

การศึกษาวิเคราะห์เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในระบบอากาศอัด

ANALYTICAL STUDY FOR REDUCE ENERGY LOSS IN COMPRESSED AIR SYSTEMS

สุนทร แสงเพชร^{1*} และ ธัชพรณ หนูเนียม¹Soonthorn Sangpetch^{1*} and Thachapan Nooniem¹

Received: February 8, 2024

Revised: March 27, 2024

Accepted: April 7, 2024

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีจัดการอุตสาหกรรมและพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพมหานครบุรี*Corresponding Author Email: soonthorn.sae@bkkthn.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบลมและการสูญเสียแรงดันลมในระบบการจ่าย เนื่องด้วยระบบอัดอากาศเป็นเครื่องมือและแหล่งกำเนิดในกระบวนการผลิตแรงดันลมเพื่อส่งต่อให้เครื่องมือเครื่องจักรเครื่องทุ่นแรงอื่นๆ ในระบบ Pneumatics ระบบควบคุมเครื่องมือวัด และระบบลำเลียงด้วยลม ระบบอัดอากาศนำไปใช้ประโยชน์เพื่อลดแรงในการทำงานของมนุษย์ในกระบวนการผลิตหลายกระบวนการ จำเป็นต้องมีการใช้งานอากาศอัดสำหรับอุปกรณ์ Pneumatics ต่างๆ เช่น Air Cylinder ปืนลม เครื่องขัด เครื่องเจาะ เครื่องพ่น และการลำเลียง ตลอดจนเป็นส่วนประกอบในการใช้งานของเครื่องจักรอัตโนมัติต่างๆ เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบมีขนาดตั้งแต่ ¼ แรงม้าขึ้นไป แต่ที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีขนาดตั้งแต่ 5–15 แรงม้า (3.7–11.0 กิโลวัตต์) การทำวิจัยครั้งนี้ทำวิจัยเฉพาะ เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบที่ใช้มานาน 9 ปี Air pump แบบสายพาน PP310A 10HP 3 สูบ 260 ลิตร 380V ผลการวิจัยพบว่า พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง 21,060 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง 19,699 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี พลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดได้ 1,361 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นร้อยละ 6.46

คำสำคัญ: บั้มลม ลูกสูบ แรงม้า

Abstract

This research is to improve the efficiency of the air system and the loss of air pressure in the distribution system because the compressed air system is the tool and source in the air pressure production process. To pass on to other power-saving machinery and equipment in the pneumatic system and measuring instrument control system. Pneumatic conveyor systems are used to reduce human effort in many production processes. Compressed air is required for various pneumatic equipment such as air cylinders, air guns, polishing machines, drilling machines, spraying machines and conveying machines, as well as being a component in the use of various automatic machines. Reciprocating air compressors have sizes ranging from ¼ horsepower and up, but those commonly used in industrial plants have sizes ranging from 5–15 horsepower (3.7–11.0 kW). This research was conducted specifically. Piston air compressor that has been used for 9 years. Belt-type air pump, PP310A 10HP 3 cylinders 260 liters, 380V. The research results found that electrical energy used before the renovation was 21,060 kWh/year, and electrical energy used after the renovation was 19,699 kWh/year. Electrical energy can be reduced to 1,361 kWh/year, accounting for 6.46%.

Keywords: Air Pump, Piston, Horsepower

1. บทนำ

เครื่องอัดอากาศ มีหน้าที่หลักในการเพิ่มความดันของอากาศจากความดันบรรยากาศปกติ (ประมาณ 1 บาร์) ให้สูงขึ้นตามความต้องการใช้งาน ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักใช้งานที่ความดันในช่วง 4–7 บาร์ โดยอาศัยหลักการลดปริมาตรของอากาศลง ส่งผลให้มีความดันเพิ่มขึ้นและในการทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกวิเคราะห์เฉพาะแบบลูกสูบเนื่องจากโรงงานต้นแบบมีไว้ใช้งาน โดยปรกติระบบอัดอากาศมีหลายชนิดคือ แบบลูกสูบ แบบสกรู แบบโรตารีเวน แบบหมุนเหวี่ยง ฯลฯ ซึ่งมากกว่า 80% ของโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการใช้งานเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและแบบสกรูแทบทั้งสิ้น ดังนั้น จึงขอทำการวิเคราะห์วิจัยเฉพาะเครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้งาน 1 ชนิด คือเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องมืออุปกรณ์ Pneumatics

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการทำงานและอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบอากาศอัด
- 2) เพื่อหามาตรการปรับปรุงการลดการสูญเสียพลังงานในระบบอากาศอัด
- 3) เพื่อหาวิธีการวิเคราะห์ผลการลดภาระค่าไฟฟ้าในระบบอากาศอัด

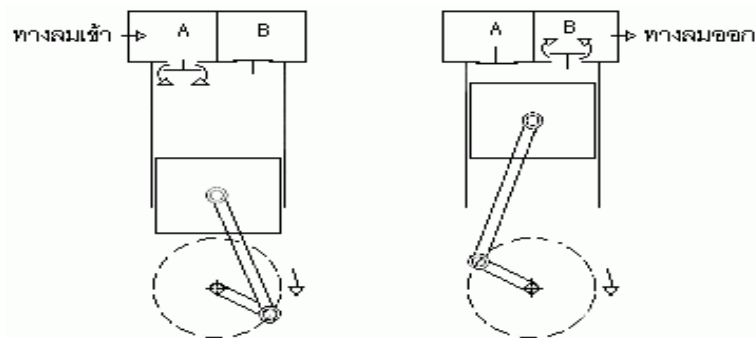
3. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้โรงงานต้นแบบในการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการทำวิจัยโดยใช้หลักทฤษฎีและหลักปฏิบัติ แล้วนำมาคำนวณเพื่อให้ทราบสมรรถนะของระบบอากาศอัดเพื่อลดการภาระค่าไฟฟ้าในระบบอากาศอัด

3.1 ชนิดและหลักการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

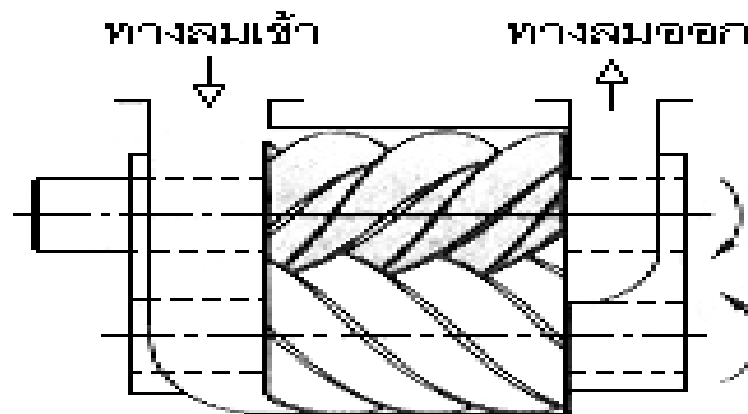
เครื่องอัดอากาศสามารถแบ่งตามลักษณะวิธีการของการอัดอากาศได้หลายชนิด เช่น แบบลูกสูบ แบบสกรู แบบโรตารีเวน แบบหมุนเหวี่ยง เป็นต้น ซึ่งมากกว่า 80% ของโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการใช้งานเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและแบบสกรูแทบทั้งสิ้น ดังนั้นจึงขออธิบายเฉพาะเครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้งานทั้ง 2 ชนิด ดังนี้

● Air compressor แบบลูกสูบ



รูปที่ 2 Air compressor แบบลูกสูบ

● Air compressor แบบสกรู



รูปที่ 3 Air compressor แบบสกรู

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบ Air compressor แบบลูกสูบและสกรู

รายการ	ลูกสูบ	สกรู
เรื่องเสียง	สูง	เสียงดังน้อยมาก
ขนาด	ใหญ่เทอะทะ	เล็กเหมาะสม
น้ำมันผสมผสานกับอากาศ	พอสมควร	น้อยมาก
แรงกระแทก	มีมาก	มีน้อย
การบำรุงรักษา	มีอะไหล่มาก	มีอะไหล่ล้น
ปริมาณ	ต่ำ-สูง	ต่ำ-สูง
ความดัน	ปานกลาง-สูงมาก	ปานกลาง-สูง
ประสิทธิภาพที่โหลดบางส่วน	สูง	ไม่มี เมื่อโหลดต่ำกว่า 60%

Air compressor แบบสกรูโดยทั่วไปมีขนาดมอเตอร์ และปริมาณการผลิตอากาศอัดสูงกว่า Air compressor แบบลูกสูบ ขนาดที่นิยมใช้มักอยู่ในช่วง 11-75 kW จึงมักใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการอากาศอัดในปริมาณที่สูงหลักการทำงาน Air compressor แบบสกรู อาศัยตัวหมุน 2 ตัวทำเป็นเกลียว และมีทิศทางการหมุนตรงกันข้ามกัน โดยระหว่างเกลียวทั้งสองจะมีช่องว่างสำหรับดูดอากาศเข้ามาแล้วอัดให้มีปริมาตรน้อยลงเพื่อเพิ่มความดันอากาศเมื่อเพลาสกรูหมุนลง

ภายนอกจะถูกดูดผ่านท่อเข้ามาและถูกอัดตามร่องฟันที่ขบกันความเร็วสูง ทำให้อากาศถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นและไหลออกอีกทางหนึ่ง ดังรูปที่ 3 เลือกขนาด Air compressor โดยพิจารณาจากอัตราการไหลของอุปกรณ์ทั้งหมด 25–50% สำหรับความสูญเสีย และการขยายตัวในอนาคตกจากหลักการทำงาน และคุณลักษณะของเครื่องอัดอากาศซึ่งเป็นที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน สามารถแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 หน้าที่ของอุปกรณ์ประกอบในระบบอากาศอัด

เครื่องทำอากาศแห้ง (Air Dryer)	มีหน้าที่ในการไล่ความชื้นที่มีอยู่ในอากาศอัดออกไป เพื่อให้อากาศที่จะนำไปใช้งานมีความเหมาะสมต่อการใช้งานและไม่สร้างความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ โดยส่วนใหญ่จะทำอากาศให้แห้งโดยใช้ระบบทำความเย็น ซึ่งจะทำให้อากาศแห้งลงในระดับที่เหมาะสมกับการใช้งานทั่วไป สำหรับกระบวนการที่ต้องการอากาศอัดที่แห้งเป็นพิเศษ จำเป็นต้องใช้สารดูดความชื้น เช่น Silica เป็นต้น
ท่อส่งจ่ายอากาศอัด	ขนาดของท่อส่งจ่ายควรเลือกให้เหมาะสม เพราะเนื่องจากถ้าใช้ท่อที่มีขนาดเล็กเกินไป จะทำให้เกิดการสูญเสียความดันมาก และสิ้นเปลืองพลังงาน โดยทั่วไปสามารถคำนวณขนาดท่อจากปริมาณอากาศอัดที่ส่งจ่าย และกำหนดให้ความเร็วอากาศอัดไม่เกิน 8 และ 15 m/sec สำหรับท่อเมน และท่อย่อย ตามลำดับ ซึ่งการติดตั้งท่อลมหลักมี 2 แบบ คือ 1) การเดินท่อแบบท่อเดี่ยว (Single line) การเดินท่อดังกล่าวนี้จะใช้กับการใช้งานที่มีอุปกรณ์ Pneumatic ไม่มากและเป็นการเดินท่อในระยะสั้นๆ 2) การเดินท่อแบบวงแหวน (Ring Circuit) เป็นการเดินท่อเป็นวงรอบพื้นที่ใช้งานซึ่งการวางท่อแบบนี้เป็นการแก้ปัญหาเรื่องความดันตกโดยการจ่ายลมอัดกระจายออกไปทั้งสองด้าน โดยที่ความดันที่บริเวณปลายสุดของ ท่อเมนจะมีความดันใกล้เคียงกับบริเวณใกล้เครื่องอัดลมแม้จะมีการใช้ปริมาณลมมาก

อุปกรณ์หลักๆ ที่ติดตั้งรวมอยู่กับถังอากาศอัดด้วยแสดงในรูปได้แก่ วาล์วนิรภัย (Safety Valve) ทำหน้าที่ปล่อยอากาศออกจากถังเมื่อความดันในถังสูงเกินค่าที่ตั้งไว้เพื่อความปลอดภัย ในกรณีเครื่องอัดอากาศไม่ตัดการทำงาน Gauge วัดความดัน (Pressure Gauge) ใช้สำหรับตรวจสอบความดันของอากาศอัดภายในถังอุปกรณ์ระบายน้ำอัตโนมัติ (Automatic Drain) มีหน้าที่ระบายน้ำซึ่งเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำในอากาศซึ่งอยู่ด้านล่างของถังอากาศอัดออกไปจากระบบตามปริมาณน้ำหรือเวลาที่กำหนดไว้ โดยขนาดของถังอากาศอัดที่เหมาะสมคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\text{ปริมาตรถัง} = \frac{\text{ปริมาณอากาศอัดติดตั้ง (m}^3/\text{min)} \times \text{Safety Factor}}{\text{ความดันใช้งาน (Bar abs)}} \quad (1)$$

โดยที่ Safety Factor มักใช้ค่าในช่วง 1.5–3.0 ขึ้นอยู่กับความคงที่ของปริมาณอากาศอัดที่ใช้งาน เช่น หากความต้องการใช้ค่อนข้างคงที่ที่ใช้ค่า 1.5 และถ้ามีความผันผวนมากแนะนำให้ใช้ 3.0 ความดันที่อ่านได้จาก Gauge วัดความดัน (Pressure Gauge = ความดันสัมบูรณ์ (P abs.) + ความดันบรรยากาศ (P atm))

3.2 ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

ประสิทธิภาพของ Air compressor นั้นมักจะระบุในเชิงของดัชนีการใช้กำลังไฟฟ้าต่อการผลิตอากาศอัด ซึ่งจะต้องทราบข้อมูลใน 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ Air compressor (kW) และอัตราการผลิตอากาศอัด (l/sec, m³/min) ซึ่งมักนิยมระบุประสิทธิภาพของ Air compressor จึงนิยมระบุในเชิงความสัมพันธ์ของค่าทั้ง 2 โดยมีหน่วยเป็น kW/m³/min

DESCRIPTION	SCREW AIR COMPRESSOR	
MODEL	MM45	ROTARY
SERIAL NO.	11578	DJFG AE L
CAPACITY	7.1	m ³ /min
RATED PRESSURE	0.85	MPa
RATED POWER	45	kW
GROSS WEIGHT	953	kg
DIMENSIONS	1675/1650/1825	mm
PRODUCTION DATE	2018-12	

รูปที่ 4 Nameplate ของเครื่องอัดอากาศ

$$I = kW_T / FAD_A \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ kW_T = พลังไฟฟ้าใช้ในการอัดอากาศ (kW)
 FAD_A = อัตราการไหลของอากาศอัด (m³/min)
 ค่าประสิทธิภาพที่พิกัด = $45 \text{ kW} / 7.1 \text{ m}^3/\text{min} = 6.34 \text{ kW/m}^3/\text{min}$
 ค่า kW/m³/min ยิ่งต่ำ ยิ่งดี โดยทั่วไปเครื่องอัดอากาศใหม่มีค่าประมาณ 6 kW/m³/min

3.3 การประเมินการใช้พลังงานของ Air compressor ก่อนการทำวิจัย

จากการเข้าไปสำรวจและวางแผนทางเพื่อทำการสำรวจทำการวิเคราะห์วิจัยเครื่องปั๊มลมระบบลูกสูบที่บริษัท เอ็คซาบิซ Air pump แบบสายพาน PP310A 10HP 3 สูบ 260 ลิตร 380V ระยะการใช้งานมา 9 ปี ผู้วิจัยจึงใช้หลักการพลังงานไฟฟ้าคือผลคูณของค่าพลังไฟฟ้า กับชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ ดังนั้น สำหรับ Air compressor แบบลูกสูบ สามารถประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ได้ด้วยสมการที่ 3

$$\text{พลังงานที่ใช้} = \text{พลังไฟฟ้า} \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน} \times \% \text{การทำงาน} \quad (3)$$

โดย Air compressor ชนิดลูกสูบขนาด 10 Hp 3 สูบ 260 ลิตร 380V อายุการใช้งาน 9 ปีจากการวัดค่าด้วยมิเตอร์มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 7.8 kW และชั่วโมงการทำงานเฉลี่ย 3,600 Hours per Year, Load Factor เฉลี่ย = 75% คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีเท่ากับ

$$\text{Electrical energy} = 7.8 \text{ kW} \times 3,600 \text{ Hours per Year} \times 75 \% = 21,060 \text{ kWh/Year (Before)}$$

3.4 การประเมินการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศหลังการทําวิจัย

หลังทำการตรวจวัดค่าและ Renovation อุปกรณ์เชื่อมต่อและแก้ไขข้อต่อต่างๆในระบบ Air pump แบบ สายพาน PP310A 10HP 3 สูบ 260 ลิตร 380V ระยะการใช้งานมา 9 ปี ผู้วิจัยจึงทำการตรวจวัดใหม่ทั้งหมดโดยได้ค่าดังนี้ ใช้พลังงานไฟฟ้า 7.6 kW และชั่วโมงการทำงานเฉลี่ย 3,600 Hours per Year, Load Factor เฉลี่ย 72% คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีเท่ากับ

$$\text{พลังงานที่ใช้} = \text{พลังไฟฟ้า} \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน} \times \% \text{ การทำงาน}$$

$$\text{Electrical energy} = 7.6 \text{ kW} \times 3,600 \text{ Hours per Year} \times 72 \% = 19,699 \text{ kWh/Year (After)}$$

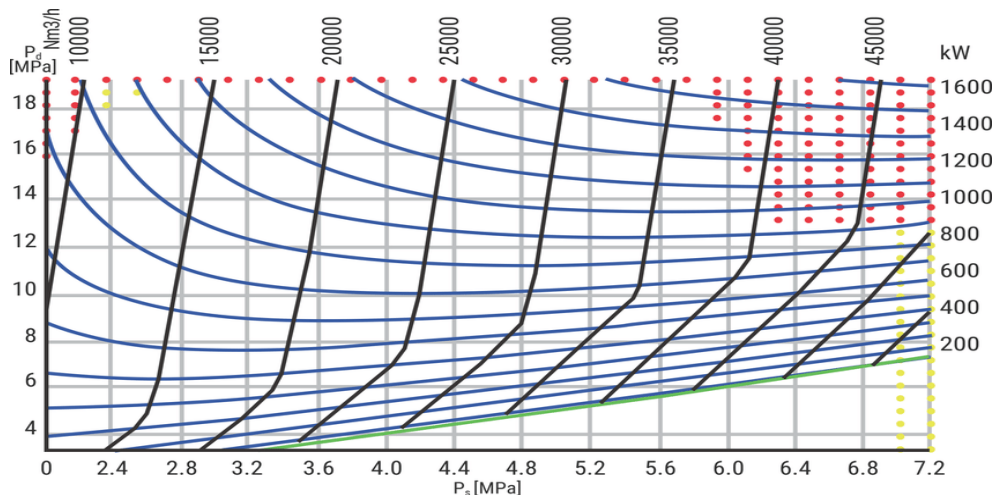
3.5 เปรียบเทียบการประเมินการใช้พลังงานของ Air compressor

$$= 19,699 \text{ kWh/Year (After)} / 21,060 \text{ kWh/Year (Before)} \times 100 = 6.46 \%$$

ดังนั้น การปรับปรุงระบบทำให้ Electrical energy ลดลง 6.46 %

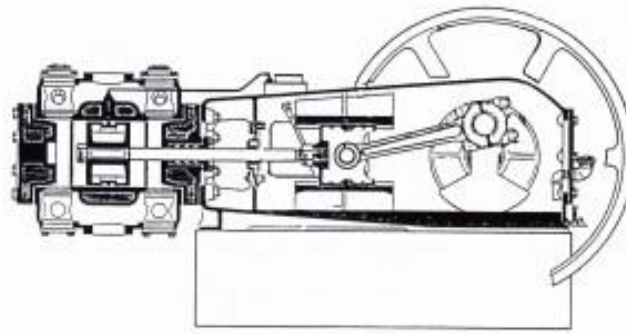
3.6 Air compressor แบบลูกสูบ (Reciprocating compressor)

Air compressor ลักษณะนี้ ส่วนใหญ่จะใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนโดยสายพานโดยโรงงานที่ทำวิจัยนี้ใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนด้วยสายพาน โดยมีสายพานเป็นอุปกรณ์ถ่ายทอดกำลังงานไปสู่เครื่องอัดเพื่อให้ลูกสูบเคลื่อนที่อัดอากาศให้มีปริมาตรเล็กลง ลักษณะนี้อากาศจะถูกอัดให้เล็กลงในกระบอกสูบแรงดันขณะนี้จะสูงมาก และอากาศที่ถูกอัดนี้จะถ่ายเทไปยังถังเก็บ ซึ่งในถังเก็บนี้ก็จะสะสมแรงดันไว้ด้วยเพื่อให้มีพลังความดันเพียงพอออกไปใช้งาน เมื่อมีแรงดันสูงก็จะเกิดมีความร้อนตามมาจึงต้องมีที่ระบายความร้อนซึ่งส่วนใหญ่จะระบายความร้อนด้วยแผ่นครีป (vane) โดยแผ่นครีปจะถูกออกแบบมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเครื่องว่ามีขนาดใหญ่หรือขนาดเล็กเพราะเมื่อลูกสูบทำงานจะเกิดการเคลื่อนไหวเร็วมากและจะต้องทำหน้าที่อัดอากาศซึ่งมีแรงดันมากจึงทำให้ตัว frame air compressor เกิดความร้อนสูงผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องเพิ่มแผ่นครีประบายความร้อนตามขนาดของตัวเครื่องจะทำให้ความสมดุลระหว่างความร้อนที่เกิดขึ้นกับการระบายอากาศสมดุล



รูปที่ 5 Reciprocating compressor curve

การระบายความร้อนออกแบบแบบสมดุล เพื่อป้องกันอันตรายจากความร้อนซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนภายในเครื่องอัดอากาศได้รับความเสียหายได้ อากาศอัดดังกล่าวเมื่อถูกนำไปเก็บในถังอัดอากาศจะยังมีความร้อนเหลืออยู่บ้าง เมื่ออากาศอัดภายในถังอากาศเย็นตัวลง ก็จะทำให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำอยู่ในถังอัดอากาศ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายได้ในขณะที่นำอากาศไปใช้งาน ดังนั้นอัดอากาศ ก่อนที่จะมีการใช้งานอยู่เสมอทุกวัน



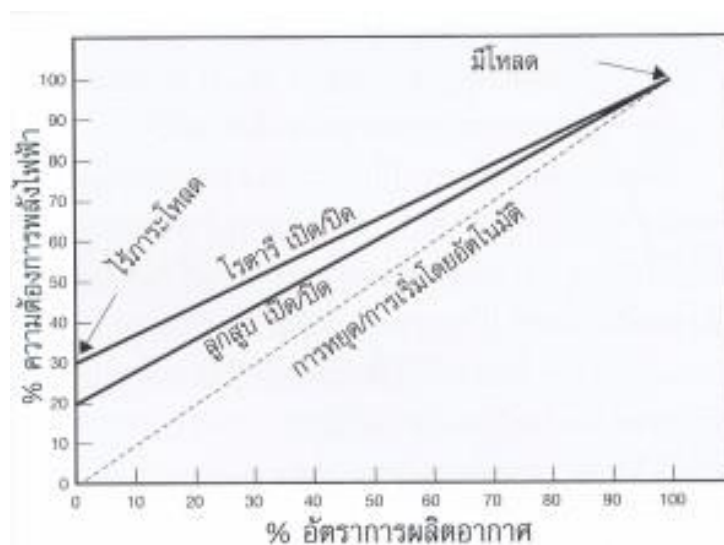
รูปที่ 6 ภายในเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

3.7 ระบบเปิดปิดอัตโนมัติ (Automatic Start/Stop) ของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

สำหรับเครื่องอัดอากาศที่มีอัตราการผลิตอากาศน้อยกว่า 10 ลิตรต่อวินาที มอเตอร์เครื่องอัดอากาศจะปิดเมื่อไม่ต้องการใช้งาน จะเปิดเมื่อมีการทำงานพร้อมกับการใช้พลังงานอย่างคงที่ ณ ระดับความดันปกติ อย่างไรก็ตามอาจมีปัญหากล็กเลียงไม่ได้เกิดขึ้นเมื่อระบบทำงานที่โหลดบางส่วนทำให้เครื่องอัดอากาศมีการเปิด / ปิดบ่อยๆ ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่

3.8 ระบบควบคุมแบบมี On-Line / Off-Line ของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ส่วนมากจะใช้กับวิธีควบคุมแบบมีภาระ / ปลดภาระ (On-Line / Off-Line)



รูปที่ 7 การควบคุมแบบ On-Line / Off-Line

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงการควบคุมแบบมีภาระ / ปลดภาระ (On-Line / Off-Line) โดยมีโหลดบางส่วนและยังแสดงให้เห็นถึงอัตราเฉลี่ยของความต้องการพลังงานไฟฟ้า ที่ภาระโหลดเฉพาะการควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบบางรุ่นโดยการปิดวาล์วที่ท่อทางเข้าของอากาศการปิดวาล์วที่ตำแหน่งที่ต่ำจะทำให้มีผลต่อการปลดภาระ เมื่อระบบความดันอยู่ที่ระดับสูงสุดที่กำหนดไว้จะทำให้การทำงานของเครื่องอัดอากาศย้อนกลับมามีภาระระดับความดันต่ำตามที่กำหนดไว้ การควบคุมแบบนี้จะทำให้ประหยัดพลังงานได้อย่างมากในการใช้เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ การใช้พลังงานจะลดลงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของโหลดเต็มพิกัด

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบอาคารอัตโนมัติและนำมาถ่ายทอดความรู้ให้กับนักศึกษา
- 2) วิเคราะห์ทดลองและนำเอาผลลัพธ์ไปใช้ประโยชน์ต่อสาธารณะได้

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัยและสำรวจในการทำ Renovation ในโรงงานจะได้ผลดังนี้

$$\text{Electrical energy} = 7.8 \text{ kW} \times 3,600 \text{ Hours per Year} \times 75 \% = 21,060 \text{ kWh/Year (Before)}$$

$$\text{Electrical energy} = 7.6 \text{ kW} \times 3,600 \text{ Hours per Year} \times 72 \% = 19,699 \text{ kWh/Year (After)}$$

ผลการปรับปรุง 21,060 kWh/Year (Before) - 19,699 kWh/Year (After) = 1,361 kWh/Year = 6.46 % เมื่อคิดต่อปีอาจจะลดลงไม่มาก สาเหตุมาจากยังขาดการเจาะลิ้นรางละเอียดและช่วงระยะเวลาในการสำรวจและปรับปรุง เนื่องจากทางโรงงานให้เวลาในการตรวจวัดมีข้อจำกัด จึงต้องทำในช่วงเวลาที่โรงงานหยุดในช่วงเทศกาลจึงจะเหมาะสม

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากบริษัท เอ็ชซาบิซ จำกัด ที่ให้เข้าไปเก็บข้อมูลและอำนวยความสะดวกทุกอย่างให้เป็นอย่างดีและมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี ที่มอบทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2547). ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) สามัญ.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2550). คู่มือมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2004). ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานอาวุโส (ผอส.) ด้านความร้อน ตอนที่ 4 บทที่ 1 ระบบปรับอากาศ บั๊มน้ำและพัดลม หน้า 1-1 – 1-72.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. (2560). คู่มือผู้รับผิดชอบพลังงาน ตอนที่ 2 บทที่ 5 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบอาคารอัตโนมัติ หน้า 4-65
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2555). การตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานระบบอาคารอัตโนมัติ. กระทรวงพลังงาน, คู่มือการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม หน้า 6-1 – 6-6
- [6] ประกอบ เอี่ยมสะอาด. (2549). การบริหารจัดการพลังงาน ในระบบอาคารอัตโนมัติ ของโรงงานอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี