW/m3/min = (8.305 x60)/1000 = 0.4983 kW/l/s = (0.45/ 0.4983)x100 = 90 %

เครื่องที่ 4 8.526 kW/m3/min = (8.526 x60)/1000 = 0.5115 kW/l/s = (0.45/ 0.5115)x100 = 87 %

เครื่องที่ 5 7.966 kW/m3/min = (7.966 x60)/1000 = 0.4779 kW/l/s = (0.45/ 0.4779)x100 = 94 %

4.1.3 ผลจากศึกษาความสอดคล้องของขนาดถังเก็บลม (Receiver Tank) กับเครื่องอัดอากาศและการทำงานของระบบ Auto Drain

เนื่องจากการใช้งานของพลังงานลมของทางโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด มีการใช้พลังงานลมตลอดเวลาเพื่อลดปัญหาพลังงานลมที่ใช้ไม่พอในช่วงภาระสูงสุด ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ จึงได้มีการติดตั้งถังเก็บอากาศทั้งหมด 7 ถังแบ่งเป็น Zone ของการใช้งานและขนาดถังที่ใช้มีอยู่ 3 ขนาดมีรายละเอียดตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลขนาดถังเก็บอากาศ

ขนาดถังเก็บอากาศ(Receiver)			
ขนาด	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
ปริมาตร	6000 ลิตร	2000 ลิตร	1500 ลิตร
Working pressure	12 bar	8 bar	8 bar
น้ำหนัก	2783 กก.	2782 กก.	2773 กก.
จำนวนถัง	2 ถัง	4 ถัง	1 ถัง

ปริมาตรรวมของถังเก็บพลังงานอากาศอัดทั้งหมด = (6000 x 2) + (2000 x 4) + (1500 x 1) = 21,500 ลิตร

ผลการศึกษาปริมาณการใช้พลังงานลมในการผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ดมีการแบ่ง Zone การใช้งานตาม ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลขนาดถังเก็บอากาศและZoneการใช้งาน

ปริมาณการใช้พลังงานลมในแต่ละถังแบ่งออกเป็น Zone			
Receiver No.	ปริมาณความจุ	Zone	ปริมาณการใช้
1	6000 ลิตร	รับจาก Air compresso	-
2	6000 ลิตร	รับจาก Air dryer	-
3	2000 ลิตร	Packing	4.83 m^3/min
4	1500 ลิตร	Mixing	0.17 m^3/min
5	2000 ลิตร	Fine Grinding	4.93 m^3/min
6	2000 ลิตร	Coarse Grinding	4.90 m^3/min
7	2000 ลิตร	Top Level	0.75 m^3/min
-	-	Other	3.98 m^3/min
รวม	**21,500**	-	**19.56 m3/min**

การคำนวณเพื่อเปรียบเทียบว่ามีความสอดคล้องระหว่างถังเก็บอากาศ (Receiver Tank) กับเครื่องอัดอากาศที่ผลิตได้ โดยเครื่องอัดอากาศของโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด มีหน้าที่ผลิตพลังงานอากาศอัดจ่ายไปยังเครื่องจักรต่างๆในกระบวนการผลิตที่ใช้ระบบนิวเมติกส์ในการควบคุม ประกอบไปด้วย เครื่องอัดอากาศ ทั้งหมดจำนวน 5 เครื่อง เดิน Main 3 เครื่อง Standby จำนวน 2 เครื่อง จากข้อมูลที่รวบรวมได้ตาม ตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความจุของถังเก็บอากาศ

ข้อมูลที่ในการคำนวณหาค่าความจุของถังเก็บอากาศ m^3					
เครื่องที่	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
ความดันที่ใช้ในการทดสอบสูงสุด (bar_g)Pg *max*	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
ความดันที่ใช้ในการทดสอบต่ำสุด (bar_g)Pg *min*	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
ความดันบรรยากาศสัมบูรณ์ (bar)P*atm*	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013

จากข้อมูลตาม ตารางที่ 4.6 นำมาทำการคำนวณหาความเหมาะสมความจุของขนาดถังเก็บอากาศ กับเครื่องอัดอากาศ โดยใช้สมการดังนี้

$$V=\frac{P_{atm}}{\left(P_{g,max}-P_{g,min}\right)}\left[\left(Q_{cons}-Q_{supply}\right)\times t\right]$$

จากสมการสามารถนำมาทำการคำนวณดังนี้

Q cons = (Packing Zone +Fine Grinding Zone + Coarse Grinding + Mixing Zone + Top Level Zone + Other Zone) X ค่าความเผื่อ 20 %

= (4.83 + 4.93 + 4.90 + 0.17 + 0.75 + 3.98) X (1.20)

= 23.472 m^3/min

Q supply = กำลังผลิตอากาศอัดจำนวน 3 เครื่อง (ไม่รวมเครื่อง Standby 2 เครื่อง)

= (5.48 x 3)

= 16.44 m^3/min

$$V = \frac{P\ atm}{(Pg,max - Pg,min)}\left(\left[Qcons - Qsupply\right] x\ t\right)$$

$$= \frac{1.013}{(8-7)}\left(\left[23.472 - 16.44\right] x\ 180\ \ sec\right)$$

= 1282.21 / 60 วินาที

= 21.37 m^3 หรือ 21370 ลิตร

เนื่องจากการใช้งานของพลังงานอากาศอัดของทางโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด มีการใช้ตลอดเวลาเพื่อลดปัญหาพลังงานอากาศอัดที่ใช้ไม่พอ ช่วงภาระสูงสุด ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ได้มีการติดตั้งถังเก็บอากาศทั้งหมด 7 ถังแบ่งเป็น Zone ของการใช้งานและขนาดถังที่ใช้มีอยู่ 3 ขนาดรวมปริมาณการเก็บพลังงานอากาศอัดทั้งหมดอยู่ที่ 21,500 ลิตร และจากการคำนวณการใช้งานพลังงานอากาศอัดกับอุปกรณ์และเครื่องจักรของทั้งระบบ เพื่อเปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างเครื่องอัดอากาศกับถังเก็บพลังงานอากาศอัดปริมาณที่ได้เท่ากับ 21,370 ลิตร พบว่าถังเก็บพลังงานอากาศอัดที่ออกแบบเพื่อใช้เก็บเพียงพอกับเครื่องอัดอากาศ และระบบของชุด Auto Drain สำหรับการระบายน้ำภายในระบบของถังพักเป็นแบบใช้ Timer ควบคุมการทำงาน พบว่าเมื่อเครื่องอัดอากาศหยุดทำงานแต่ระบบ Auto Drain ยังคงทำงาน

อยู่ตามเวลาที่ตั้งในการ Drain น้ำในระบบออกและแต่ละครั้งที่ทำการ Drain ก็จะมีพลังอากาศอัดที่ผลิตออกไปด้วยหรืออาจจะเปรียบเสมือนได้ว่ามีการรั่วไหลของระบบพลังงานอากาศอัด

4.1.4 ผลจากการศึกษาความสอดคล้องของปริมาณการใช้พลังงานลมของอุปกรณ์และเครื่องจักรเทียบกับการผลิตพลังงานลมของเครื่องอัดอากาศ

เนื่องจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ดมี Line กระบวนการผลิตที่แตกต่างกันออกไปของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ในการใช้พลังงานอากาศอัดจึงจำเป็นต้องมีการแบ่งกลุ่มการใช้ตามที่ได้ศึกษาจากข้อ 4.1.3 ตารางที่ 4.5 ผลจากการศึกษาจะเห็นได้ว่าส่วนที่มีการใช้พลังงานลมของอุปกรณ์และเครื่องจักรรวมทั้งหมด อยู่ที่ 19.56m^3/min

ส่วนของกระบวนการผลิตพลังงานลม(Air Production) จากคู่มือของเครื่องอัดอากาศสามารถผลิตพลังงานลมโดยคิดจาก Capacity รวมทั้ง 5 เครื่อง (มีอยู่ 2 รุ่นในการใช้งาน) (ที่ 7.5 bar Capacity 6.31 m^3/min มี 4 เครื่อง และ ที่ 7.5 bar Capacity 5.9 m^3/min มี 1 เครื่อง) รวมทั้งหมดเท่ากับ 31.14 m^3/min ดังภาพที่ 4.4

TECHNICAL DATA

Gardner Denver Model	Maximum pressure*		Capacity at nom. pressure**		Motor power 50 Hz		Net weight	Compressed air outlet	Noise level***
	bar	psig	m³/min	cfm	kW	Hp	kg		dB(A)
ES 22	7.5 10 13	110 145 190	3,84 3.14 2.50	136 111 88	22	30	628	G 1.1/4	66
ES 30	7.5 10 13	110 145 190	5.24 4.34 3.71	185 153 131	30	40	645	G 1.1/4	68
ES 37	7.5 10 13	110 145 190	6.31 5.48 4.70	223 194 166	37	50	670	G 1.1/4	68

* For RD models max. pressure is 0.25 bar less. Pressure dew point of integrated dryer at reference conditions: +3°C. Reference conditions: intake air temperature for dryer: +35°C, ambient temperature: +25°C.
** Capacity measured in accordance with Cagi Pneurop PN2CPTC2 and the following working pressures are used: 7.5 bar models at 7 bar, 10 bar models at 9 bar and 13 bar models at 12 bar
*** Noise level measured in accordance with Cagi Pneurop PN8NTC2.2 ± 3 dB (A) with Super Novox.

Technical Specifications

Type	Motor	FAD m3/min				Dimensions			Noise	Weight
	kW	7.5bar g	8.5bar g	10bar g	13bar g	L	W	H	dB(A)	Kg
BLE30	30	4.8	4.4	3.9	3.4	1651	887	1750	68	1050
BLE37	37	5.9	5.6	5.2	4.6	1651	887	1750	72	1050
BLE45	45	8.8	8.1	7.1	5.9	2152	1101	1750	75	1341
BLE55	55	10.3	9.5	8.3	7.1	2152	1101	1750	78	1370
BLE75	75	13.0	12.2	11.0	9.2	2152	1101	1750	81	1455

*Measured and stated in accordance with ISO 1217 Annex C at the following conditions: Air Intake Pressure - 1 bar a (14.5 psi.a), Air Intake Temperature - 20°C (68°F), Humidity - 0% (dry), Cooling Water Inlet Temperature - 20°C (68°F), **+_3 dB(A).

ภาพที่ 4.4 แสดงข้อมูลของเครื่องอัดอากาศ

ที่มา : คู่มือของเครื่องอัดอากาศที่ใช้งานจริงในโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

จะเห็นได้ว่า ผลจากการศึกษาความสอดคล้องของปริมาณการใช้พลังงานลมของอุปกรณ์และเครื่องจักรเทียบกับการผลิตพลังงานลมของเครื่องอัดอากาศ ที่ผลิตได้เพียงพอต่อการใช้งาน

4.1.5 ผลจากการศึกษาความสอดคล้องของเครื่องทำลมแห้ง (Air Dryer) กับเครื่องอัดอากาศ

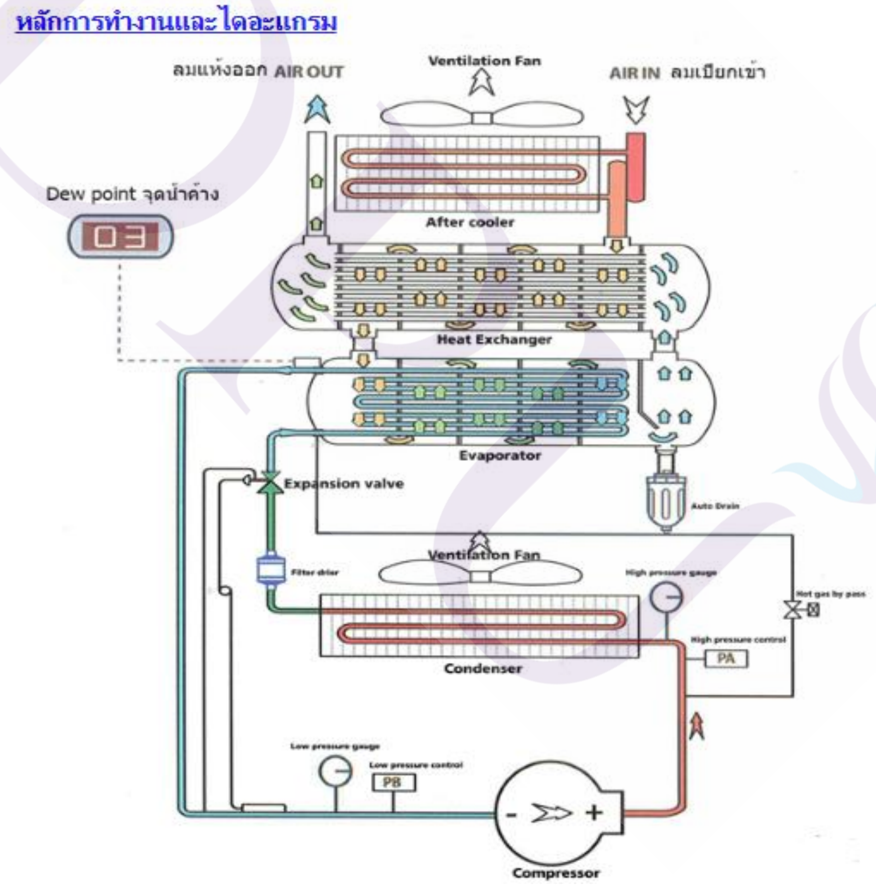
ในการผลิตอาหารปลาของทางโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ดนั้นมีการผลิตพลังงานอากาศอัดใช้กับอุปกรณ์ละเครื่องจักรสิ่งที่ขาดไม่ได้ในการผลิตพลังงานลมนั้นคือ เครื่องทำลมแห้ง จะทำหน้าที่ควบคู่ไปกับเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เครื่องทำลมแห้งมีหน้าที่ในการลดปริมาณน้ำและความชื้นที่ปนมาในระบบลม เพื่อให้ได้ลมที่สะอาดบริสุทธิ์นำไปใช้งานต่อได้อย่างสมบูรณ์และไม่เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์และเครื่องจักร โดยทางโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ดมีขนาดและรายละเอียดของเครื่อง Air dryer กับเครื่องอัดอากาศ ดังภาพที่ 4.5 เครื่องทำลมแห้ง(Air Dryer) มีจำนวน 3 เครื่อง

	รุ่นที่ 1 จำนวน 1 เครื่อง	รุ่นที่ 2 จำนวน 2 เครื่อง
MODEL	CDT - 75 A	CDT - 125 AC
COOLER CAPACITY	7 kw	11.5 kw
FLOWRATE	11 m3/min	18 m3/min
TYPE OF REFRIGERANT	R - 407C	R - 407C
REFRIGERANT LOAD	2.5 kg	3 kg
MAX WORKING PRESSURE	10 bar	16 bar
MAX WORKING TEMPERATURE	80°C	80°C
ELECTRICAL POWER SUPPLY	1/220/50-60 ph/v/Hz	3/380/50-60 ph/v/Hz
INSTALLED POWER	2 kw	5 kw
MAX ABSORBED CURRENT	12 A.	8 A.
PROTSTION RATING	IP22	IP22
MAX AMBIENT TEMPERATURE	43 °C	43 °C
WEIGHT IN OPERATION	200 KG.	279 KG.

ภาพที่ 4.5 แสดงข้อมูลเครื่องทำลมแห้ง(Air Dryer)

ที่มา : จาก Nameplate Air Dryer ที่ใช้งานจริงจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.1.4 คือปริมาณการของเครื่องอัดอากาศหรือ Capacity รวมทั้ง 5 เครื่อง ที่ 7.5 bar Capacity 6.31 m^3/min มี 4 เครื่อง และ ที่ 7.5 bar Capacity 5.9 m^3/min มี 1 เครื่อง) รวมทั้งหมดเท่ากับ 31.14 m^3/min และ Capacity ของชุด Air Dryer รวมทั้ง 3 เครื่อง Capacity รวมทั้งหมดเท่ากับ 47 m^3/min เมื่อเทียบกับอัตราการผลิตพลังงานอากาศอัดของชุดAir Dryer และ อัตราการผลิตพลังงานอากาศอัดของชุด Air Compressor แล้วอัตราการผลิตพลังงานอากาศอัดของชุดเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) จะมีปริมาณน้อยกว่าของชุด Air Dryer สรุปได้ว่า Capacity Air dryer เพียงพอต้องการทำลมแห้งของ Capacity Air Compressor ผลิตได้ และจากการตรวจสอบพบว่าทางโรงงานผลิตอาหารสตว์น้ำได้มีการปฏิบัติตามคู่มือการใช้งาน จัดทำแผนตรวจเช็คและเปลี่ยนอุปกรณ์ตามกำหนดระยะเวลาที่ระบุมาเพื่อรักษาประสิทธิภาพการทำงานของ Air Dryer ตามรายละเอียดหลักการทำงาน ดังภาพที่ 4.6



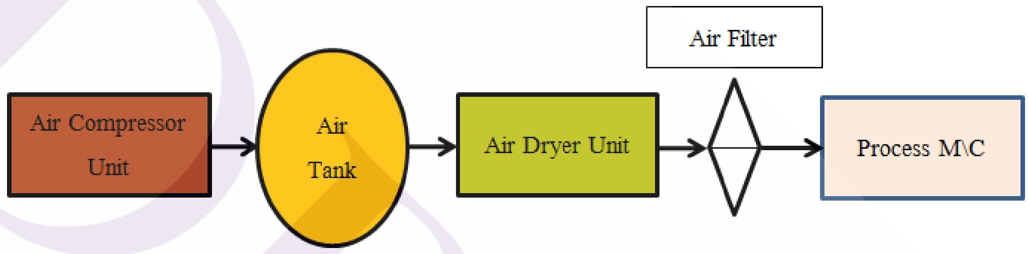
ภาพที่ 4.6 แสดงหลักการทำงานของ Air Dryer

ที่มา : https://นิวเมติก.com

4.1.6 ผลจากการศึกษาการติดตั้งถังเก็บลม การติดตั้ง Air Dryer และแผนผังการเดินท่อเมน ท่อแยกส่งจ่าย

จากการศึกษาในหัวข้อ ขนาดของเครื่องอัดอากาศ ปริมาณถังเก็บอากาศ (Receiver Tank) Capacity ของเครื่องทำลมแห้ง (Air Dryer) และปริมาณการใช้พลังงานอากาศอัดของอุปกรณ์และเครื่องจักรในการผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ดนั้นก็จะเห็นได้ว่าข้อมูลทั้งหมดนั้นสอดคล้องกับมาตรฐานของการออกแบบ ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการติดตั้ง Air Dryer การติดตั้งถังพักลม และการเดินท่อส่งพลังงานลมเพื่อนำพลังงานอากาศอัดไปใช้กับอุปกรณ์และเครื่องจักร ในการติดตั้งจะแบ่งออก 3 รูปแบบดังนี้

1. After Outlet of Air Compressor Unit คือรูปแบบที่แสดงดังภาพที่ 4.7



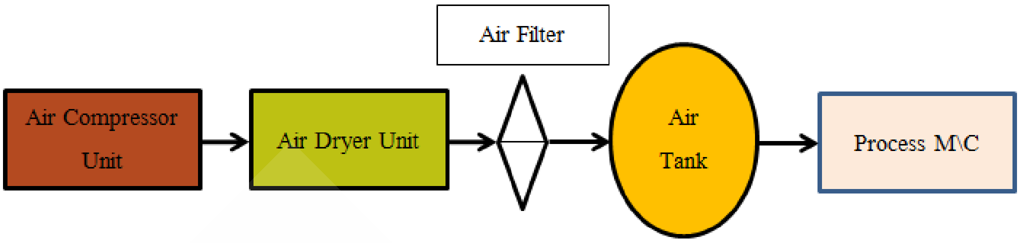
ภาพที่ 4.7 แสดงข้อมูลรูปแบบการติดตั้ง Air Dryer การติดตั้งถังพักลม แบบที่ 1

จากรูปแบบที่ 1 นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากประหยัด และระบบยังทำงานได้ดี การติดตั้ง Receiver Tank ที่จุดต่อจากทางออกของ Main ของ Air Compressor เพื่อเป็นการดึงความชื้นออกจากลมอัดมาใช้ก่อนส่งเข้า Air Dryer เนื่องจากลมที่อัดเข้า Receiver Tank แล้ว จะมีความชื้นบางส่วน ออกไปเมื่อสัมผัสกับพื้นผิวถังภายใน ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิภายในอาจลดลงได้อีกประมาณ 5°C เป็นต้น

- ข้อดีของการติดตั้ง คือประสิทธิภาพการดึงความชื้นของระบบลมอัดได้ดี สูญเสียพลังงานดึงความชื้นที่ Air Dryer น้อยลง

- ข้อเสียของการติดตั้ง ปลายทางหลังออกจาก Air Filter ต้องสูญเสียความดันบางส่วนในอุปกรณ์ไปก่อนจ่ายเข้าสู่ Process

2. After Air Filter Unit before Supply to Processคือรูปแบบที่แสดงดังภาพที่ 4.8

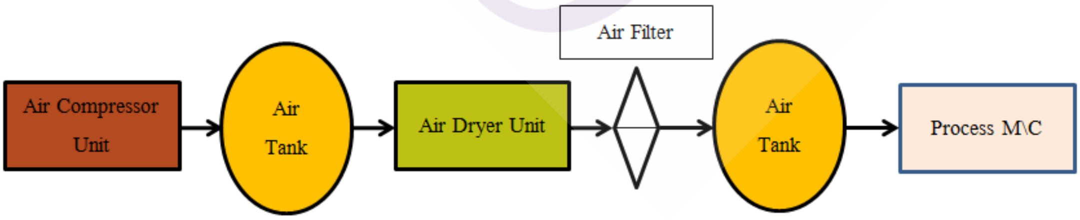


ภาพที่ 4.8 แสดงข้อมูลรูปแบบการติดตั้ง Air Dryer การติดตั้งถังพักลม แบบที่ 2

จากรูปแบบที่ 2 ไม่ค่อยนิยมใช้ เนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานการติดตั้งที่จุดต่อจากทางออกของ Air Filter ก่อนจ่ายเข้าสู่กระบวนการเพื่อใช้ประโยชน์ในการรักษาความสมดุลของความดันในระบบลมอัด เนื่องจากท่อลมที่จ่ายเข้าสู่จุดใช้งานแต่ละจุดมีการแปรเปลี่ยนของความดันค่อนข้างสูง ดังนั้น หากเราเลือกรักษาความสมดุลของความดันให้สม่ำเสมอก่อนต้องติดตั้ง Receiver Tank ไว้ที่ปลายสุดของระบบกำเนิดลมอัด คือ ก่อนส่งเข้ากระบวนการ

- ข้อดีของการติดตั้ง คือ ทำให้ประสิทธิภาพการรักษาความสมดุลของความดันให้สม่ำเสมอที่สุด ก่อนจ่ายเข้าสู่จุดใช้งานในกระบวนการ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพ
- ข้อเสียของการติดตั้ง คือ ลมร้อนที่กำเนิดขึ้นจาก Air Compressor จะเข้าสู่ Air Dryer โดยตรงทั้งหมดโดยไม่ได้ทำการ Pre Cooled จึงมีสูญเสียพลังงานที่ Air Dryer ในการลดอุณหภูมิ

3. Both After Outlet of Air Compressor Unit and After Air Filter Unit before Supply to Processคือรูปแบบที่แสดงดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แสดงข้อมูลรูปแบบการติดตั้ง Air Dryer การติดตั้งถังพักลม แบบที่ 3

จากรูปแบบที่ 3 ถือเป็นระบบที่สมบูรณ์ที่สุด เลือกใช้ในกรณีที่มีเงินลงทุนระบบ เพื่อประโยชน์สูงสุด ควรเลือกติดตั้ง Receiver Tank จำนวน 2 Tank คือการติดตั้ง Receiver Tank ที่จุดต่อจากทางออกของ Main ของ Air Compressor เพื่อเป็นการดึงความชื้นออกจากลมอัดมาใช้ก่อนส่งเข้า Air Dryer และ ติดตั้ง Receiver Tank ไว้ที่ปลายสุดของระบบก่อนส่งเข้ากระบวนการ เพื่อใช้ประโยชน์ในการรักษาความสมดุลของความดันในระบบลมอัดก่อนจ่ายเข้าสู่ Process จะถือเป็นการติดตั้งส่วนประกอบของระบบอากาศอัดที่ดีที่สุด

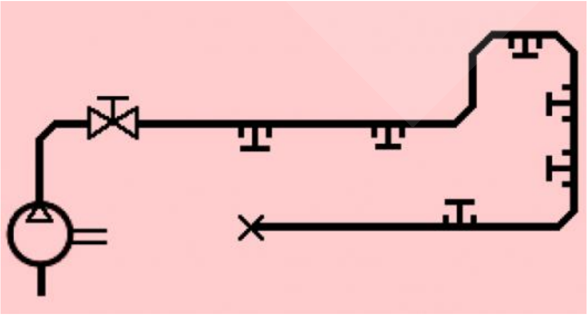
- ข้อดีของการติดตั้ง มีผลทำให้มีการ Pre Cooled ก่อนเข้า Air Dryer ทำให้ประหยัดพลังงานในการทำลมเย็น และ มีประสิทธิภาพในการรักษาความสมดุลของความดันในระบบลมอัดให้มีเสถียรภาพที่สุด ก่อนจ่ายเข้าสู่จุดใช้งานในกระบวนการ

- ผลเสียของการติดตั้ง มีการลงทุนสูงในการติดตั้งส่วนประกอบของระบบอากาศอัดจากการศึกษาจะเห็นได้ว่ารูปแบบการติดตั้งในการติดตั้ง Receiver Tank และ Air Dryer ของทางโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำเป็นไปตามรูปแบบที่ 3 (Both After Outlet of Air Compressor Unit and After Air Filter Unit Before Supply to Process) เป็นการติดตั้งส่วนประกอบของระบบอากาศอัดที่ดีส่วนการเดินท่อจ่ายลมจะมีหลักการในการเดินท่ออยู่ 3 รูปแบบ

1. การเดินท่อจะต้องให้ลาดเอียงลงอย่างน้อย 1-2% ของความยาวท่อ
2. การต่อแยกท่อเพื่อใช้งานจะต้องต่อจากด้านบนของท่อ Main เสมอ
3. ปลายสุดของท่อควรจะมีอุปกรณ์ดักน้ำเพื่อระบายน้ำออกจากท่อ

ส่วนลักษณะการเดินท่อจ่ายพลังงานลมก็จะแบ่งได้ 2 รูปแบบ

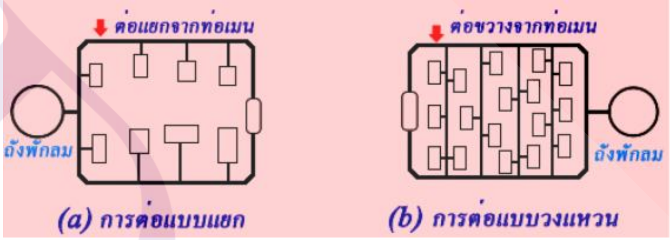
1.การเดินท่อแบบแยกสาขา (Branch Line) การเดินท่อจ่ายลมอัดแบบนี้เหมาะสำหรับในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีจำนวนอุปกรณ์นิวเมติกส์ไม่มากนัก ลักษณะการเดินท่อจ่ายลมแบบนี้หากมีอุปกรณ์นิวเมติกส์ในการใช้งานปริมาณมาก โดยความสามารถของเครื่องอัดอากาศไม่เพียงพอต่อปริมาณการใช้ จะทำให้อุปกรณ์นิวเมติกส์ที่อยู่ท้ายสุดของระบบปริมาณของพลังงานลมอาจจะไม่เพียงพอต่อการใช้งาน แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 แสดงข้อมูลการเดินท่อแบบแยกสาขา (Branch line)

ที่มา : https://นิวเมติก.com

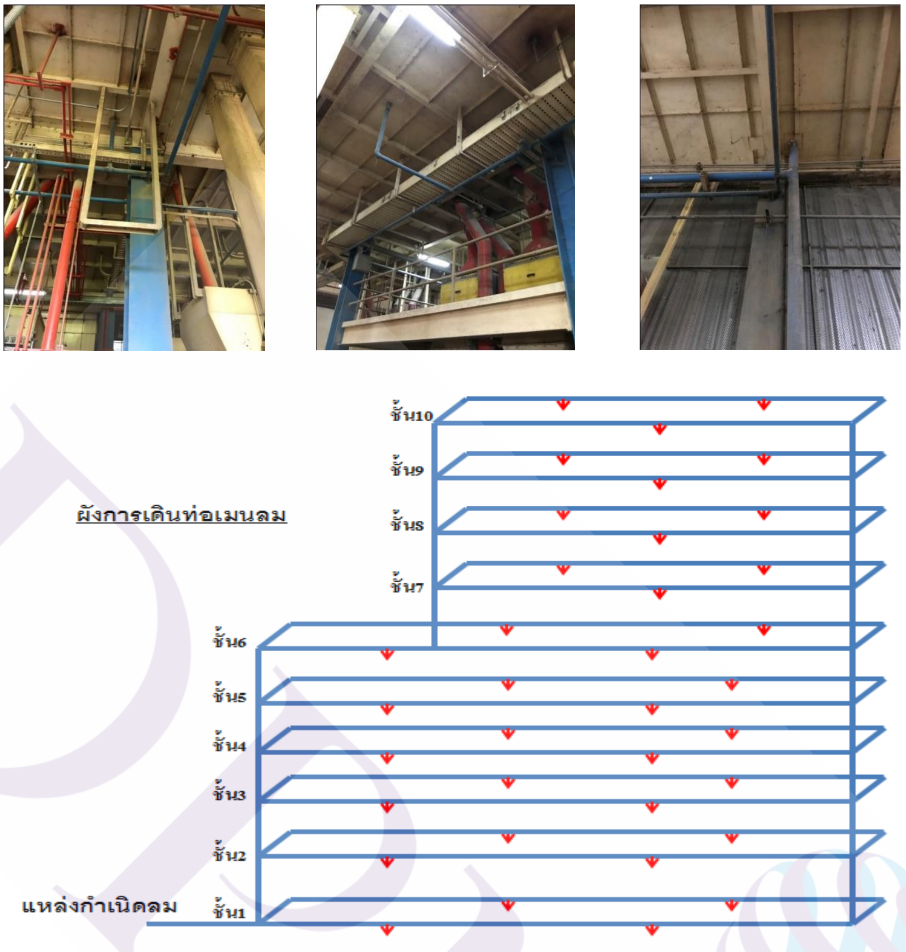
2. การเดินท่อแบบวงแหวน (Ring Circuit) เป็นการวางท่อจ่ายลมรอบพื้นที่ที่ใช้ เพื่อให้ความดันลมในท่อสม่ำเสมอกันในทุกจุดแม้จะมีการใช้ปริมาณลมอัดที่มาก การวางท่อเป็นวงรอบพื้นที่ที่ใช้งานแบบนี้เป็นการแก้ปัญหาเรื่องความดันตกคร่อม แบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบต่อแยก และแบบต่อเป็นวงกลม ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 แสดงข้อมูลการเดินท่อแบบวงแหวน (Ring Circuit)

ที่มา : https://นิวเมติก.com

ส่วนแผนผังการเดินท่อลมของทางโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ดเป็นการเดินแบบการเดินท่อแบบวงแหวน (Ring Circuit)ดังภาพที่ 4.12 ซึ่งลักษณะการออกแบบในรูปแบบนี้เป็นการวางท่อจ่ายลมรอบพื้นที่ที่ใช้ เพื่อให้ความดันลมในท่อสม่ำเสมอกันในทุกจุดแม้จะมีการใช้ปริมาณลมอัดที่มาก การวางท่อเป็นวงรอบพื้นที่ที่ใช้งานแบบนี้เป็นการแก้ปัญหาเรื่องความดันตกคร่อมเหมาะสมกับการใช้งานเนื่องจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ดนั้นมีการใช้งานอุปกรณ์นิวเมติกส์ค่อยข้างปริมาณมากและทางโรงงานได้มีการออกแบบถังเก็บพลังงานอากาศเพิ่มในแต่และพื้นที่ของจุดที่มีการใช้งานของอุปกรณ์นิวเมติกส์ แต่การติดตั้งของท่อเมนนั้นอยู่ในระดับเดียวกันไม่มีความลาดเอียงซึ่งอาจจะทำให้น้ำที่ปนมากับระบบพลังงานอากาศอัดตกค้างอยู่ในท่อเมนได้ อาจจะทำให้เกิดสนิมและเกิดความเสียหายจากการกัดกร่อนของสนิมอีกทั้งการต่อใช้งานจากท่อเมนไม่ได้ต่อจากแนวด้านบนแยกออกมาใช้งานจึงอาจจะทำให้น้ำที่ปนมากับพลังงานอากาศอัดผ่านไปยังกับอุปกรณ์และเครื่องจักรทำให้เกิดความเสียหายได้



ภาพที่ 4.12 แสดงข้อมูลการเดินท่อเมนลมของโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

4.1.7 ผลจาการตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานอากาศอัดมาก

ผลจากการดำเนินงานการตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์เปิด - ปิด ชุด Air Shock , Packing & Robot พื้นที่ที่ดำเนินการตรวจสอบโกดังเก็บวัตถุดิบ,อาคารผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด, โกดังอาหารสำเร็จรูป พบว่าอุปกรณ์และเครื่องจักรดังกล่าวอยู่ในสภาพปกติจึงสรุปได้คือไม่มีการสูญเสียของพลังงานเกิดขึ้น พื้นที่ที่เข้าดำเนินการดังภาพที่ 4.13

ถัง Air shock

กลุ่ม Packing & Robot

ภาพที่ 4.13 แสดงข้อมูลพื้นที่ที่ทำการตรวจสอบ

ที่มา : จากการใช้งานจริงจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

4.1.8 ผลจากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศต่อผลผลิต จากข้อมูลที่ทำการเก็บรวบรวมได้ปี 2559 (Unit/Ton) ได้ข้อมูลตาม ตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานของระบบอากาศอัดต่อผลผลิตปี 2559

ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบอากาศอัดต่อผลผลิตที่ได้ปี 2559													
	ม.ค 59	ก.พ 59	มี.ค 59	เม.ย 59	พ.ค 59	มิ.ย 59	ก.ค 59	ส.ค 59	ก.ย 59	ต.ค 59	พ.ย 59	ธ.ค 59	เฉลี่ย
พลังงานที่ใช้(kWh)	67962.3	65534.5	74068	73171	77770.5	69957	89678.5	95361.5	108000	115248	112936	96509.5	
ปริมาณผลผลิต(Ton)	8309	7204	8402	7809	8096	7439	9646	10867	10647	11503	11631	9736	111,289.00
kWh/Ton	8.179354	9.09696	8.81552	9.370086	9.60604	9.404087	9.296962	8.775329	10.14366	10.01895	9.70987	9.912644	9.36

จากการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องอากาศและผลผลิตที่ได้ในปี 2559 ผลผลิตที่ได้ทั้งปีรวมอยู่ที่ 111,289 ตันและพลังงานอากาศอัดที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเฉลี่ยอยู่ที่ 9.3607 Unit/Ton

4.2 ผลวิเคราะห์สภาพปัญหาที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบอากาศอัด

เครื่องมือที่ใช้ในการค้นหาสาเหตุและกำหนดมาตรการเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าของระบบเครื่องอัดอากาศในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ดโดยเครื่องมือที่มีชื่อว่า 7 Wastes และ

Why Why analysis ในการค้นหาโดยมีคำถามที่ว่า "ทำไมการใช้ไฟฟ้าของระบบเครื่องอัดอากาศในกระบวนการผลิตสูง"แล้วดำเนินการตามกระบวนการของเครื่องมือ ดังภาพที่ 4.14

7Wastes สาเหตุการสูญเสีย	Why1	Why2	Why3	Why4	ผลการศึกษา	มาตรการ
Overproduction การผลิตมากเกินไป	ทำไมต้องผลิตลมที่แรงดัน 8 บาร์	มีอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานลมเป็นจำนวนและปริมาณมาก	ใช้กับอุปกรณ์ปิด - เปิดชุด Air shock , Packing ,Robot		ตรวจเช็คอุปกรณ์ปิด - เปิดชุด Air shock , Packing ,Robotให้อยู่ในสภาพปกติ(ดำเนินการอยู่ในข้อ 4.1.7)	จัดทำแผนการตรวจเช็คเดือนละ 1 ครั้ง พร้อมดำเนินการตามแผน
		มีการใช้แรงดันที่แตกต่างของอุปกรณ์	Packing ,Robot 6 บาร์ Air shock 4 บาร์ อุปกรณ์ปิด - เปิด 5 บาร์		ตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอากาศอัดของแต่ละเครื่องเพื่อกำหนดการทำงานจัดลำดับการทำงานของ AC.ตามประสิทธิภาพเครื่อง	การจัดลำดับเครื่องอากาศอัดตามประสิทธิภาพแต่ละเครื่อง เครื่องที่ใช้พลังงานน้อยให้สตาร์ทเป็นเครื่องแรก
Defect การผลิตของเสีย	มีน้ำปนเปื้อนไปกับลมในระบบอากาศอัด	Air dryer ทำงานปกติ	Flow ที่ผลิตได้จาก AC ไม่สัมพันธ์กับ Dew point ของ Air dryer		ตรวจสอบการทำงานของ Air dryer ให้สามารถใชงานเป็นปกติตลอดเวลา (ดำเนินการอยู่ในข้อ 4.1.5)	จัดทำแผนการตรวจเช็คสัปดาห์ละ 1 ครั้ง พร้อมดำเนินการตามแผน
Waiting การรอคอย						✗
Inventory การมีวัตถุคงคลังที่ไม่จำเป็น						✗
Transport การขนส่ง	การเกิด Pressure Drop ภายในท่อส่งลมระหว่างถังพักกับอุปกรณ์ใช้ลมมาก	มีการแบ่งท่อเมน เป็นจุดๆ ก่อนถึงถังพักใกล้กลับอุปกรณ์ที่ใช้ลมในปริมาณมาก	มีการเพิ่มอุปกณ์ที่ใช้พลังงานอากาศอัด		ต้องออกแบบติดตั้งท่อส่งให้ได้ตามมาตรฐานทุกครั้งที่มีการเพิ่มอุปกรณ์ (ดำเนินการอยู่ในข้อ 4.1.6)	จัดประชุมสรุปรูปแบบการติดตั้งทุกครั้งที่มีการเพิ่มอุปกรณ์และอนุมัติโยผู้บริการ
Process กระบวนการผลิต	ระบบ Auto drain ทำงานตลอดเวลา	ระบบ Auto Drain ใช้ Timer ควบคุมการทำงาน	พบปัญหาเมื่อเครื่องอัดอากาศหยุดทำงานแต่ระบบ Auto Drain ยังคงทำงานอยู่		เลือกใช้อุปกรณ์ Auto Drain ให้เหมาะสมกับการใช้งาน	การลดปริมาณการรั่วไหลของระบบ
	เครื่องอัดอากาศทำงานด้วยประสิทธิภาพต่ำ	เครื่องอากาศอัดทำงานตลอดเวลา	ผลิตอากาศอัดไม่ได้ Maximum Pressure	การปรับตั้ง Maximum, minimum Pressure สูงเกินไป	ตรวจสอบการปรับตั้ง Maximum , minimum Pressureให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ใช้แรงดันมากที่สุดปรับแรงดันที่ 6.0 bar – 7.0 bar	การลดแรงดันของเครื่องอากาศอัด
Motion การเคลื่อนไหว	มีการรั่วไหลของลมในระบบและอุปกรณ์	อุปกรณ์ที่ใช้ต่อ (Fitting) & Regulator ชำรุด			ตรวจสอบและแก้ไข อุปกรณ์ Fitting & Regulator	การลดปริมาณการรั่วไหลของระบบ

ภาพที่ 4.14 แสดงข้อมูลผลการวิเคราะห์สภาพปัญหาที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบอากาศอัด

จากการวิเคราะห์สภาพปัญหาที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบอากาศอัดด้วยเครื่องมือ 7 Wastes และ Why Why analysis สามารถกำหนดมาตรการเพื่อที่จะดำเนินการแก้ไขได้ 3 มาตรการดังนี้

1. มาตรการจัดลำดับเครื่องอัดอากาศตามประสิทธิภาพ เครื่องที่ใช้พลังงานน้อยให้สตาร์ท์เป็นเครื่องแรก
2. มาตรการลดปริมาณการรั่วไหลของระบบอากาศอัด
3. มาตรการปรับลดการผลิตแรงดันของเครื่องอัดอากาศ

4.3 ผลดำเนินการตามมาตรการ

4.3.1 มาตรการ การจัดลำดับเครื่องอัดอากาศตามประสิทธิภาพแต่ละเครื่อง

เครื่องที่ใช้พลังงานน้อยให้สตารท์เป็นเครื่องแรก โดยการดำเนินการใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4.1 การตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศของแต่ละเครื่องแรงดันที่ใช้ตัดการทำสูงสุดอยู่ 8 บาร์ และแรงดันที่เริ่มสตาร์ทการทำงานอยู่ที่ 7 บาร์ ดังภาพที่ 4.15

ภาพที่ 4.15 แรงดันที่ใช้(เริ่มสตาร์ทเครื่อง)และ(ตัดการทำงาน)ก่อนดำเนินการ

Status	เครื่องที่	แรงดัน(สตาร์ทการทำงาน)	แรงดัน(ตัดการทำงาน)
main	1	7.0 bar	8.0 bar
	2	7.0 bar	8.0 bar
	3	7.0 bar	8.0 bar
spare	4	7.3 bar	8.3 bar
	5	7.3 bar	8.3 bar

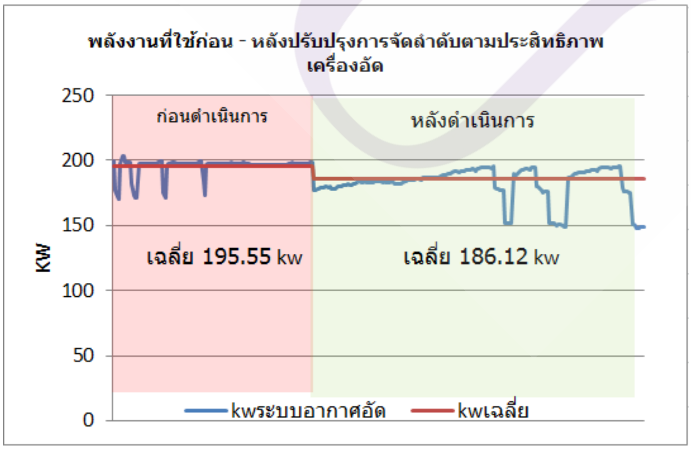
ภาพที่ 4.16 แสดงข้อมูลการจัดลำดับสถานะการทำงานของเครื่องอัดอากาศก่อนการดำเนินการแก้ไข

จากการดำเนินการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศของแต่ละเครื่องเพื่อกำหนดการจัดลำดับการทำงานของเครื่องอัดอากาศ โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพของเครื่อง คือ เครื่องอัดอากาศตัวไหนที่ใช้พลังงานน้อยให้กำหนดการทำงานเป็นตัวแรก จากภาพที่ 4.3 รายละเอียดการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ ข้อมูลที่ได้จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ดีที่สุดคือเครื่องที่ 5 ใช้พลังงานอยู่ที่ 7.96 kW/(m3/min) โดยมีผลการดำเนินงานตามรายละเอียด ดังภาพที่ 4.17

Status	เครื่องที่	แรงดัน(สตาร์ทการทำงาน)	แรงดัน(ตัดการทำงาน)
main	5	7.0 bar	8.0 bar
	1	7.1 bar	8.1 bar
	3	7.2 bar	8.2 bar
spare	2	7.5 bar	8.5 bar
	4	7.5 bar	8.5 bar

ภาพที่ 4.17 แสดงข้อมูลการจัดลำดับสถานะการทำงานของเครื่องอัดอากาศหลังการดำเนินการแก้ไข

จากการที่ได้จัดลำดับการทำงานของเครื่องอัดอากาศตามประสิทธิภาพของแต่ละเครื่องตามข้อมูลที่ได้จากภสพที่ 4.3 รายละเอียดการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศได้มีการใช้พลังก่อนและหลังการดำเนินการ ดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 แสดงการใช้พลังงานก่อน – หลังปรับปรุงการจัดลำดับตามประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ

จากภาพที่ 4.18 ข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมโดยการใช้โปรแกรมการบันทึกค่าการใช้พลังงานก่อนการดำเนินการแก้ไข เพื่อหาค่าการใช้พลังงานที่ใช้มีค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานอยู่ที่ 195.55 kW หลังจากการดำเนินการจัดลำดับเครื่องอัดอากาศตามประสิทธิภาพแต่ละเครื่องมีการใช้พลังหลังการดำเนินการค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานอยู่ที่ 186.12 kWจากข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศหลังจากการจัดลำดับการทำงานของเครื่องตามประสิทธิภาพ สรุปการดำเนินงานคือสามารถลดการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศลงได้อยู่ที่ 9.43 kW (6.48 % ของการใช้พลังงานทั้งหมดทั้งปีของระบบอากาศอัด) และจากตรวจสอบที่หน้างานสามารถประมาณการค่าใช้จ่ายที่อาจจะเกิดขึ้นในการดำเนินงานตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศของแต่ละเครื่องและตรวจสอบการปรับตั้งแรงดัน ของทางโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ดโดยให้พนักงานมาดำเนินการ อยู่ที่ 5,000 บาท

4.3.2 มาตรการลดปริมาณการรั่วไหลของระบบอากาศอัด

โดยการใช้ข้อมูลในการดำเนินการอยู่ 2 ข้อมูลดังนี้

4.3.2.1 ข้อมูลจากศึกษาข้อ 4.1.3 จากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าระบบ Auto Drain สำหรับการระบายน้ำภายในระบบของถังพักเป็นแบบใช้ Timer ควบคุมการทำงาน พบว่าเมื่อเครื่องอัดอากาศหยุดทำงานแต่ระบบ Auto Drain ยังคงทำงานอยู่ตามเวลาที่ตั้งในการ Drain น้ำในระบบออกและแต่ละครั้งที่ทำการ Drain ก็จะมีพลังอากาศอัดที่ผลิตออกไปด้วยหรืออาจจะเปรียบเสมือนได้ว่ามีการรั่วของระบบพลังงานอากาศอัด จึงได้ทำการศึกษาหาอุปกรณ์ชนิดใหม่มาดำเนินการติดตั้งแทนโดยลักษณะของอุปกรณ์ชนิดที่ได้นำมาติดตั้งจะเป็นแบบ Auto drain แบบลูกลอยพร้อมกับระบบไฟฟ้าในการควบคุม ลักษณะการทำงานคือหากมีน้ำเข้ามาที่กระเปาะของอุปกรณ์ในระดับตำแหน่งที่สวิทช์ลูกลอยทำงานก็จะสั่งให้คอยโซลินอยด์ที่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าสั่ง drain น้ำออกจากระบบและการควบคุมการทำงานของ Auto drain จะทำงานพร้อมกันกับ Air Compressor ทำให้สามารถลดภาระการทำงานหรือสามารถลดการใช้พลังงานของ Air Compressor ได้และการ Drain ยังสอดคล้องกับปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นในระบบหรือหากไม่มีเครื่องอัดอากาศทำงาน Auto drain ก็จะไม่ทำงาน ลักษณะ Auto drain ดังภาพที่ 4.19

Auto drain แบบ timer　　　Auto drain แบบลูกลอยไฟฟ้า

ภาพที่ 4.19 แสดงข้อมูลและชนิดของ Auto drain

ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งมีด้วยกันทั้งหมด 14 จุด จากการตรวจสอบเพื่อทำการดำเนินงาน สามารถประมาณการค่าใช้จ่ายที่อาจจะเกิดขึ้นในการเปลี่ยนอุปกรณ์ของทางโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด อยู่ที่ 210,000 บาท

4.3.2.2 ข้อมูลจากตรวจสอบและเก็บข้อมูลการรั่วไหลของพลังงานอากาศอัดเริ่มจากการทดสอบและนำผลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของอากาศอัดในระบบ(FADleak) ทั้งหมด โดยใช้สมการในการคำนวณ ดังนี้

$$FAD_{leak} = \left(\frac{t_{onload}}{t_{onload} + t_{unload}} \right) FAD_{comp}$$

ในการดำเนินการทดสอบอัตราการรั่วไหลของระบบอากาศอัดได้ดำเนินการโดยใช้เครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 5 ในการทดสอบ ผลที่ได้จากการทดสอบและนำมาคำนวณตามทฤษฎี ได้ ดังภาพที่ 4.20

ตัวแปร	ค่า	หน่วย
tonload	171.30	sec
tunload	193.60	sec
FADcomp	0.07474	m3/sec
FADleak	**0.03509**	**m3/sec**
	2.10527	**m3/min**

ภาพที่ 4.20 แสดงการคำนวนหาอัตราการรั่วไหลโดยโปรแกรม Excel

คิดเป็นอัตราการรั่วไหลอยู่ที่ 12.50 % ทั้งระบบผลจากการทดสอบและคำนวณอัตราการรั่วไหล ทางโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ดได้ดำเนินตามมาตรการคือ สำรวจค้นหาพลังงานลมรั่วไหลออกจากระบบ ตรวจสอบอุปกรณ์ เครื่องจักร และจุดต่อต่างๆในระบบที่มีการใช้พลังงานลมพร้อมดำเนินการแก้ไขจุดรั่วไหลต่างๆ ข้อมูลที่เก็บได้ ดังภาพที่ 4.21

สถานที่	จำนวนจุดที่ตรวจสอบ	จำนวนจุดที่พบอัตราการรั่วไหล
วัตถุดิบ	10	5
ผลิต	20	12
Packing	10	3

ภาพที่ 4.21 แสดงข้อมูลการรั่วไหลในแต่ละพื้นที่

ภาพที่ 4.22 แสดงการดำเนินงานตรวจสอบและแก้ไขจุดรั่วไหล

จากตรวจสอบที่หน้างานสามารถประมาณการค่าใช้จ่ายที่อาจจะเกิดขึ้นในการดำเนินงานตรวจสอบหาจุดรั่วไหลโดยให้พนักงานมาดำเนินการ อยู่ที่ 5,000 บาท

4.3.3 มาตรการการปรับลดการผลิตแรงดันของเครื่องอัดอากาศ

จากข้อมูลที่ทำการรวบรวมอาจจะใช้มาตรการ การลดการเดินเครื่องที่ไม่จำเป็น ร่วมด้วยก็ได้ โดยใช้ข้อมูลจากที่ได้ดำเนินการตามมาตรการในข้อที่ 4.3.1 ภาพที่ 4.15 การจัดลำดับสถานะการทำงานของเครื่องอัดอากาศหลังการดำเนินการแก้ไขก็จะเห็นได้ว่าแรงดันสตาร์ทการทำงานตั้งอยู่ที่ 7.1 bar และแรงดันตัดการทำงานสูงสุดอยู่ที่ 8.1 bar เครื่องที่ใช้งานหลักมี 3 เครื่อง เครื่องที่สตาร์ทเป็นเมนหลักคือ 5, 1, 3 ตามลำดับและมีเครื่องที่สำรองคือ 2, 4 และข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาในข้อ 4.1.3 ตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า แรงดันที่ใช้งานสูงสุดอยู่กลุ่มการบดวัตถุดิบแบบละเอียด (Fine Grinding) อยู่ที่ 4.93 m^3/min จากข้อมูลที่ได้จะทำการปรับลดระดับแรงดันเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเริ่มจากการปรับลดระดับของ Minimum (คือการสตาร์ท

เครื่องทำงานขณะเริ่มต้น) จากเดิมที่ตั้งไว้ 7 bar ลดลงอยู่ที่ 6 bar และ Maximum (คือการตัดการของเครื่องเมื่อได้ระดับที่ต้องการ) จากเดิมที่ตั้งไว้ 8 bar ลดลงอยู่ที่ 7 bar และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์การหาค่าพลังงานจากการลดแรงดัน สามารถคำนวณทางทฤษฎีได้จากสมการดังนี้

$$kW_{th} = 1.2054T_1\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{0.286} - 1\right](FAD)_{comp}$$

ผลการเปรียบเทียบทางทฤษฎีที่ดำเนินการตามมาตรการปรับลดระดับแรงดันสามารถพิจารณาผลตามตารางการคำนวณ ดังภาพที่ 4.23

เครื่องที่1 ก่อนปรับลด		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
T1	308.15	เคลวิน
P1	101300	pa
P2	901300	pa
FAD	0.080754	m3/sec
kWth	26.05057	kW
เครื่องที่1 หลังปรับลด		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
T1	308.15	เคลวิน
P1	101300	pa
P2	801300	pa
FAD	0.080754	m3/sec
kWth	24.19684	kW

เครื่องที่2 ก่อนปรับลด		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
T1	308.15	เคลวิน
P2	101300	pa
P1	901300	pa
FAD	0.07748	m3/sec
kWth	24.99436	kW
เครื่องที่2 หลังปรับลด		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
T1	308.15	เคลวิน
P2	101300	pa
P1	801300	pa
FAD	0.07748	m3/sec
kWth	23.21579	kW

เครื่องที่3 ก่อนปรับลด		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
T1	308.15	เคลวิน
P2	101300	pa
P1	901300	pa
FAD	0.076212	m3/sec
kWth	24.58522	kW
เครื่องที่3 หลังปรับลด		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
T1	308.15	เคลวิน
P2	101300	pa
P1	801300	pa
FAD	0.076212	m3/sec
kWth	22.83577	kW

เครื่องที่4 ก่อนปรับลด		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
T1	308.15	เคลวิน
P2	101300	pa
P1	901300	pa
FAD	0.075617	m3/sec
kWth	24.39356	kW
เครื่องที่4 หลังปรับลด		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
T1	308.15	เคลวิน
P2	101300	pa
P1	801300	pa
FAD	0.075617	m3/sec
kWth	22.65774	kW

เครื่องที่5 ก่อนปรับลด		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
T1	308.15	เคลวิน
P2	101300	pa
P1	901300	pa
FAD	0.091428	m3/sec
kWth	29.49384	kW
เครื่องที่5 หลังปรับลด		
ตัวแปร	ค่า	หน่วย
T1	308.15	เคลวิน
P2	101300	pa
P1	801300	pa
FAD	0.091428	m3/sec
kWth	27.39509	kW

ภาพที่ 4.23 แสดงข้อมูลการคำนวณทางทฤษฎีที่ดำเนินการตามมาตรการปรับลดระดับแรงดัน

จากการคำนวณทางทฤษฎีในการปรับลดระดับแรงดันของเครื่องอัดอากาศ จะเห็นได้ค่าพลังที่ใช้ก่อนการดำเนินการรวมทั้งหมดอยู่ที่ 129.517 kWและหลังปรับลดระดับแรงดันการคำนวณทางทฤษฎีพลังที่ใช้หลังการดำเนินการรวมทั้งหมดอยู่ที่ 120.301 kW สามารถลดการใช้พลังลงได้อยู่ที่ 9.216 kW การคำนวณทางทฤษฎีเป็นตัวชี้วัดให้เห็นว่า มาตรการที่จะดำเนินการปรับลดระดับแรงดันลงสามารถลดการใช้พลังงานลงได้เป็นไปตามทางทฤษฎีที่กล่าวไว้ แต่ในทางปฏิบัติผลที่ได้จะเป็นไปตามทฤษฎีที่คำนวณมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับตัวแปรอีกหลายองค์ประกอบ หลังจากการคำนวณทางทฤษฎีในการปรับลดระดับแรงดันของเครื่องอัดอากาศ จึงได้เข้าดำเนินการปรับลดแรงดันจริงที่เครื่องอัดอากาศทั้ง 5 เครื่อง ดังภาพที่ 4.24 และทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศอีกครั้งได้ผลตาม ตารางที่ 4.8

Status	เครื่องที่	แรงดัน(สตาร์ทการทำงาน)	แรงดัน(ตัดการทำงาน)
main	5	6.0 bar	7.0 bar
	1	6.1 bar	7.1 bar
	3	6.2 bar	7.2 bar
spare	2	6.5 bar	7.5 bar
	4	6.5 bar	7.5 bar

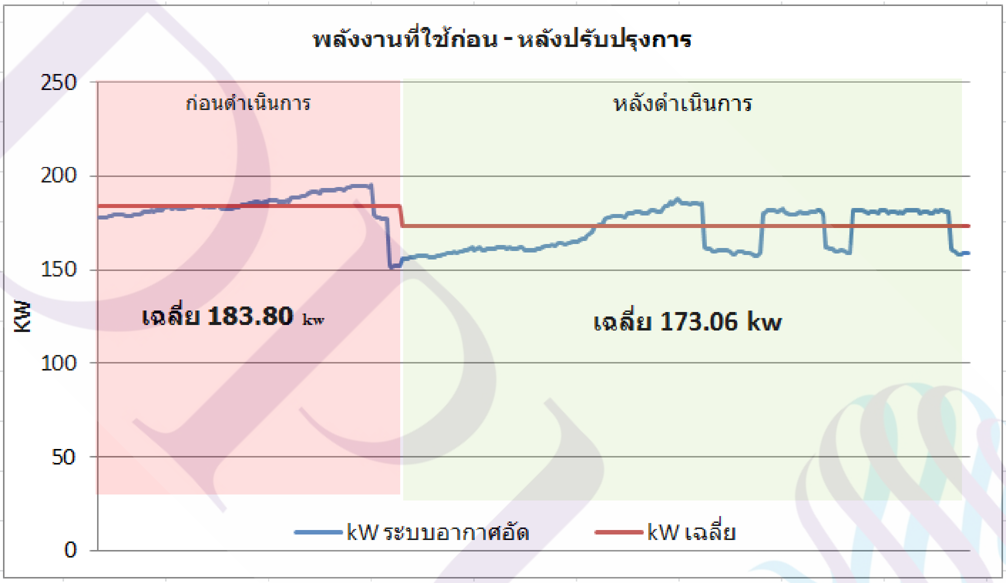
ภาพที่ 4.24 แสดงการปรับลดแรงดันที่ใช้งาน

ตารางที่ 4.8 แสดงรายละเอียดการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศหลังการปรับลดแรงดัน

รายละเอียดการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ						
เครื่องที่		1	2	3	4	5
ประเภทเครื่องอัดอากาศ		แบบสกรู	แบบสกรู	แบบสกรู	แบบสกรู	แบบสกรู
กำลังผลิตอากาศอัด (m^3/min)		5.48	5.48	5.48	5.48	5.48
พิกัดพลังไฟฟ้า (kW)		37.00	37.00	37.00	37.00	37.00
ช่วงเวลาทำการอัดอากาศ (Load) ขณะทำการทดสอบประสิทธิภาพ	แรงดันไฟฟ้า (V)	400.92	400.87	401.20	397.00	400.89
	กระแสไฟฟ้า Ir (A)	63.26	64.40	63.83	64.26	65.12
	กระแสไฟฟ้า Is (A)	63.86	64.77	63.37	63.68	62.68
	กระแสไฟฟ้า It (A)	63.07	64.29	63.23	63.75	62.06
	PF.	0.85	0.82	0.83	0.84	0.88
	พลังงานไฟฟ้า (kW)	37.42	36.72	36.61	36.99	38.67
ช่วงเวลาหยุดทำการอัดอากาศ (Unload) ขณะทำการทดสอบประสิทธิภาพ	แรงดันไฟฟ้า (V)	398.92	400.87	397.20	397.88	390.89
	กระแสไฟฟ้า Ir (A)	36.10	35.20	35.90	34.00	34.20
	กระแสไฟฟ้า Is (A)	36.00	35.00	35.20	34.10	34.10
	กระแสไฟฟ้า It (A)	36.20	35.00	35.10	34.80	34.00
	PF.	0.73	0.83	0.84	0.83	0.79
	พลังงานไฟฟ้า (kW)	18.21	20.21	20.46	19.62	18.24
ความดันใช้งานปรับตั้งสูงสุด (bar_g)		7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
ความดันใช้งานปรับตั้งต่ำสุด (bar_g)		6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
ความดันใช้งานเฉลี่ยของเครื่อง ($P_{average}$) : (bar_g)		6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
ขนาดถังเก็บอากาศอัดรวมท่ออากาศอัด Vtank (m^3)		12.97	12.97	12.97	12.97	12.97
เวลาที่ใช้อัดอากาศเข้าถังจากความดันต่ำสุดถึงสุด (วินาที)		150.90	161.10	158.20	163.10	135.30
ความดันที่ใช้ในการทดสอบสูงสุด (bar_g)		7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
ความดันที่ใช้ในการทดสอบต่ำสุด (bar_g)		6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
อัตราการผลิตอากาศ Q:(m^3/min)		5.09	4.77	4.85	4.71	5.68
ขนาดรวมของท่อก่อนจ่ายออกใช้งาน Vpipe (m3)		0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
ความดันบรรยากาศสัมบูรณ์ *Patm* (bar)		1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
การส่งอากาศอิสระของเครื่องอัดอากาศ FAD comp		5.471	5.124	5.218	5.062	6.101
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน kWonload / FADcomp (kW/(m3/min)		**6.840**	**7.165**	**7.016**	**7.307**	**6.338**

จากข้อมูลตามตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าการปรับลดแรงดันการใช้งานจากการตัดการทำงานสูงสุดที่ 8 บาร์ลดลงที่ 7 บาร์และการสตาร์ทการทำงานเครื่องอัดอากาศจาก 7 บาร์ลดลงที่ 6 บาร์สามารถการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศลงได้เป็นไปตามทฤษฎี ที่ได้มาจากการคำนวณ

สรุปการใช้พลังงานหลังดำเนินการตามมาตรการข้อที่ 4.3.2 การลดปริมาณการรั่วไหลของระบบอากาศอัดจากการใช้ Auto drian แบบ Timer และการลดปริมาณการรั่วไหลของระบบอากาศอัด จากอุปกรณ์ที่ใช้ต่อ (Fitting) & Regulator ชำรุดและข้อที่ 4.3.3 มาตรการการปรับลดแรงดันของเครื่องอัดอากาศ สามารถสรุปผลการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังปรับปรุงได้ ดังภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 แสดงการใช้พลังงานที่ใช้ก่อน – หลังดำเนินการตามมาตรการข้อที่ 4.3.2, 4.3.3

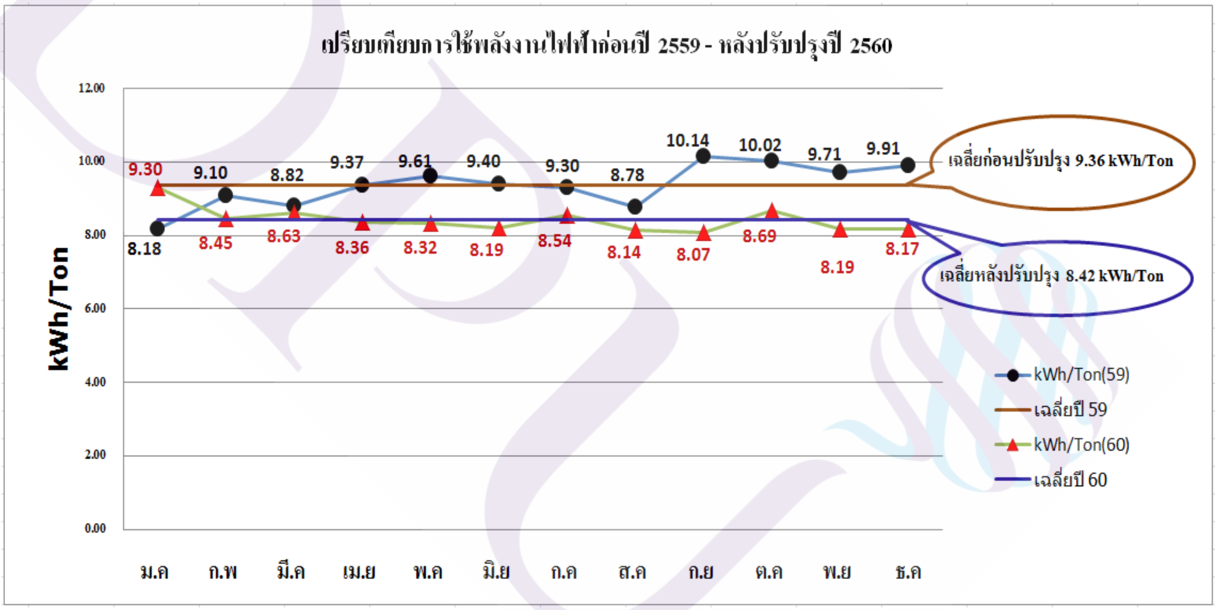
จากภาพที่ 4.18 ก่อนการดำเนินการตามมาตรการข้อที่ 4.3.2 และข้อที่ 4.3.3 จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 183.80 kW หลังจากดำเนินตามมาตรการตรวจสอบและดำเนินแก้ไข สามารถลดการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศลงได้ตามที่ทฤษฎีได้กล่าวไว้การใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศหลังการดำเนินการเฉลี่ยอยู่ที่ 173.06kW สามารถลดการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศลงได้อยู่ที่ 10.74 kW (7.38% ของการใช้พลังงานทั้งหมดทั้งปีของระบบอากาศอัด)

การผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ดของโรงงานที่ทำการศึกษาวิจัยในปี 2559 สามารถทำผลผลิตได้อยู่ที่ 111,289 ตัน มีการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงเฉลี่ยอยู่ที่ 9.36 kWh ตามข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.7 (แสดงข้อมูลการใช้พลังงานของระบบอากาศอัดต่อผลผลิตปี 2559) และ

หลังจากการดำเนินการตามมาตรการทั้ง 3 มาตรการ สามารถรวบรวมข้อมูลของปี 2560 ผลผลิตที่ได้อยู่ที่ 125,921 ตัน ตามที่แสดงในตารางที่ 4.9 มีการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงเฉลี่ยอยู่ที่ 8.42 kWh โดยมีการเปรียบเทียบได้ดังภาพที่ 4.28

ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานของระบบอากาศอัดต่อผลผลิตปี 2560

ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบอากาศอัดต่อผลผลิตที่ได้ปี 2560													
	ม.ค 60	ก.พ 60	มี.ค 60	เม.ย 60	พ.ค 60	มิ.ย 60	ก.ค 60	ส.ค 60	ก.ย 60	ต.ค 60	พ.ย 60	ธ.ค 60	เฉลี่ย
พลังงานที่ใช้(kWh)	71082.5	82911	86175	77280.5	90336.5	96665	116961	125322	104886	100870	109048	98447.5	
ปริมาณผลผลิต(Ton)	7640	9811	9985	9249	10860	10992	11753	11348	11564	11608	11136	9975	125,921.00
kWh/Ton	9.303992	8.450821	8.630446	8.365552	8.328278	8.194123	8.541544	8.143532	8.070045	8.689654	8.192385	8.179424	8.42



ภาพที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานที่ใช้ก่อนปี 2559 – หลังปรับปรุงปี 2560

4.4 ผลคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ผลจากการศึกษาการและดำเนินการแก้ไขตามมาตรการที่ได้ทำการวิจัยนำมาคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จากงบประมาณการลงทุนมูลค่าทั้งหมด 220,000 บาท และผลจากการดำเนินการสามารถลดการใช้พลังงานได้ 71.60 kW คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้อยู่ที่ 1,958,976 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน อยู่ที่ 0.11 ปี ตามรายละเอียดดังภาพที่ 4.29

Feasibility of ดำเนินการตามมาตรการ แก้ไขระบบอากาศอัด : Nongkae Plant

Description		2018	2019	2020	2021	2022
ลดพลังงานสูญเสียพลังงานของระบบอากาศอัด						
พลังงานสูญเสียหากไม่ดำเนินการตามมาตรการจากการวิจัย						
คิดเป็นพลังงานสูญเสีย(kW)		20.17	20.17	20.17	20.17	20.17
คิดเป็นมูลค่า 20.17 kW x 300 day/year x 24 hr/day x 3.8 baht/kWh		551,851	551,851	551,851	551,851	551,851
รวม Benefits ทั้งหมด		**551,851**	**551,851**	**551,851**	**551,851**	**551,851**
Investment :						
อุปกรณ์		(220,000)				
Net Benefits (Free cash flow)		**331,851.00**	**551,851**	**551,851**	**551,851**	**551,851**
IRR	**-220000**	**551,851**	**518,170**	**486,545**	**456,849**	**428,967**
Net Present Value (NPV)		**331,851**	**518,170**	**486,545**	**456,849**	**428,967**

*% Growth (Cost)อ้างอิงจากอัตราเงินเฟ้อ
ณ 16 ม.ค. 60

https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/Documents/PressMPC_62560_5Y8J9.pdf

NPV 5 years	**2,222,381**	**THB**
Capital	**220,000**	**THB**
Payback period	**0.40**	**Year**
IRR 5 years	**244.4%**	

Notes :

rate NPV *6.5%*

อัตราดอกเบี้ย MLR 6.5% ของธนาคารกรุงเทพ
https://www.bot.or.th/thai/statistics/_layouts/application/interest_rate/in_rate.aspx

ภาพที่ 4.27 การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ที่มา : จากหน่วยงานควบคุมดูแลค่าใช้จ่ายและงบประมาณของทางบริษัทเจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน)

4.5 อภิปรายผลงานวิจัย

ตามที่ อัจฉราภรณ์ ฟักแสง (2558) ได้ทำการ ศึกษาแนวทางในการประหยัดพลังงานลมอัดในอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้ว ประกอบ เอี่ยมสอาด (2549) ทำการศึกษาวิเคราะห์มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด 23 โรงงาน สรุศักดิ์ เรืองศรี (2555) ทำการศึกษามาตรการในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา โดยทั้ง 3 งานวิจัย ได้นำมาตรการลดอัตราการรั่วไหลของระบบอากาศอัดมาใช้ การดำเนินการตามมาตรการนี้สามารถประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เป็นมาตรการที่ใช้เงินลงทุนน้อยและประหยัดพลังงานได้จริง ดังนั้นอุตสาหกรรมประเภทต่างๆที่มีการใช้พลังงานลมเช่น อุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์น้ำและสัตว์บก อุตสาหกรรมอาหารคน อุตสากรรมผลิตขวดแก้ว อุสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่ม เป็นต้น สามารถนำมาตรการนี้เข้าดำเนินการได้ทันทีเพื่อลดความสูญเสียของพลังงานและค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น เพิ่มผลกำไรให้กับทางบริษัท

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัย

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบอากาศอัดของโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด ค้นหาสภาพปัญหาเพื่อหามาตรการที่มีความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กำหนดมาตรการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันที่ยั่งยืน อีกทั้งยังทำให้สามารถลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า ลดต้นทุนการผลิตของโรงงานได้

จากการดำเนินงานวิจัยโดยทำการรวบรวมข้อมูลระบบอากาศอัดเพื่อหาสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่อง อีกทั้งวิเคราะห์ค้นหาด้วยเครื่องมือ 7 Wastes และ Why Why analysis สามารถกำหนดมาตรการการดำเนินงานได้ 3 มาตรการคือ (1) มาตรการการจัดลำดับการทำงานของเครื่องอัดอากาศตามประสิทธิภาพโดยให้เครื่องที่ประสิทธิภาพดีที่สุดทำงานเป็นเครื่องแรกและเครื่องที่ประสิทธิภาพต่ำที่สุดทำงานเป็นเครื่องสำรองเครื่องสุดท้าย สามารถลดการใช้พลังงานลงได้อยู่ที่ 9.43 kW (6.48% ของการใช้พลังงานทั้งหมดทั้งปีของเครื่องอัดอากาศ) (2) มาตรการลดการรั่วไหลระบบอากาศอัดและ (3) มาตราการลดแรงดันของเครื่องอัดอากาศสามารถลดการใช้พลังงานลงได้อยู่ที่ 10.74 kW (7.38 % ของการใช้พลังงานทั้งหมดทั้งปีของเครื่องอัดอากาศ) หากดำเนินการทั้ง 3 มาตรการ พบว่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 551,851 บาทต่อปี งบประมาณลงทุน 220,000 บาทและมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 0.4 ปี และลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยปริมาณผลผลิตคือ พลังงานที่ใช้เฉลี่ยอยู่ที่ 9.36 kWh ผลผลิตที่ได้อยู่ที่ 111,289 ตัน ปี 2559 ลดพลังงานที่ใช้ลงเฉลี่ยอยู่ที่ 8.42 kWh (10.04% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตปี 2560) และผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 125,921 ตัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการตรวจสอบข้อมูลเพื่อหาสมรรถนะและประสิทธิภาพพบว่าบางจุดเข้าทำการตรวจสอบได้ยากจึงควรจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ Flow Meter เพื่อให้สะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล

5.2.2 สามารถนำมาตรการ การลดแรงดันอากาศอัดไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทอื่นได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

คู่มือการอนุรักษพลังงานระบบอากาศอัด. (2560).*กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน*.สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยขอนแก่น

จลนศาสตร์และสมการของของไหล เรียบเรียงโดย ผศ.ดร.ปรียาพร โกษา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (โรงงาน). (2553).

TCR คู่มือการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ หมายเลข 7 การใช้พลังงานในเครื่องอัดอากาศคู่มือฝึกอบรม การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

การออกแบบระบบท่อทางวิศวกรรม ดุลยโชติ ชลศึกษ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2557).

อัจฉราภรณ์ ฟักแสง. (2558).*การจัดการพลังงานของระบบอากาศอัดในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตขวดแก้ว*.วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกอบ เอี่ยมสอาด. (2549).*การบริหารจัดการพลังงานในระบบอากาศอัดของโรงงานอุตสาหกรรม*.วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สุรศักดิ์ เรื่องศรี,ปฏิวุฒิ ช่วยประดิษฐ์,อัศวิน คงทัพและนิติพันธ์ คุณประเสริฐ. (2554).*การอนุรักษ์พลังงานโดยการประยุกต์ใช้หลักการจัดการทางวิศวกรรมในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่*.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โกวิทย์ รัตนารามิก. (2556).*มาตรการประหยัดพลังงานในระบบอากาศอัดภายในโรงงานอุตสาหกรรม*.วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สรินรัช รัตนบุรี. (2550).*การศึกษาวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัด ณ ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมในรูปแบบต่าง*.วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาชนีย์ ฤทธิบุญ. (2557).*การลดต้นทุนพลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิค: กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์*.วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน (สหสาขาวิชา)บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

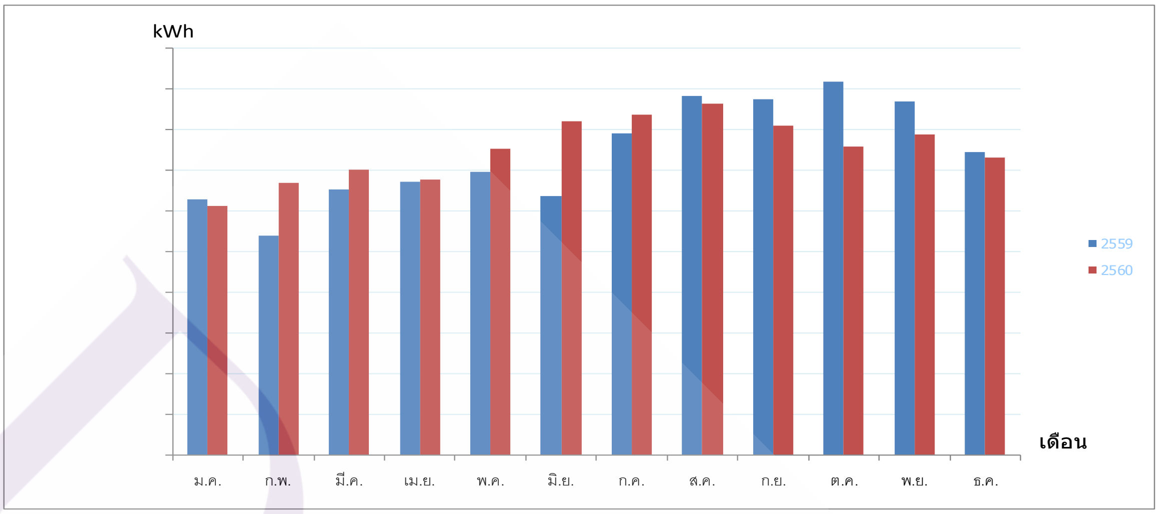
ปารุวัฒน์ ชูวงศ์. (2558).*การลดพลังงานไฟฟ้าในโรงงานตัดเหล็กแผ่น*.สาขาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตพัฒนาการ

ภาคผนวก

รายงานการจัดการพลังงานข้อที่ 4.1

4.1 การประเมินระดับองค์กร

ก. เปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงาน

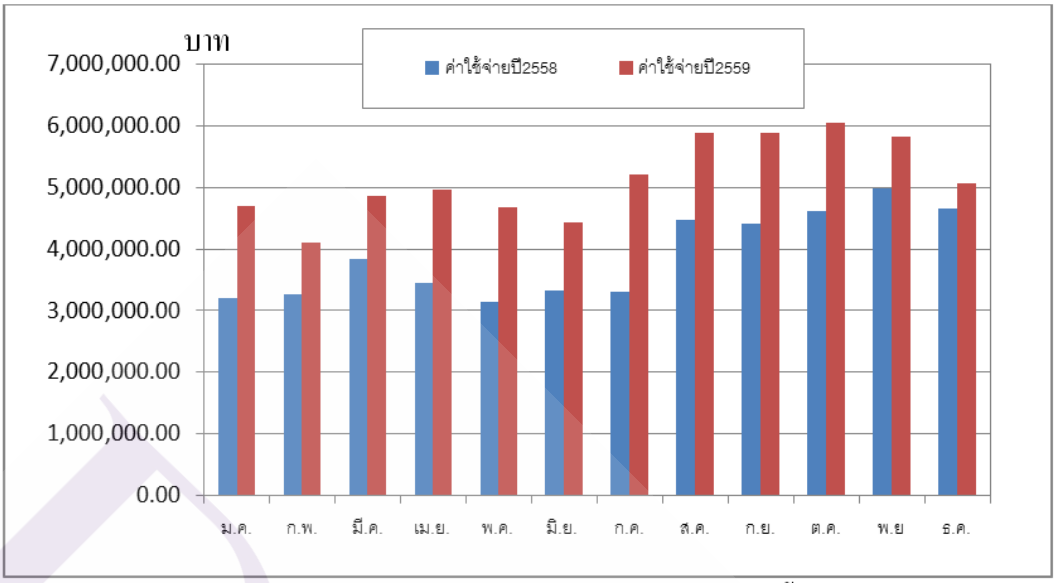


รูปที่ 4-1 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน ปี 2559 และ 2560

กรณี มี 1 บิลไฟฟ้า

ไฟฟ้า (kWh)	2559	2560
ม.ค.	1,256,320	1,225,520.00
ก.พ.	1,076,080	1,334,800.00
มี.ค.	1,303,760	1,400,840.00
เม.ย.	1,344,000	1,355,440.00
พ.ค.	1,392,560	1,506,400.00
มิ.ย.	1,272,400	1,640,800.00
ก.ค.	1,581,440	1,673,440.00
ส.ค.	1,761,600	1,724,560.00
ก.ย.	1,748,960	1,619,120.00
ต.ค.	1,836,960	1,515,360.00
พ.ย.	1,736,080	1,575,000.00
ธ.ค.	1,485,600	1,458,800.00

ข้อมูลค่าใช้จ่าย



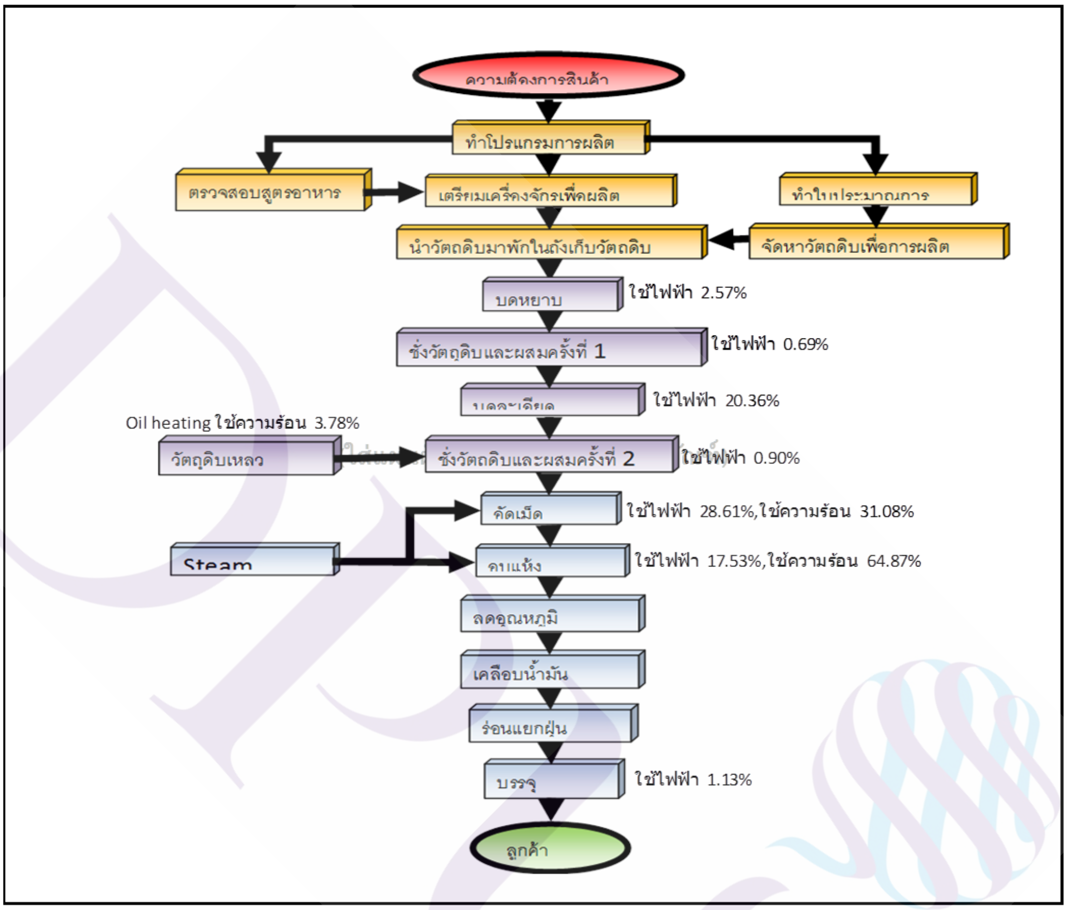
พลังงานไฟฟ้าปี 2558 - 2559 ของโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำชนิดเม็ด

รายงานการจัดการพลังงานข้อที่ 4.2

4.2 การประเมินระดับผลิตภัณฑ์

4.2.1 ผลิตภัณฑ์ที่ 1 (ระบุได้มากกว่า 1 ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้พลังงานรวมกันสูงเกินกว่า 80% ของการใช้พลังงานทั้งหมด)

กระบวนการผลิต



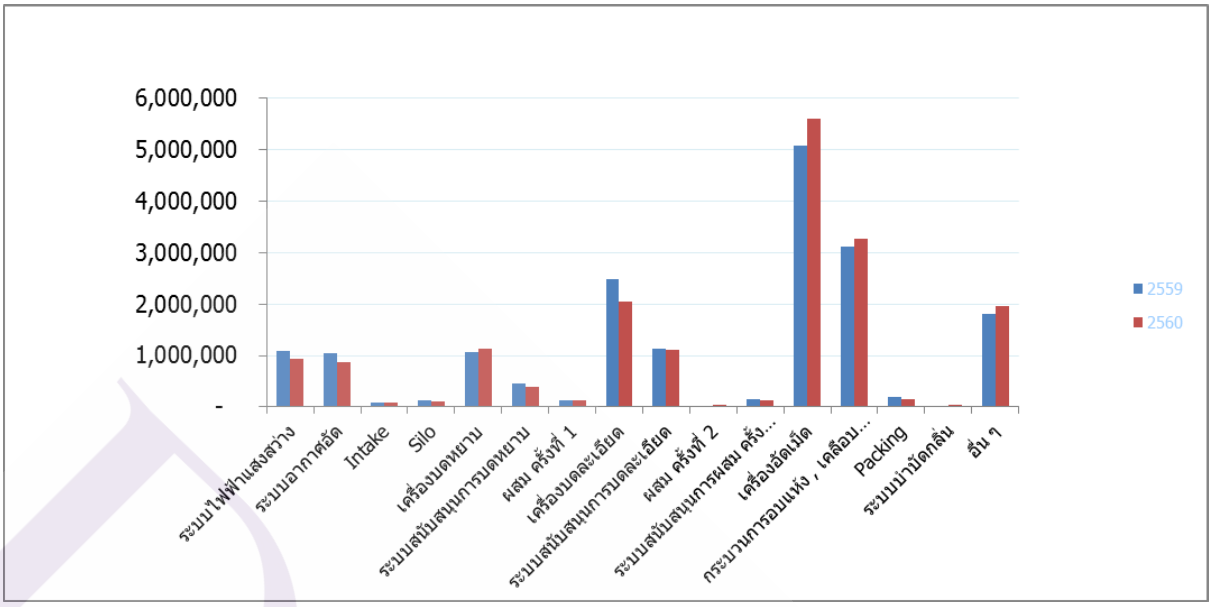
รูปที่ 4-8 แผนผังกระบวนการผลิต……………………

คำอธิบายกระบวนการผลิต

เริ่มต้นจากหน่วยงานการตลาดแจ้งความต้องการของลูกค้าในแต่ละแบรนด์ผ่านทางหน่วยงานสถิติวางแผน จากนั้นจึงประมาณการในการผลิตมายังหน่วยงานผลิตเพื่อที่จะทำการประมาณการใช้วัตถุดิบพื่อสั่งซื้อวัตถุดิบมาใช้ในการผลิตต่อไป ในขั้นตอนการผลิตเริ่มต้นจากการรับวัตถุดิบ การบดหยาบ การผสมครั้งที่ 1 การบดละเอียด การผสมครั้งที่ 2 การอัดเม็ด การทำให้แห้ง การเคลือบน้ำมัน การลดอุณภูมิ การร่อนฝุ่น และการบรรจุอาหารเพื่อส่งมอบตามความต้องการของลูกค้า

หมายเหตุ กรณีมีหลายผลิตภัณฑ์ให้เพิ่มแผนผังกระบวนการผลิตตามจำนวนของผลิตภัณฑ์หลัก

สัดสวนการใช้พลังงาน จากรายงานการจัดการพลังงาน(2560)



สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าแต่ละระบบ (kWh)	ปี 2558	ปี 2559
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	778,832.44	1,096,528.38
ระบบอากาศอัด	1,034,600.75	1,046,789.00
Intake	79,853.31	89,700.94
Silo	113,586.88	121,805.75
เครื่องบดหยาบ	1,005,565.38	1,072,878.75
ระบบสนับสนุนการบดหยาบ	416,494.19	458,080.50
ผสม ครั้งที่ 1	107,057.50	123,397.50
เครื่องบดละเอียด	2,159,986.83	2,483,756.11
ระบบสนับสนุนการบดละเอียด	988,640.31	1,138,137.13
ผสม ครั้งที่ 2	39,888.34	18,311.44
ระบบสนับสนุนการผสม ครั้งที่ 2	120,672.50	143,231.75
เครื่องอัดเม็ด	4,769,297.00	5,090,696.00
กระบวนการอบแห้ง , เคลือบน้ำมัน และลด	2,908,390.75	3,119,823.50
Packing	215,870.81	200,677.50
ระบบบำบัดกลิ่น	242,143.75	24,000.00
อื่น ๆ	1,509,839.27	1,567,945.77

ข้อมูลเปรียบเทียบจากรายงานการจัดการพลังงาน (2560)

ปี2559	
1,096,528.38	6.16%
1,046,789.00	5.88%
89,700.94	0.50%
121,805.75	0.68%
1,072,878.75	6.03%
458,080.50	2.57%
123,397.50	0.69%
2,483,756.11	13.96%
1,138,137.13	6.40%
18,311.44	0.10%
143,231.75	0.80%
5,090,696.00	28.61%
3,119,823.50	17.53%
200,677.50	1.13%
24,000.00	0.13%
1,802,265.77	10.13%

ปี 2560	
940,940.62	5.22%
862,093.00	4.78%
94,886.25	0.53%
116,840.44	0.65%
1,131,104.81	6.27%
395,176.56	2.19%
123,872.13	0.69%
2,051,888.92	11.38%
1,101,684.13	6.11%
38,912.17	0.22%
136,370.25	0.76%
5,599,975.00	31.06%
3,276,988.50	18.18%
152,067.88	0.84%
43,347.50	0.24%
1,963,931.85	10.89%

ตารางข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในรอบปี 2559

หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า 9801-020001102646 **หมายเลขเครื่องวัดไฟฟ้า** 23060249

เดือน	พลังไฟฟ้าสูงสุด				พลังงานไฟฟ้า		ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)	ค่าตัวประกอบภาระ (เปอร์เซนต์)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
	P (กิโลวัตต์)	PP/OP1 (กิโลวัตต์)	OP/OP2 (กิโลวัตต์)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ปริมาณ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าใช้จ่าย (บาท)			
ม.ค.	2,752	3,272	3,224	365,823.36	1,256,320.00	4,447,340.27	4,694,129.49	51.61	3.74
ก.พ.	2,704	3,080	3,104	359,442.72	1,076,080.00	3,884,089.66	4,100,708.47	51.59	3.81
มี.ค.	2,824	3,264	3,160	375,394.32	1,303,760.00	4,615,407.78	4,871,525.21	53.69	3.74
เม.ย.	3,128	3,136	3,216	415,805.04	1,344,000.00	4,697,410.26	4,957,201.14	58.04	3.69
พ.ค.	3,000	3,176	3,152	398,790.00	1,392,560.00	4,835,389.59	4,677,832.82	58.93	3.36
มิ.ย.	3,008	3,152	3,160	399,853.44	1,272,400.00	4,565,875.66	4,432,254.26	55.92	3.48
ก.ค.	3,016	3,176	3,120	400,916.88	1,581,440.00	5,397,637.26	5,211,927.77	66.93	3.30
ส.ค.	3,040	3,080	3,096	404,107.20	1,761,600.00	6,099,073.12	5,898,521.03	76.48	3.35
ก.ย.	3,144	3,296	3,128	417,931.92	1,748,960.00	5,496,168.02	5,880,899.78	73.70	3.36
ต.ค.	3,032	3,208	3,256	403,043.76	1,836,960.00	6,265,702.54	6,049,971.06	75.83	3.29
พ.ย	2,880	3,016	2,960	382,838.40	1,736,080.00	6,019,548.60	5,822,520.10	79.95	3.35
ธ.ค.	3,040	3,032	2,928	404,107.20	1,485,600.00	5,237,686.75	5,075,149.65	65.68	3.42
รวม				4,728,054.24	17,795,760.00	61,561,329.51	61,672,640.78		
เฉลี่ย				394,004.52	1,482,980.00	5,130,110.79	5,139,386.73	61.63	3.47

หมายเหตุ: กรณีอัตรา ปกติ ให้กรอกค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด (On Peak) ในช่อง P

กรณีอัตรา TOD: P หมายถึง On Peak / PP หมายถึง Partial Peak / OP หมายถึง Off Peak

กรณีอัตรา TOU: P หมายถึง Peak / OP1 หมายถึง Off Peak1 / OP2 หมายถึง Off Peak2

กรณีโรงงานมีเครื่องวัดไฟฟ้ามากกว่า 1 เครื่องให้เพิ่มจำนวนตารางแสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าตามจำนวนของเครื่องวัดไฟฟ้า

$$\text{ค่าตัวประกอบภาระ} = \left(\frac{\text{kWh}}{[\text{Peak Max (kW)} \times 24(\text{Hr}) \times \text{จำนวนวันในแต่ละเดือน}]}\right) \times 100\%$$

ตารางข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในรอบปี 2560

หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า 9801-020001102646 **หมายเลขเครื่องวัดไฟฟ้า** 23060249

เดือน	พลังไฟฟ้าสูงสุด				พลังงานไฟฟ้า		ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)	ค่าตัวประกอบภาระ (เปอร์เซนต์)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
	P (กิโลวัตต์)	PP/OP1 (กิโลวัตต์)	OP/OP2 (กิโลวัตต์)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ปริมาณ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าใช้จ่าย (บาท)			
ม.ค.	2,944	2,896	2,904	391,345.92	1,225,520.00	3,981,019.66	4,259,691.04	55.95	3.48
ก.พ.	2,704	2,976	3,040	359,442.72	1,334,800.00	4,189,649.74	4,482,925.22	65.34	3.36
มี.ค.	2,912	3,080	3,056	387,092.16	1,400,840.00	4459.727.58	4,771,908.51	61.13	3.41
เม.ย.	2,840	2,944	2,960	377,521.20	1,355,440.00	4,138,128.14	4,427,797.11	63.60	3.27
พ.ค.	2,888	3,024	2,960	383,901.84	1,506,400.00	4,884,628.29	5,226,552.27	66.96	3.47
มิ.ย.	2,944	3,000	2,920	391,345.92	1,640,800.00	5,076,908.91	5,432,292.63	75.96	3.31
ก.ค.	2,992	3,088	3,024	397,726.56	1,673,440.00	5,419,564.48	5,798,933.99	72.84	3.47
ส.ค.	2,928	2,960	3,040	389,219.04	1,724,560.00	5,575,416.77	5,965,695.94	76.25	3.46
ก.ย.	2,944	2,984	3,048	391,345.92	1,619,120.00	5,350,938.73	5,725,504.44	73.78	3.54
ต.ค.	2,768	2,864	2,832	367,950.24	1,515,360.00	4,961,601.30	5,305,913.35	71.12	3.50
พ.ย	2,696	2,848	2,944	358,379.28	1,575,000.00	5,265,434.54	5,634,014.96	74.30	3.58
ธ.ค.	2,760	2,928	2,912	366,886.80	1,458,800.00	4,866,316.14	5,206,958.27	66.97	3.57
รวม				4,562,157.60	18,030,080.00	53,709,606.70	62,238,187.73		
เฉลี่ย				380,179.80	1,502,506.67	4,882,691.52	5,186,515.64	66.65	3.45

หมายเหตุ: กรณีอัตรา ปกติ ให้กรอกค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด (On Peak) ในช่อง P

กรณีอัตรา TOD: P หมายถึง On Peak / PP หมายถึง Partial Peak / OP หมายถึง Off Peak

กรณีอัตรา TOU: P หมายถึง Peak / OP1 หมายถึง Off Peak1 / OP2 หมายถึง Off Peak2

กรณีโรงงานมีเครื่องวัดไฟฟ้ามากกว่า 1 เครื่องให้เพิ่มจำนวนตารางแสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าตามจำนวนของเครื่องวัดไฟฟ้า

$$\text{ค่าตัวประกอบภาระ} = \left(\frac{\text{kWh}}{[\text{Peak Max(kW)} \times 24\text{(Hr)} \times \text{จำนวนวันในแต่ละเดือน}]}\right) \times 100\%$$

ตารางสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบปี 2559

ระบบ	**การใช้พลังงานไฟฟ้า**	
	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี	**ร้อยละ**
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	1,096,528.38	6.16%
ระบบอากาศอัด	1,046,789.00	5.88%
Intake	89,700.94	0.50%
Silo	121,805.75	0.68%
เครื่องบดหยาบ	1,072,878.75	6.03%
ระบบสนับสนุนการบดหยาบ	458,080.50	2.57%
ผสม ครั้งที่ 1	123,397.50	0.69%
เครื่องบดละเอียด	2,483,756.11	13.96%
ระบบสนับสนุนการบดละเอียด	1,138,137.13	6.40%
ผสม ครั้งที่ 2	18,311.44	0.10%
ระบบสนับสนุนการผสม ครั้งที่ 2	143,231.75	0.80%
เครื่องอัดเม็ด	5,090,696.00	28.61%
กระบวนการอบแห้ง , เคลือบ	3,119,823.50	17.53%
Packing	200,677.50	1.13%
ระบบบำบัดกลิ่น	24,000.00	0.13%
อื่น ๆ	1,802,265.77	10.13%
รวม	17,795,760.00	101.32%

หมายเหตุ : วัดจากเลขมิเตอร์

ตารางประเมิน/ตรวจวัดสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า

ระบบ	รายละเอียด	ขนาด	หน่วย	จำนวน	เลขมิเตอร์ 1 ม.ค. 58	เลขมิเตอร์ 1 ม.ค. 59	รวม kWh/ปี	หมายเหตุ
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	DB-3 LIGHTING FEED MILL	-	-	-	2,800,022	3,207,460	407,439	
	DB-4 LIGHTING MIXER ,EXT,FG	-	-	-	596,972	741,692	144,720	
	DB-1 LIGHTING BAG RAW MAT.	-	-	-	528,692	636,806	108,115	
	DB-2 LIGHTING FINISH PRO.	-	-	-	442,322	560,881	118,559	
ระบบอากาศอัด	DB-5 แบบสกรู	37.00	kW	5	3,095,321	4,129,922	1,034,601	
Intake	MCC-11 INTAKE 1	-	-	-	425,618	438,145	12,527	
	MCC-13 INTAKE 3	-	-	-	671,498	738,824	67,326	
Silo	MCC-10A Chain and Screw conveyor	-	-	-	276,404	389,990	113,587	
เครื่องบดหยาบ	M.1025 HAMMERMILL	160.00	kW	1	1,171,893	1,302,711	130,818	
	M.2103 HAMMERMILL	160.00	kW	1	1,307,555	1,546,198	238,643	
	M.2133 HAMMERMILL	160.00	kW	1	1,529,025	1,744,753	215,728	
	M.2305 HAMMERMILL	160.00	kW	1	1,339,953	1,658,670	318,717	
	M.2331 HAMMERMILL	160.00	kW	1	428,823	530,483	101,660	
ระบบสนับสนุนการบดหยาบ	MCC - 2A COARSE GRINDING - 1	-	-	-	1,168,158	1,283,768	115,609	
	MCC - 2C COARSE GRINDING - 3	-	-	-	667,294	784,678	117,385	
	MCC - 15 REMIX	-	-	-	1,557,350	1,740,850	183,500	
ผสม ครั้งที่ 1	MCC - 3A BATCHING - 1	-	-	-	979,148	1,086,206	107,058	
เครื่องบดละเอียด	M.5103 HAMMERMILL	160.00	kW	1	1,561,386	1,654,323	92,936	
	M.5107 HAMMERMILL	160.00	kW	1	1,582,689	1,669,976	87,288	
	M.5125 STOLZ 1	160.00	kW	1	404,200	698,557	294,357	
	M.5236 STOLZ 2	160.00	kW	1	793,128	1,107,276	314,148	
	M.5335 STOLZ 3	160.00	kW	1	822,178	1,150,914	319,332	
	M.5203 MICRO ATOM	185.00	kW	1	1,866,453	2,179,426	312,973	
	M.5207 MICRO ATOM	185.00	kW	1	3,582,452	3,819,727	237,275	
	M.5303 MICRO ATOM	185.00	kW	1	2,845,726	2,845,726	0	
	M.5307 MICRO ATOM	185.00	kW	1	3,808,268	4,309,947	501,679	
ระบบสนับสนุนการบดละเอียด	MCC - 5A FINE GRINDING 1	-	-	-	2,148,901	2,460,874	311,973	
	MCC - 5B FINE GRINDING 2	-	-	-	3,519,310	3,877,608	358,298	
	MCC - 5C FINE GRINDING 3	-	-	-	904,596	1,222,966	318,370	
ผสม ครั้งที่ 2	MCC - 3B BATCHING - 2	-	-	-	199,054	238,942	39,888	
ระบบสนับสนุนการผสม ครั้งที่ 2	MCC - 4A MIXER - 2	-	-	-	2,252,204	2,372,876	120,673	
เครื่องอัดเม็ด	M.6111 EXTRUDER -1	315.00	kW	1	11,282,814	12,962,266	1,679,452	
	M.6211 EXTRUDER -2	315.00	kW	1	11,123,567	12,650,725	1,527,158	
	M.6311 EXTRUDER -3	315.00	kW	1	9,733,390	11,296,077	1,562,687	
กระบวนการอบแห้ง , เคลือบน้ำมัน และลดอุณหภูมิ	MCC-61 Line 1	-	-	-	7,315,427	8,349,255	1,033,829	
	MCC-62 Line 2	-	-	-	6,627,419	7,583,988	956,569	
	MCC-63 Line 3	-	-	-	3,323,644	4,241,638	917,993	
Packing	PACKING	-	-	-	1,031,901	1,247,772	215,871	
ระบบบำบัดกลิ่น	MCC-2B	-	-	-	2,494,121	2,736,264	242,144	
อื่น ๆ	Office , Engineering , Boiler , Dormitory	-	-	-	-	-	1,802,266	

ตารางสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบปี 2560

ระบบ	**การใช้พลังงานไฟฟ้า**	
	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี	**ร้อยละ**
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	940,940.62	5.22%
ระบบอากาศอัด	862,093.00	4.78%
Intake	94,886.25	0.53%
Silo	116,840.44	0.65%
เครื่องบดหยาบ	1,131,104.81	6.27%
ระบบสนับสนุนการบดหยาบ	395,176.56	2.19%
ผสม ครั้งที่ 1	123,872.13	0.69%
เครื่องบดละเอียด	2,051,888.92	11.38%
ระบบสนับสนุนการบดละเอียด	1,101,684.13	6.11%
ผสม ครั้งที่ 2	38,912.17	0.22%
ระบบสนับสนุนการผสม ครั้งที่ 2	136,370.25	0.76%
เครื่องอัดเม็ด	5,599,975.00	31.06%
กระบวนการอบแห้ง , เคลือบ	3,276,988.50	18.18%
Packing	152,067.88	0.84%
ระบบบำบัดกลิ่น	43,347.50	0.24%
อื่น ๆ	1,963,931.85	10.89%
รวม	18,030,080.00	100.00%

หมายเหตุ : วัดจากเลขมิเตอร์

ตารางประเมิน/ตรวจวัดสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า

ระบบ	รายละเอียด	ขนาด	หน่วย	จำนวน	เลขมิเตอร์ 1 ม.ค. 60	เลขมิเตอร์ 1 ม.ค. 61	รวม kWh/ปี	หมายเหตุ
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	DB-3 LIGHTING FEED MILL	-	-	-	3,843,411	3,945,048	101,637	
	DB-4 LIGHTING MIXER ,EXT,FG	-	-	-	970,777	1,166,365	195,588	
	DB-1 LIGHTING BAG RAW MAT.	-	-	-	740,719	1,038,319	297,600	
	DB-2 LIGHTING FINISH PRO.	-	-	-	688,461	1,034,577	346,116	
ระบบอากาศอัด	DB-5 แบบสกรู	37.00	kW	5	5,176,711	6,038,804	862,093	
Intake	MCC-11 INTAKE 1	-	-	-	452,000	468,923	16,923	
	MCC-13 INTAKE 3	-	-	-	814,670	892,633	77,963	
Silo	MCC-10A Chain and Screw conveyor	-	-	-	511,796	628,637	116,840	
เครื่องบดหยาบ	M.1025 HAMMERMILL	160.00	kW	1	1,374,830	1,468,725	93,895	
	M.2103 HAMMERMILL	160.00	kW	1	1,783,061	1,950,430	167,369	
	M.2133 HAMMERMILL	160.00	kW	1	1,982,840	2,208,125	225,285	
	M.2305 HAMMERMILL	160.00	kW	1	1,982,683	2,329,260	346,577	
	M.2331 HAMMERMILL	160.00	kW	1	732,279	1,030,258	297,980	
ระบบสนับสนุนการบดหยาบ	MCC - 2A COARSE GRINDING - 1	-	-	-	1,443,147	1,566,663	123,516	
	MCC - 2C COARSE GRINDING - 3	-	-	-	943,389	1,135,590	192,201	
	MCC - 15 REMIX	-	-	-	1,880,841	1,960,301	79,460	
ผสม ครั้งที่ 1	MCC - 3A BATCHING - 1	-	-	-	1,209,603	1,333,475	123,872	
เครื่องบดละเอียด	M.5103 HAMMERMILL	160.00	kW	1	1,755,043	1,817,438	62,395	
	M.5107 HAMMERMILL	160.00	kW	1	1,754,212	1,863,304	109,091	
	M.5125 STOLZ 1	160.00	kW	1	1,065,747	1,423,369	357,622	
	M.5236 STOLZ 2	160.00	kW	1	1,482,406	1,836,566	354,160	
	M.5335 STOLZ 3	160.00	kW	1	1,535,230	1,870,189	319,332	
	M.5203 MICRO ATOM	185.00	kW	1	2,179,426	2,199,436	20,010	
	M.5207 MICRO ATOM	185.00	kW	1	3,819,727	4,222,718	402,991	
	M.5303 MICRO ATOM	185.00	kW	1	2,845,726	3,122,814	277,088	
	M.5307 MICRO ATOM	185.00	kW	1	4,309,947	4,459,147	149,200	
ระบบสนับสนุนการบดละเอียด	MCC - 5A FINE GRINDING 1	-	-	-	2,828,243	3,200,152	371,909	
	MCC - 5B FINE GRINDING 2	-	-	-	4,282,665	4,658,130	375,466	
	MCC - 5C FINE GRINDING 3	-	-	-	1,588,677	1,942,987	354,310	
ผสม ครั้งที่ 2	MCC - 3B BATCHING - 2	-	-	-	257,253	296,166	38,912	
ระบบสนับสนุนการผสม ครั้งที่ 2	MCC - 4A MIXER - 2	-	-	-	2,516,108	2,652,478	136,370	
เครื่องอัดเม็ด	M.6111 EXTRUDER -1	315.00	kW	1	14,743,117	16,697,601	1,954,484	
	M.6211 EXTRUDER -2	315.00	kW	1	14,228,655	16,065,852	1,837,197	
	M.6311 EXTRUDER -3	315.00	kW	1	13,027,992	14,836,286	1,808,294	
กระบวนการอบแห้ง , เคลือบน้ำมัน และลดอุณหภูมิ	MCC-61 Line 1	-	-	-	9,443,401	10,583,661	1,140,260	
	MCC-62 Line 2	-	-	-	8,628,772	9,712,049	1,083,277	
	MCC-63 Line 3	-	-	-	5,222,531	6,275,983	1,053,452	
Packing	PACKING	-	-	-	1,472,449	1,648,517	152,068	
ระบบบำบัดกลิ่น	MCC-2B	-	-	-	2,736,265	2,779,613	43,348	
อื่น ๆ	Office , Engineering , Boiler , Dormitory	-	-	-	-	-	1,963,932	

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายสันติ บุญนา
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2552 ปริญญาตรีสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา อาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ตำแหน่งงานและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	ผู้จัดการแผนกบริหารงานวิศวกรรม บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน)