



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

คู่มือการปฏิบัติงานที่ดี สำหรับเครื่องอัดอากาศ



โครงการการจัดทำร่างกฎกระทรวงเครื่องจักรและวัสดุอุปกรณ์
เฉพาะด้านประสิทธิภาพพลังงาน (เครื่องอัดอากาศ)

คำนำ

จากรายงานสถานการณ์การใช้พลังงานของประเทศในแต่ละปี ปรากฏว่าประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สาเหตุหนึ่งคือการใช้อุปกรณ์ที่ไม่มีประสิทธิภาพ อันเนื่องมาจากการขาดความรู้ความเข้าใจในการเลือกซื้อ การใช้งาน การบำรุงรักษาที่ถูกต้องเหมาะสม ซึ่งเครื่องอัดอากาศก็เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ดังกล่าวที่มีการใช้พลังงานสูง และเป็นอุปกรณ์หลักที่จำเป็นสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและกลุ่มอาคารบางประเภท โดยส่วนใหญ่เครื่องอัดอากาศจะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ซึ่งหากให้ความสำคัญต่อตัวอุปกรณ์เครื่องอัดอากาศและระบบการใช้อากาศอัดอย่างถูกต้องเหมาะสมแล้วจะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงาน ลดต้นทุนค่าใช้จ่าย และรักษาสິงแวดล้อม ทำให้ผู้ประกอบการสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันได้

เพื่อเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในระบบอัดอากาศทางกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจึงได้จัดทำ “คู่มือการปฏิบัติงานที่ดีสำหรับเครื่องอัดอากาศ” โดยมีเนื้อหาครอบคลุมตั้งแต่ความรู้พื้นฐานของอากาศอัด การนำไปใช้ประโยชน์ เทคโนโลยีและอุปกรณ์ประกอบ การตรวจสอบและการเดินระบบ การบำรุงรักษาที่เหมาะสม รวมถึงตัวอย่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางนำไปประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างเป็นรูปธรรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์และสามารถถ่ายทอดให้แนวทางปฏิบัติในเครื่องอัดอากาศต่าง ๆ ให้กับโรงงานอุตสาหกรรม และผู้ที่สนใจทั่วไปสามารถนำความรู้และแนวคิดจากคู่มือการปฏิบัติงานที่ดีสำหรับเครื่องอัดอากาศ มาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าและยั่งยืนต่อไป

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน



คู่มือการปฏิบัติงานที่ดีสำหรับเครื่องอัดอากาศ

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1-1
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานของอากาศอัดและการนำไปใช้ประโยชน์	
2.1 ความรู้พื้นฐานของอากาศอัด	2-1
2.2 การนำอากาศอัดไปใช้ประโยชน์	2-5
2.3 เครื่องอัดอากาศ	2-8
2.4 ระบบควบคุมเครื่องอัดอากาศ	2-18
2.5 ระบบหล่อลื่นและการระบายความร้อนเครื่องอัดอากาศ	2-30
2.6 เครื่องเพิ่มความดัน (Booster)	2-40
2.7 ความดันของก๊าซ	2-41
2.8 อัตราการไหลของอากาศ (Air Flow Rate)	2-42
2.9 พลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ	2-45
2.10 คุณภาพอากาศอัด	2-49
บทที่ 3 เทคโนโลยีส่วนประกอบอุปกรณ์ระบบอากาศอัด	
3.1 เครื่องทำอากาศอัดแห้ง (Compressed Air Dryer Technology)	3-1
3.2 อาฟเตอร์คูลเลอร์ (After cooler)	3-12
3.3 ตัวกรองอากาศอัด (Compressed Air Filters)	3-13
3.4 ถังเก็บอากาศ (Air Tank/Air Receiver Tank)	3-18
3.5 ท่อส่งจ่ายอากาศอัด	3-21
บทที่ 4 การตรวจสอบและการเตรียมการก่อนเดินเครื่องระบบอัดอากาศ	
4.1 การตรวจสอบและการเตรียมการก่อนการเดินเครื่องอัดอากาศ	4-1
4.2 ขั้นตอนการเริ่มเดินเครื่องอัดอากาศ	4-4
4.3 การตรวจสอบขณะเดินเครื่องอัดอากาศ	4-8
4.4 ขั้นตอนการหยุดเดินเครื่องอัดอากาศ	4-10



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การติดตั้งและการบำรุงรักษาระบบอัดอากาศ	
5.1 ภาวะแวดล้อมที่ติดตั้งเครื่องอัดอากาศ	5-1
5.2 หลักการติดตั้งเครื่องอัดอากาศ	5-2
5.3 การตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ	5-6
5.4 วิธีการตรวจอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องอัดอากาศ	5-8
บทที่ 6 การอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด	
6.1 เครื่องอัดอากาศ	6-1
6.2 อุปกรณ์ประกอบในระบบอัดอากาศ	6-47
6.3 ระบบส่งจ่ายอากาศอัด	6-75
6.4 อุปกรณ์ลมปลายทาง	6-83

ภาคผนวก ก.1 ตารางแปลงหน่วย

ภาคผนวก ก.2 ความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ

เอกสารอ้างอิง



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1-1 ความสัมพันธ์ของหน่วยความดันต่าง ๆ	2-1
2.3-1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ	2-11
2.3-2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี	2-13
2.3-3 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแบบเซนตริฟิวกัล	2-14
2.3-4 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแบบไหลตามแกน	2-15
2.3-5 ค่าพลังไฟฟ้าจำเพาะของเครื่องอัดอากาศแบบต่าง ๆ	2-16
2.3-6 การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแบบต่าง ๆ	2-17
2.5-1 เปรียบเทียบน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์	2-36
2.9-1 ค่าประสิทธิภาพไอเซนทรอปิก และค่าประสิทธิภาพมอเตอร์	2-45
2.10-1 การจำแนกชั้นคุณภาพอากาศตามมาตรฐาน ISO/DIS 8573.1	2-49
2.10-2 คุณภาพของอากาศสำหรับใช้งานทั่ว ๆ ไป	2-49
3.1-1 ปริมาณน้ำในอากาศ	3-3
3.1-2 ความดันน้ำค้างและความชื้นเปลี่ยนแปลงพลังงานเครื่องทำอากาศแห้ง	3-4
3.4-1 ขนาดถึงอากาศอัดกับแรงม้า และอัตราการไหลของอากาศอัด	3-20
3.5-1 ค่าความเสียดทานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบท่อเทียบเท่ากับท่อตรง	3-26
5.2-1 คุณภาพของน้ำสำหรับระบายความร้อนเครื่องอัดอากาศ	5-3
5.2-2 การประหยัดพลังงานเมื่อลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ	5-4
6.1-1 ปริมาณการใช้พลังงานสัมพัทธ์ในการทำงานแบบต่าง ๆ	6-27
6.1-2 ตัวอย่างตารางการบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบอัดอากาศ	6-42
6.1-3 เปรียบเทียบความดันตกคร่อมของระบบอัดอากาศที่มีการบำรุงรักษาที่ดีและขาดการดูแลบำรุงรักษา	6-44
6.2-1 ตารางบันทึกสภาวะการทำงานของเครื่องแบบ Start/ Stop	6-58
6.2-2 ตารางบันทึกสภาวะการทำงานของเครื่องแบบ Load/ Unload	6-59
6.2-3 ปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดตามขนาดรูรั่วและแรงดันที่รั่ว	6-65
6.2-4 ปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัด	6-66



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1-1	แผนภูมิแสดงพลังงานที่ใช้ในระบบอากาศอัด	1-1
1-2	ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ของระบบอากาศอัดตามมาตรฐานทั่วไป	1-1
2.3-1	โครงสร้างของระบบอากาศอัด	2-8
2.3-2	เครื่องอัดอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม	2-8
2.3-3	การแบ่งชนิดของเครื่องอัดอากาศ	2-9
2.3-4	เครื่องอัดอากาศแบบ diaphragm และแบบลูกสูบ	2-10
2.3-5	เครื่องอัดอากาศแบบไดอะแฟรมและแบบลูกสูบ	2-10
2.3-6	เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ	2-11
2.3-7	Root Blower	2-12
2.3-8	เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีเวน	2-12
2.3-9	เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรู	2-13
2.3-10	เครื่องอัดอากาศแบบเซนตริฟิวกัล	2-14
2.3-11	เครื่องอัดอากาศแบบไหลตามแกน (Axial Flow)	2-15
2.4-1	ระบบควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบแยกแต่ละเครื่อง	2-19
2.4-2	ระบบควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบ On line/ Off line	2-20
2.4-3	ระบบควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบ Modulating	2-23
2.4-4	ระบบควบคุมแบบ Modulating-by Inlet Throttle with Bypass ของเทอร์โบคอมเพรสเซอร์	2-24
2.4-5	การควบคุมแบบการใช้ Inlet Guide Vane	2-25
2.4-6	ระบบควบคุมแบบ Cascade Pressure Control	2-27
2.4-7	ระบบควบคุมแบบใช้ไมโครโพรเซสเซอร์	2-28
2.4-8	Energy Management System	2-29
2.5-1	แผนภาพระบบหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศชนิดสกรู	2-30
2.5-2	แผนภาพระบบหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ	2-31
2.5-3	อุณหภูมิการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น	2-32
2.5-4	Oil Feed Rate for Compressor Cylinders	2-35
2.5-5	Compressor seal life VS oil usage	2-36
2.5-6	ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น	2-37
2.5-7	Balancing Valve	2-38
2.5-8	ระบบเปิดที่มีการไหลเวียนของน้ำ	2-39
2.6-1	Pressure Booster	2-40
2.6-2	Motor Booster Pump	2-40
2.9-1	เส้นโค้งแสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศและความดันด้านขาออก	2-47



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.9-2	กราฟแสดงสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ
2.9-3	เส้นโค้งแสดงกำลังงานของเครื่องอัดอากาศและความดันด้านขาออก
3.1-1	กระบวนการทำอากาศแห้ง
3.1-2	ความสัมพันธ์ระหว่างจุดน้ำค้างและอากาศอัด
3.1-3	เครื่องทำอากาศแห้งด้วยสารทำความเย็น
3.1-4	เครื่องทำอากาศแห้งแบบ Non-Cycling Refrigerated
3.1-5	เครื่องทำอากาศแห้งแบบ Cycling Refrigerated
3.1-6	Refrigerant Air Dryer
3.1-7	โครงสร้างภายในของ Air Dryer
3.1-8	ไดอะแกรมการทำงานภายในของ Refrigerant Air Dryer
3.1-9	เครื่องทำอากาศแห้งแบบดูดกลืน
3.1-10	เครื่องทำอากาศแห้งแบบ Adsorption drying
3.1-11	กระบวนการทำอากาศแห้ง Adsorption drying
3.1-12	กระบวนการทำอากาศแห้งด้วย Adsorption drying
3.2-1	อุปกรณ์ในระบบ After Cooler
3.3-1	ลักษณะการกรองอากาศอัด
3.3-2	แผนภาพขนาดฝุ่นละอองในอากาศ
3.3-3	ตัวกรองแบบ Particulate
3.3-4	ตัวกรองแบบ Coalescing
3.3-5	ตัวกรองแบบ Oil Vapor Filler
3.3-6	ชุดกรองอากาศ-ชุดปรับแรงดัน-ชุดป้อนน้ำมันหล่อลื่น
3.3-7	ชุดกรองที่มีแถบสีเขียว/แดง แจ้งให้เปลี่ยนไส้กรอง
3.3-8	กราฟแสดงความดันตกของกรอง ชุดปรับแรงดัน และระบบหล่อลื่น
3.4-1	ถังลม
3.5-1	ลักษณะการต่อท่อหลักแบบท่อเดี่ยว
3.5-2	ลักษณะการต่อท่อหลักแบบวงแหวน
3.5-3	การต่อท่อในแนวนอนให้มีมุมลาดเอียง
3.5-4	การแยกท่อจ่ายจากท่อหลัก
3.5-5	การแยกท่อจ่ายจากท่อหลักอีกวิธีหนึ่ง
3.5-6	การต่อท่อหลักงอโค้ง 90° ที่เหมาะสม
3.5-7	การแยกท่อจ่ายอากาศอัดจากท่อหลักที่ผิดวิธี



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดท่อ อัตราการไหล และความดันอากาศในหน่วย bar	3-27
3.5-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดท่อ อัตราการไหล และความดันอากาศในหน่วย Psig	2-27
3.5-10 กราฟการหาขนาดท่อที่เหมาะสม	3-28
3.5-11 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสีย อัตราการไหลอากาศอัด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	3-29
4.1-1 การตรวจสอบแผงไฟฟ้า	4-1
4.1-2 ส่วนประกอบที่ควรตรวจสอบเช็คก่อนการเดินเครื่อง	4-2
4.1-3 การตรวจสอบบริเวณทางเข้าออกของอากาศ	4-2
4.1-4 เส้นทางลมระบายความร้อน	4-3
4.1-5 การตรวจเช็คระบบน้ำมันหล่อลื่นก่อนการเดินเครื่อง	4-3
4.2-1 ปุ่มกดแสดงสถานะการทำงานของเครื่องอัดอากาศ	4-5
4.2-2 ปุ่มกดอิเล็กทรอนิกส์	4-6
4.2-3 แผงควบคุมแบบปุ่มกดอิเล็กทรอนิกส์แสดงอุปกรณ์ต่าง ๆ	4-6
4.2-4 รูปแบบปุ่มกดที่ควบคุมเครื่องอัดอากาศได้จำนวนหลาย ๆ เครื่อง	4-6
4.2-5 แผงควบคุมแบบจอ LCD	4-7
4.3-1 รายละเอียดการตรวจสอบของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบอัดอากาศ	4-9
5.1-1 การระบายความร้อนของเครื่องอัดอากาศ	5-2
6.1-1 เครื่องอัดอากาศ	6-2
6.1-2 การตั้งความดันที่เครื่องและความดันใช้งานสูงสุดในกระบวนการผลิตก่อนปรับปรุง	6-3
6.1-3 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศก่อนปรับปรุง	6-4
6.1-4 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศหลังปรับปรุง	6-5
6.1-5 เครื่องอัดอากาศสกรู ขนาด 37 กิโลวัตต์	6-11
6.1-6 ปัญหาของอุปกรณ์/ ระบบก่อนปรับปรุง	6-12
6.1-7 อุปกรณ์/ ระบบหลังปรับปรุง	6-14
6.1-8 การปรับตั้งความดันตัด-ต่อ	6-19
6.1-9 กราฟแสดงการปรับตั้งความดันตามแกนเวลา	6-20
6.1-10 การปรับตั้งความดันตัดต่อโดยใช้ชุดควบคุมอัตโนมัติ	6-20
6.1-11 ระบบอากาศอัดก่อนการปรับปรุง	6-22
6.1-12 การติดตั้ง VSD ควบคุมความเร็วรอบเครื่องอัดอากาศ	6-24
6.1-13 การทำงานของเครื่องอัดอากาศในลักษณะต่าง ๆ	6-26
6.1-14 กราฟแสดงก่อนการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ	6-28



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.1-15 กราฟแสดงหลังการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ	6-28
6.1-16 สภาพเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง	6-34
6.1-17 สภาพหลังการปรับปรุงเครื่องอัดอากาศตัวใหม่ ขนาด 75 กิโลวัตต์	6-36
6.1-18 หม้อไอน้ำและเครื่องอัดอากาศก่อนปรับปรุง	6-38
6.1-19 ติดตั้งท่อนำลมร้อนจากเครื่องอัดอากาศสู่อากาศเข้าหม้อไอน้ำชุดที่ 1 และ 2	6-39
6.1-20 ระบบอัดอากาศที่มีการบำรุงรักษาที่ดี	6-43
6.1-21 ระบบอัดอากาศที่ขาดการดูแลบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง	6-44
6.1-22 ชุดกรองอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศที่ขาดการดูแลบำรุงรักษาที่ดี	6-45
6.1-23 ถังเก็บอากาศที่ขาดการดูแลบำรุงรักษาที่ดีจะมีน้ำขังในถังเก็บ และจุลระบายนํ้าทิ้งชำระชุด	6-45
6.1-24 อุปกรณ์นิวเมติกส์และชุดปรับความดันของอุปกรณ์ที่ขาดการดูแลบำรุงรักษาที่ดี	6-46
6.1-25 ชุดกรองน้ำในระบบอัดอากาศเริ่มเสื่อมสภาพและขาดการดูแลบำรุงรักษาที่ดี	6-46
6.1-26 การติดตั้งชุดกรองอากาศอัดที่เกินความจำเป็น	6-46
6.2-1 เครื่องทำอากาศแห้ง (Air Dryer)	6-47
6.2-2 จุดทางออกคอนเดนเสทของ Air Dryer	6-48
6.2-3 ทดสอบการเดินคอนเดนเสทก่อนปรับปรุง	6-48
6.2-4 Dew Point ของอากาศอัดขณะใช้งานจริง	6-48
6.2-5 การตั้งค่าการเดินก่อนปรับปรุง	6-48
6.2-6 การเช็คค่าการเดินจาก 6 วินาที เป็น 4 วินาที	6-49
6.2-7 ทดสอบการเดินคอนเดนเสทหลังปรับปรุง	6-49
6.2-8 เครื่องอัดอากาศก่อนปรับปรุงมีถังเก็บอากาศอัด 1 ใบ	6-53
6.2-9 หลังติดตั้งถังเก็บอากาศอัดเพิ่ม (ถังอากาศอัดแบบแนวตั้ง)	6-54
6.2-10 จุดที่มีการรั่วไหลของอากาศอัดก่อนปรับปรุง	6-61
6.2-11 สภาพหลังการปรับปรุงอากาศอัดรั่วในระบบอากาศอัด	6-62
6.2-12 การใช้ Ultrasonic leak detector ตรวจสอบการรั่วไหลอากาศอัด	6-65
6.2-13 ตำแหน่งอุปกรณ์ที่มีการรั่วไหลของอากาศอัด ก่อนปรับปรุง	6-67
6.2-14 ตำแหน่งอุปกรณ์ที่มีการรั่วไหลของอากาศอัด หลังปรับปรุง	6-69
6.2-15 จุดที่มีการรั่วไหลของอากาศอัดจากเครื่องกรองด้าย ก่อนปรับปรุง	6-72
6.2-16 สภาพหลังการปรับปรุง จุดที่มีการรั่วไหลของอากาศอัดจากเครื่องกรองด้าย	6-73
6.3-1 ท่อหลักส่งจ่ายอากาศอัด	6-76
6.3-2 การลดขนาดท่อหลักที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดัน	6-76
6.3-3 ภาพก่อนการปรับปรุงระบบท่ออากาศอัด	6-76



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.3-4	หลังการปรับปรุงระบบท่ออากาศอัด
6.3-5	ก่อนการปรับปรุงระบบท่ออากาศอัด
6.3-6	หลังการปรับปรุงระบบท่ออากาศอัด
6.4-1	ปืนลมทั่วไปที่ไม่ได้มีการควบคุมความดันใช้งานและมีขนาดของรูที่ใหญ่
6.4-2	ปืนลมที่สามารถถอดเปลี่ยนหัวได้ และยังควบคุมความดันใช้งานที่เหมาะสม
6.4-3	ขนาดหัวปืนลมที่ใช้ก่อนปรับปรุงขนาด 5 มิลลิเมตร
6.4-4	ปืนลมขนาด 3 มิลลิเมตร หลังปรับปรุง
6.4-5	ปืนลมขนาด 8 มิลลิเมตร ก่อนปรับปรุง
6.4-6	ปืนลมขนาด 3 มิลลิเมตร หลังปรับปรุง
6.4-7	หัวฉีด ปืนลม และเป่าฟัน
6.4-8	หัวฉีดเป่าโบ
6.4-8	การใช้หัวฉีดก่อนการปรับปรุง
6.4-10	การใช้หัวฉีดประสิทธิภาพสูงหลังการปรับปรุง
6.4-11	การใช้หัวฉีดทั่วไปเป่าระบายความร้อนและทำความสะอาด
6.4-12	การใช้หัวฉีดประสิทธิภาพสูงเป่าระบายความร้อนและทำความสะอาด
6.4-13	ลักษณะการใช้อากาศอัดเป่าทำความสะอาดจากสายยาง
6.4-14	การใช้สายยางเป่าทำความสะอาด
6.4-15	หลังปรับปรุงใช้ปืนลมเป่าทำความสะอาด หัวขนาด 1 มิลลิเมตร
6.4-16	Booster ที่ใช้ความดันอัดตัวเองในการเพิ่มความดัน
6.4-17	เครื่องอัดอากาศสำหรับเครื่อง Packing ก่อนการปรับปรุง



บทที่ 1

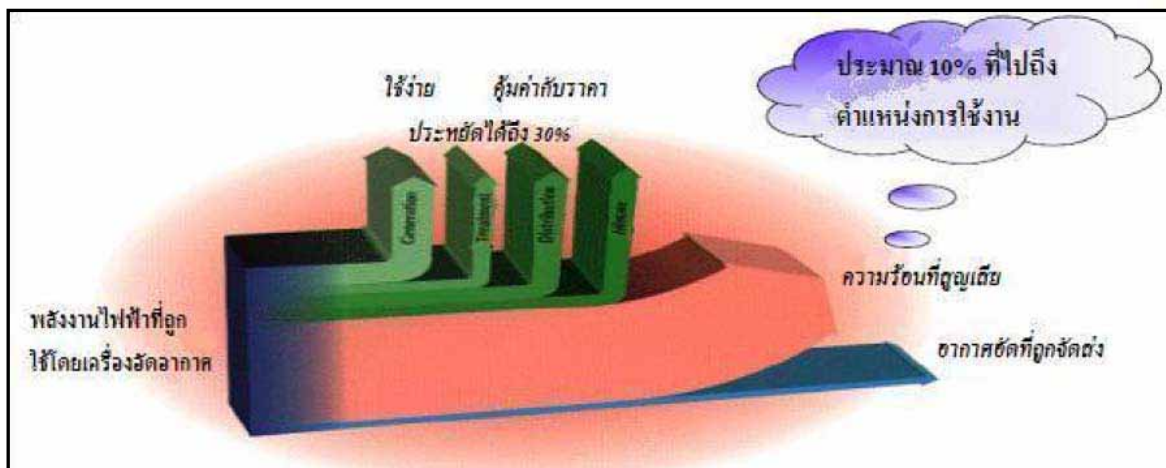
บทนำ

บทที่ 1

บทนำ

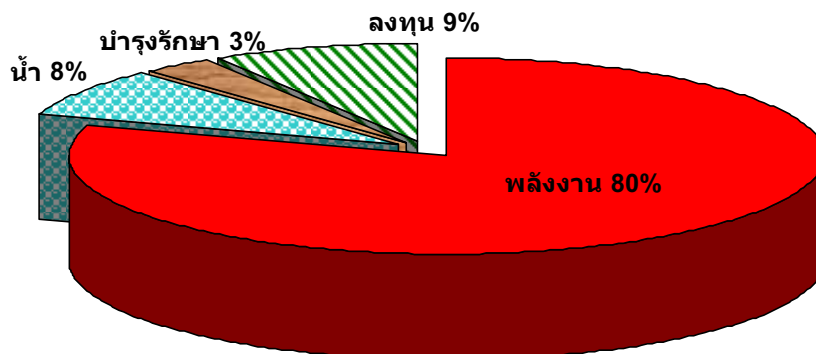
ระบบอัดอากาศหรือที่เรียกกันง่าย ๆ ว่า “ปั๊มลม” เป็นอุปกรณ์ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก โดยจะใช้เป็นแหล่งกำเนิดและป้อนลมให้แก่อุปกรณ์เครื่องมืองานชนิดตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงเครื่องจักรขนาดใหญ่ รวมทั้งระบบควบคุมนิวแมติกส์ โดยเฉลี่ยพลังงานที่ใช้ในระบบอากาศอัดประมาณ 10% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในโรงงาน

ผลการศึกษาของกรมการพลังงานของสหรัฐอเมริกา(DOE, 2003) ได้รายงานไว้ว่า 70-90 เปอร์เซ็นต์ของอากาศอัดจะสูญเสียไปในรูปของความร้อนที่ใช้ไม่ได้ แรงเสียดทาน การใช้อย่างไม่ถูกต้อง และเสียง (รูปที่ 1-1) ด้วยเหตุผลนี้เอง การปรับปรุงการใช้พลังงานในระบบอัดอากาศจึงเป็นสิ่งสำคัญและมีศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน



รูปที่ 1-1 แผนภูมิแสดงพลังงานที่ใช้ในระบบอากาศอัด (McKane and Medaris, 2003)

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในระบบอากาศอัดจะพบว่า ค่าใช้จ่ายในการใช้งานจะมีมูลค่าสูงกว่าค่าเครื่องอัดอากาศ (รูปที่ 1-2)



รูปที่ 1-2 ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ของระบบอากาศอัดตามมาตรฐานทั่วไป (Compressed Air)



ดังนั้น หากสามารถบริหารจัดการระบบอัดอากาศอย่างเหมาะสม โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนในการเลือกใช้เครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง และเหมาะสม รวมทั้งบำรุงรักษา และการใช้งานที่ถูกต้องก็จะเป็นจะมีศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานประมาณ 20 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ นับเป็นมูลค่ามหาศาล นอกจากสามารถลดการใช้พลังงานลงได้แล้วยังช่วยลดการบำรุงรักษา ลดเวลาการพักเครื่อง เพิ่มปริมาณผลผลิต และทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีขึ้นได้อีกด้วย



บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานของอากาศอัด
และการนำไปใช้ประโยชน์

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานของอากาศอัดและการนำไปใช้ประโยชน์

2.1 ความรู้พื้นฐานของอากาศอัด

อากาศ ประกอบไปด้วยก๊าซผสมหลาย ๆ ชนิดโดยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซไนโตรเจน และยังมีก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบอีกเล็กน้อย อากาศจึงมีคุณสมบัติเป็นก๊าซ โดยถ้าบีบอัดอากาศให้มีปริมาตรเล็กลง แรงดันอากาศจะสูงขึ้น และอุณหภูมิจะสูงขึ้นด้วย

อากาศมาตรฐาน (Standard Air) คือ อากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (68 องศาฟาเรนไฮต์) ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 101.3 กิโลปาสกาล หรือ 1.013 บาร์ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท ความชื้นสัมพัทธ์ 65 เปอร์เซ็นต์ และมีความหนาแน่น 1.20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 2.1-1 ความสัมพันธ์ของหน่วยความดันต่าง ๆ

mm. Hg	kPa	psi	kg / cm ²	atm	bar
760	101.325	14.696	1.0332	1	1.01325
750	100	14.50	1.0197	0.9869	1

อากาศสภาพปกติ (Normal Temperature Pressure : NTP) คือ อากาศแห้งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 101.3 กิโลปาสกาล (760 มิลลิเมตรปรอท) ความหนาแน่น 1.293 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (JIS B0132-1984)

กฎของก๊าซ (Gas Law) กฎของก๊าซ คือ สมการสภาวะของก๊าซสมบูรณ์ (Equation of State) ซึ่งเป็นสมการสำหรับคำนวณหาความหนาแน่น มวล ปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิโดยมีสมการ ดังนี้

$$PV = mRT$$

(2.1-1)

เมื่อ	P	เป็นความดันสมบูรณ์ (Absolute Pressure) (N/m ² abs)
	V	เป็นปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)
	m	เป็นมวล (กิโลกรัม)
	R	เป็นค่าคงที่ของอากาศ (มีค่าเท่ากับ 287.1 จูลต่อกิโลกรัมเคลวิน)
	T	เป็นอุณหภูมิ (เคลวิน) (โดยที่ เคลวิน = องศาเซลเซียส + 273.15)

เมื่อสลับข้างของสมการ (2.1-1) และจากความสัมพันธ์ $\rho = \frac{m}{V}$ จะได้

$$P = \frac{m}{VRT} = \rho RT$$

(2.1-2)



และจะสามารถหาความหนาแน่นได้ คือ

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (2.1-3)$$

เมื่อ ρ เป็นความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

สมการ (2.1-3) ใช้คำนวณอากาศแห้งโดยมีความผิดพลาดไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ช่วงอุณหภูมิ 20–100 องศาเซลเซียส ความดัน 0-50 บาร์ ถ้าใช้ที่ความดัน 100 บาร์ จะมีความผิดพลาดประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีเช่นนี้ให้ใช้สมการ

$$P = Z\rho RT \quad (2.1-4)$$

หรือ

$$\rho = P/ZRT \quad (2.1-5)$$

เมื่อ Z เป็นแฟกเตอร์การอัดตัว (Compressibility Factor)

สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิ และปริมาตรสามารถใช้สมการซึ่งเป็นการรวมกฎของบอยล์และชาร์ล (Boyle's law and Charles's law) ได้ดังนี้

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2.1-6)$$

อากาศอิสระ (Free Air Delivery : FAD) อากาศอิสระ หมายถึง ปริมาตรของอากาศที่มีการระบุคุณสมบัติ เช่น มาตรฐานการทดสอบเครื่องอัดอากาศของ ISO 1217 จะมีการระบุคุณสมบัติของอากาศอิสระไว้ดังนี้

- ความดันอากาศเข้าสมบูรณ์ มีค่าเท่ากับ 1 บาร์ (a) หรือ 14.5 psi
- อุณหภูมิอากาศ 20 องศาเซลเซียส
- ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0 (อากาศแห้ง)



ตัวอย่างที่ 2.1-1 การคำนวณสภาพอากาศตาม ISO 1217

อากาศอิสระปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ความดันบรรยากาศ P_1 ถูกบีบอัดจนมีความดัน $P_2 = 7$ บาร์ (g)

จะมีปริมาตรอากาศอัด $V_2 = 1 \times \frac{(0 + 1.013)}{(7 + 1.013)} = 0.1264$ ลูกบาศก์เมตร

และอัตราส่วนการอัด $= \frac{P_2}{P_1} = \frac{8.013}{1.013} = 7.91$ หรือการอัด 7.91:1

ดังนั้นอากาศอัดจะมีปริมาตรจริง เล็กกว่าปริมาตรอากาศอิสระอยู่ 7.91 เท่า



การอัดอากาศจะต้องใช้พลังงาน โดยสูตรการคำนวณที่ใช้ในการอัดอากาศที่นิยม มี 2 วิธีการดังนี้

- การอัดแบบไอเซนทรอปิก (Isentropic Compression) ซึ่งมีสมการคำนวณหาขนาดดังนี้

$$W_1 = \frac{k}{(k-1)} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} - 1 \right] \quad (2.1-7)$$

และค่าอุณหภูมิของอากาศอัดที่ความดันต่างๆ กันสามารถคำนวณหาได้จาก

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} \quad (2.1-8)$$

โดยที่ k = เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของอากาศตามกระบวนการอัดแบบไอเซนทรอปิกมีค่าเท่ากับ 1.4



- การอัดแบบโพลีโทรปิก (Polytropic Compression) ซึ่งมีสมการคำนวณหางานดังนี้

$$W_1 = -\frac{n}{(n-1)} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\left(\frac{n-1}{n} \right)} - 1 \right] \quad (2.1-9)$$

และค่าอุณหภูมิของอากาศอัดที่ความดันต่างๆ กันสามารถคำนวณหาได้จาก

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\left(\frac{n-1}{n} \right)} \quad (2.1-10)$$

โดยที่ n = เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของอากาศตามกระบวนการการอัดแบบโพลีโทรปิก
มีค่าเท่ากับ 1.26 (1.4×0.9) ตามมาตรฐาน ISO 1217

ตัวอย่างที่ 2.1-2 การหาอุณหภูมิของอากาศอัดตามกระบวนการอัดอากาศแบบไอเซนโทรปิก

อากาศที่ความดันบรรยากาศ P_1 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถูกอัดจนมีความดัน $P_2 = 7$ บาร์ (g)
อุณหภูมิอากาศอัดจะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} T_2 &= (30+273.15) [(7+1.013)/1.013]^{(1.4-1)/1.4} \\ &= 303.15 \times (7.91)^{0.2857} \\ &= 303.15 \times 1.806 &= 545.43 &\text{เคลวิน (K)} \\ &= 545.43 - 273.15 &= 272.28 &\text{องศาเซลเซียส (°C)} \end{aligned}$$



2.2 การนำอากาศอัดไปใช้ประโยชน์

อากาศอัด คือ อากาศที่ได้เพิ่มพลังงานในตัวอากาศแล้วและใช้อากาศอัดเป็นตัวกลางในการนำพาพลังงานไปยังจุดที่จะใช้งานโดยผ่านท่อและได้ปรับสภาพให้เหมาะในการใช้งาน ณ จุดนั้น ๆ

ระบบอากาศอัด เป็นกระบวนการทั้งหมดของระบบตั้งแต่อัดอากาศให้มีพลัง ปรับสภาพ เก็บสะสมรอใช้งาน ส่งจ่ายโดยท่อ จนถึงจุดที่จะใช้งานอากาศอัด แล้วปลดปล่อยพลังงานไปใช้งาน ณ ที่จุดที่ต้องการ

2.2.1 ลักษณะการใช้อากาศอัด

1) ใช้เป็นแรงดันสำหรับยกของ ทำให้กระบอกสูบลมทำงาน โดยใช้ลมดันทางด้านหัวของลูกสูบ เพื่อดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออกมา ส่วนในจังหวะลูกสูบลมเคลื่อนที่กลับนั้น เมื่อปลายลมทางด้านหัวลูกสูบระบายทิ้ง สปริงที่อยู่ภายในกระบอกสูบจะดันให้ก้านสูบเคลื่อนที่กลับมาเอง จะได้แรงเท่ากับแรงดันอากาศอัดคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ ($F = P \times A$) การใช้งาน เช่น ใช้ขับเคลื่อนลูกตุ้มตอกเสาเข็ม กระบอกลมขนาดต่าง ๆ ที่ใช้ในเครื่องจักรผลิตที่ทำงานอัตโนมัติในการเคลื่อนชิ้นงานจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง การผลักชิ้นงานเปลี่ยนทิศทางการกักกอร์ชิ้นงานที่ไหลมาตามสายพานให้ได้ปริมาณเพื่อบรรจุกล่อง อาจจะมีการหยิบจับชิ้นงานเพื่อบรรจุกล่อง ถ้าไม่ต้องการให้ชิ้นงานไหลลงตามแรงโน้มถ่วงเพราะจะแตกหัก

2) ใช้เป็นลมเป่าแรงดันสูง เช่น เป่าทำความสะอาดใช้เครื่องกรองดักฝุ่น (Reverse Pulse Jet Cleaning Bag Filter) ใช้เป็นลมเป่าแรงดัน เช่น เป่าทำความสะอาด (Air Gun)

3) ใช้แรงดันอากาศอัดเป่าผ่านรูเล็กทำให้เกิดแรงดูด เพื่อสร้างสุญญากาศอย่างรวดเร็วใช้สุญญากาศช่วย เครื่องมือเล็ก ๆ หยิบจับโดยดูดชิ้นงานเล็ก ๆ ดัดเครื่องมือแล้วย้ายไปวางในอีกที่ หนึ่งในการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

4) แรงดันอากาศเป่าของเหลวให้เป็นละอองเล็ก ๆ เช่น เครื่องพ่นสีของแข็งเม็ดทรายในการขัดผิวโลหะทำความสะอาดหรือตกแต่งให้ผิวสวย

5) ใช้เป็นสัญญาณในระบบตรวจวัดและควบคุม (Pneumatic Controller)

6) ใช้ขนส่งลำเลียงวัสดุ

7) ใช้กับเครื่องวัดขนาด (Air Gauge) ให้ชิ้นงานที่กลึงได้สวมลงในเครื่องวัด ถ้าหลวมมากอากาศอัดจะไหลออกมาก ถ้าแน่นมากอากาศอัดจะไหลน้อย ถ้าอยู่ในช่วงที่ตั้งไว้ชิ้นงานนั้น ๆ ก็ใช้ได้

2.2.2 การใช้อากาศอัดภายในโรงงาน

- 1) เป็นระบบอำนวยความสะดวกการผลิตไม่ใช่ตัวทำการผลิต แต่เป็นตัวช่วยระบบผลิต
- 2) โดยเป็นตัวกลางในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ จึงใช้กับเครื่องมือกลอย่างกว้างขวางแทนเครื่องมือกลที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า
- 3) โดยเป็นตัวกลางในการควบคุมอุปกรณ์ทั้งระยะใกล้หรือไกล
- 4) ปรับสภาพ/สถานะได้ง่าย ยืดหยุ่นและคล่องตัวตอบสนองไวในการใช้งาน



5) ปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร (ไฟรั่ว, ไฟช็อต) อาจคร่าชีวิตผู้ปฏิบัติงานได้ ปลอดภัยจากการเป็นต้นเหตุเกิดประกายไฟในการเกิดเพลิงไหม้หรือเป็นตัวจุดระเบิดสารเคมีไวไฟในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก โรงงานผลิตอาหารหรือโรงกลั่น เป็นต้น

ปริมาณและแรงดันอากาศอัดมีความสำคัญต่อผลผลิตอย่างมาก โดยการใช้อากาศอัดต้องมีความเหมาะสมกับความต้องการใช้งานทั้งปริมาณและความดัน เพราะหากมากหรือน้อยไป จะทำให้เกิดผลกระทบกับกระบวนการผลิตได้ เช่น แรงดันตก

- ทำให้เครื่องพ่นสีพ่นละอองสีเม็ดโตกว่าเมื่อแรงดันสูง
- ทำให้กระบอกลมเคลื่อนที่ช้าหรือไม่เคลื่อนที่ทำให้จังหวะการกระทำไม่สัมพันธ์กับส่วนอื่นๆ
- ทำให้แรงกดบนชิ้นงานลดต่ำลง ทำให้ผลงานคลาดเคลื่อน ก่อเกิดสินค้าคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานเป็นการสูญเสีย
- ทำให้เครื่องควบคุมทำงานผิดพลาด

ในอุตสาหกรรมมีการใช้อากาศอัดอย่างกว้างขวาง อากาศอัดนั้นไม่ใช่ของได้เปล่า แต่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตและบำบัด ซึ่งค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเฉพาะการผลิตอากาศอัดเป็นค่าใช้จ่ายในปริมาณที่มากของแต่ละโรงงาน

โดยทั่วไปการดูแลบำรุงรักษาเครื่อง การจัดการเลือกเดินเครื่องจักรให้เหมาะสมกับการใช้งาน การตั้งปรับแรงดันให้เหมาะสมในการใช้งาน ใช้ขนาดท่อที่เหมาะสม และหมั่นตรวจระบบท่อให้ดี ป้องกันการรั่ว จึงไม่ใช่เรื่องลำบากอันใด ในการทำความรู้จักให้ดีขึ้นกับเครื่องอัดอากาศรูปแบบต่างๆ อุปกรณ์ต่อเนื่อง และระบบจ่ายอากาศอัด ก็จะสามารถลดการสูญเสียค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้

อากาศอัดมีราคาแพงมาก ทั้งที่อากาศในโลกนี้มีมากมายมีคุณค่าต่อสิ่งมีชีวิต ไม่ต้องเสียเงินในการนำมาใช้ มีความปลอดภัยสูงต่อชีวิตของผู้ปฏิบัติงานในการใช้อากาศอัดโดยเฉพาะเมื่อเทียบกับไฟฟ้า ตอบสนองการสั่งงานได้ฉับไว ควบคุมการกระทำหนัก/ เบาได้ดีมาก จึงไม่แปลกใจที่พบระบบอากาศอัดในโรงงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท ในอนาคตการสร้างหุ่นยนต์พัฒนาประสิทธิภาพดีขึ้นและทุนการสร้างต่ำลง การใช้หุ่นยนต์แทนคนทำงานจะแพร่หลายมากขึ้น เพราะหุ่นยนต์ไม่เกียจคร้าน ไม่เรียกร้อง ไม่รู้จักเหนื่อย หากมีการใช้หุ่นยนต์มากขึ้น ก็จะทำให้การใช้อากาศอัดมากตามไปด้วย เพราะหุ่นยนต์ใช้อากาศอัดในการปฏิบัติงานมาก การผลิตอากาศอัดต้องมีค่าใช้จ่ายมากมาย เช่นค่าอุปกรณ์และค่าพลังงานในการอัดอากาศ และอุปกรณ์ต่างๆต้องดูแลซ่อมบำรุงให้อุปกรณ์เหล่านี้ทำงานต่อเนื่อง และทำงานด้วยประสิทธิภาพสูง เพื่อให้ได้อากาศอัดมากที่สุดจากอุปกรณ์เหล่านี้ การใช้อากาศอัดด้วยความชาญฉลาด ด้วยความระมัดระวังทั้งด้านความปลอดภัย และการประหยัดพลังงานจะลดค่าใช้จ่ายด้านอะไหล่ได้ด้วย

การดูแลระบบอากาศอัดอย่างถูกวิธี จะสามารถทำให้ใช้เครื่องอัดอากาศได้ยาวนานด้วยประสิทธิภาพสูงเหมือนใหม่ ปัจจุบันเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี (Rotary Compressor) เช่น โรตารีเวน (Vane Compressor) หรือสกรู (Screw Compressor) เป็นต้น โดยเฉพาะแบบฉีดน้ำมันหล่อลื่น (Oil Inject Type) ซึ่งใช้น้ำมันหล่อลื่นปริมาณมากเกินพอสำหรับหล่อลื่นฉีดเข้าในห้องอัดอากาศ เพื่อหล่อลื่นและ



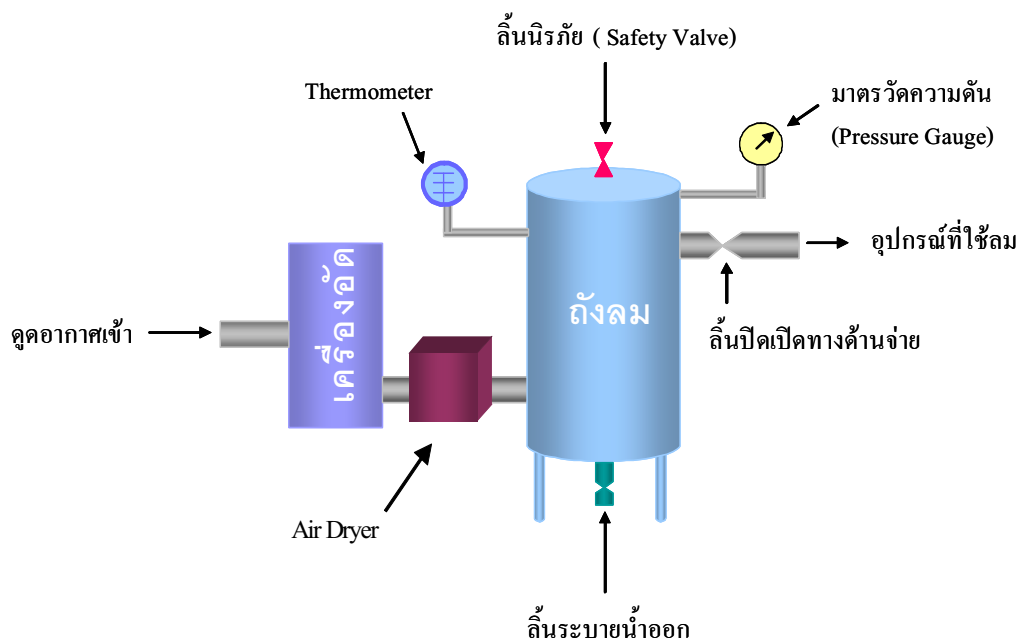
น้ำมันหล่อลื่นจะเป็นตัวนำความร้อนที่เกิดจากการอัดอากาศไประบายทิ้งที่อุปกรณ์ผลิตความร้อนน้ำมัน (Oil Cooler) แล้ว น้ำมันหล่อลื่นที่เย็นลงจะถูกนำกลับมาฉีดเข้าห้องอัดอากาศซ้ำแล้วซ้ำอีก ทำให้ห้องอัดอากาศทำงานที่อุณหภูมิต่ำและมีน้ำมันหล่อลื่นเหลือล้น ทำให้การสึกหรอต่ำมากเกือบไม่สึกหรอเลย จึงไม่น่าแปลกใจถ้าพบเครื่องอัดอากาศโรตารีเวน (Vane Compressor) ซึ่งผลิตปี 1950 ยังมีการใช้งานอยู่ ดังนั้นการทำความเข้าใจกับระบบอากาศอัดให้ดีขึ้นรวมทั้งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและการจัดการการใช้งานอย่างถูกวิธีจะทำให้มีการใช้งานเครื่องจักรที่คุ้มค่าและช่วยประหยัดพลังงานได้



2.3 เครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพิ่มความดันให้กับอากาศ ทำให้อากาศมีความดันสูงขึ้น หรือทำให้อากาศมีความเร็วสูงขึ้นโดยการบีบปริมาตรของอากาศให้เล็กลง แล้วส่งผ่านอากาศที่ถูกอัดไปยังเครื่องทำอากาศแห้ง และถูกเก็บสะสมไว้ในถังลมเพื่อรอใช้งาน ดังรูปที่ 2.3-1 และ รูปที่ 2.3-2

2.3-2



รูปที่ 2.3-1 โครงสร้างของระบบอากาศอัด

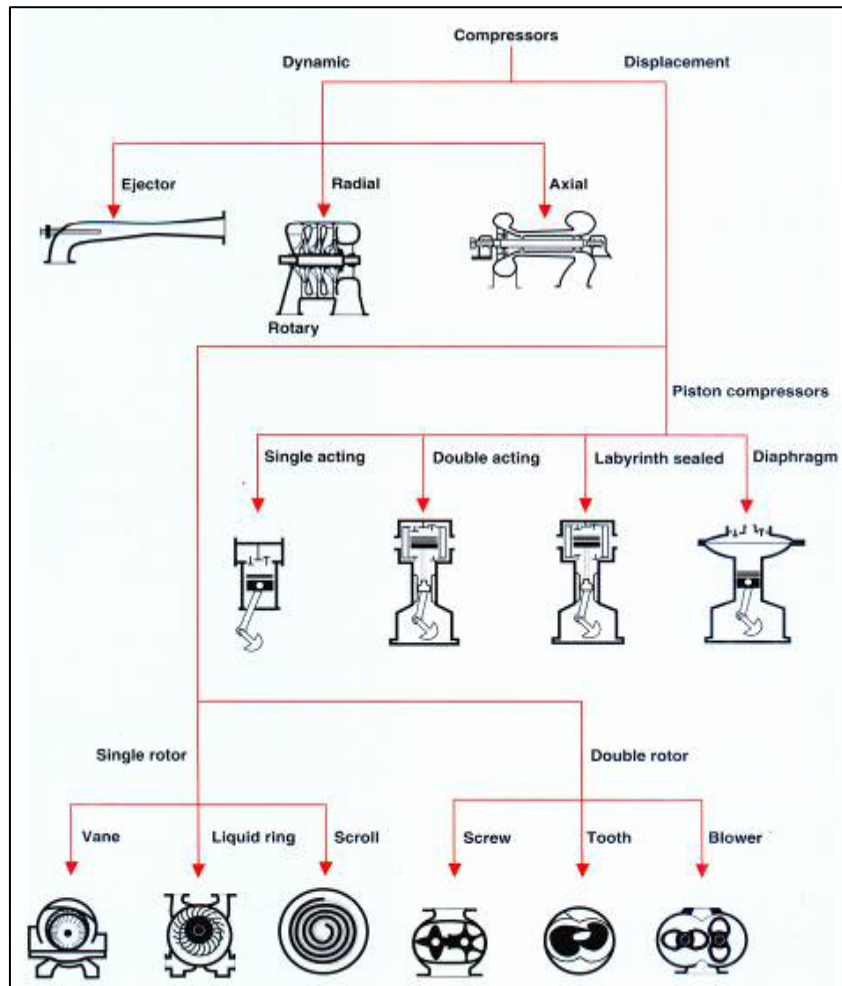


รูปที่ 2.3-2 เครื่องอัดอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม



2.3.1 ประเภทของเครื่องอัดอากาศ

จากรูปที่ 2.3.3 เครื่องอัดอากาศมี 2 ประเภทแต่ละประเภทแยกได้หลายชนิดด้วยกัน ในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเป็นสำคัญ รวมถึงข้อดีข้อเสียเครื่องอัดอากาศแต่ละชนิด



รูปที่ 2.3-3 การแบ่งชนิดของเครื่องอัดอากาศ

1) เครื่องอัดอากาศชนิดประเภทอาศัยหลักการแทนที่

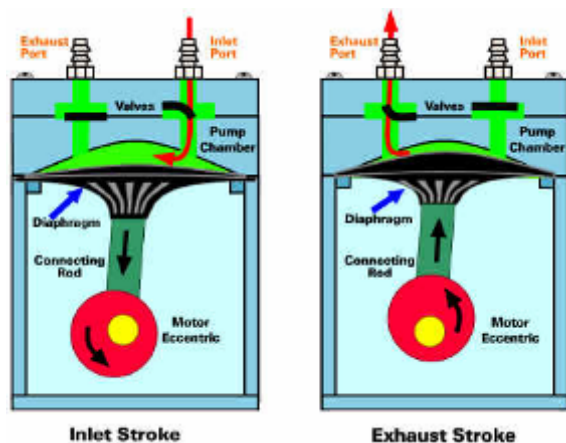
(Positive Displacement Compressor)

อาศัยลูกสูบในช่องอัดที่วิ่งเข้าหาฝาสูบทำให้อากาศมีปริมาตรเล็กลง ความดันเพิ่มขึ้น เมื่อลูกสูบวิ่งห่างจากฝาสูบ ในช่วงอัดจะมีความดันลดลงทำให้อากาศภายนอกช่องอัดที่มีความดันสูงกว่าไหลเข้าช่องอัด (เกิดการดูด) ถ้าอัตราการไหลลดลงเนื่องจากปลายทางใช้อากาศอัดลดลง เครื่องจะสร้างความดันสูงขึ้นจนเครื่องขับเคลื่อนขับไม่ไหว จึงต้องมีลิ้นนิรภัยหรือสวิตช์ความดัน (Safety Valve or Pressure Switch) ระบายความดันออกหรือตัดหยุดเครื่อง โดยปกติเครื่องอัดอากาศประเภทนี้ จะแบ่งได้เป็น



1.1) เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ (Reciprocating Compressor)

เครื่องอัดอากาศแบบนี้สามารถแบ่งเป็น แบบแผ่นไดอะแฟรมและแบบลูกสูบ ซึ่งมีทั้ง Single Acting และ Double Acting ดังรูปที่ 2.3-4 และ รูปที่ 2.3-5



ก) เครื่องอัดอากาศแบบ Diaphragm



ข) เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

รูปที่ 2.3-4 เครื่องอัดอากาศแบบไดอะแฟรมและแบบลูกสูบ Single Acting



รูปที่ 2.3-5 เครื่องอัดอากาศแบบไดอะแฟรมและแบบลูกสูบ Double Acting





รูปที่ 2.3-6 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

ตารางที่ 2.3-1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

ข้อดี	ข้อเสีย
• มีค่าพลังไฟฟ้าเฉพาะในการอัดอากาศระหว่าง 0.36 - 0.40 กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที สำหรับเครื่องขนาดใหญ่ • ผลิตอากาศอัดที่ความดันสูงสุดประมาณ 35 bar • ราคาถูก	• มีค่าพลังไฟฟ้าเฉพาะในการอัดอากาศระหว่าง 0.51 - 0.56 กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที สำหรับเครื่องขนาดเล็ก • เสียงดังขณะทำงาน สึกหรอมากกว่าเพาจะมีส่วนที่เคลื่อนที่มากขึ้น • อากาศอัดที่ได้มีอุณหภูมิสูงจึงเป็นเหตุให้เกิดน้ำในระบบมากกว่าระบบอื่นๆ • ไม่สามารถเดินเครื่องได้ตลอด 24 ชั่วโมงมีความสึกหรองง่ายกว่าระบบอื่นๆ จึงต้อง Overhaul บ่อยครั้ง

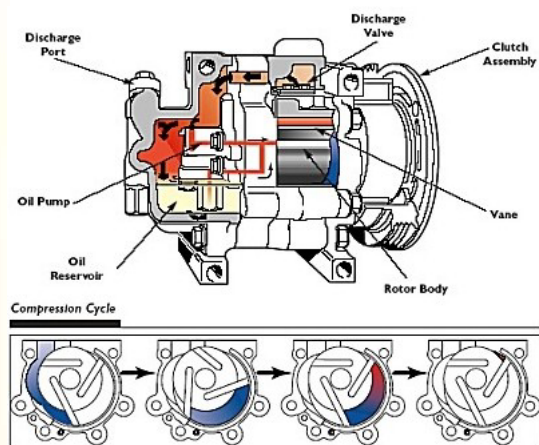


1.2) เครื่องอัดอากาศชนิดโรตารี (Rotary Compressor)

เครื่องอัดอากาศแบบนี้สามารถแบ่งออกเป็นชนิด Root แบบโรตารีเวน (Vane Compressor) และแบบโรตารีสกรู (Screw Compressor) ดังรูปที่ 2.3-7 ถึง 2.3-9 สำหรับเครื่องอัดอากาศชนิดโรตารีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมี 2 แบบ คือ โรตารีเวน (Rotary Van) กับโรตารีสกรู (Rotary Screw) ซึ่งมีข้อแตกต่างกันอยู่พอสมควร

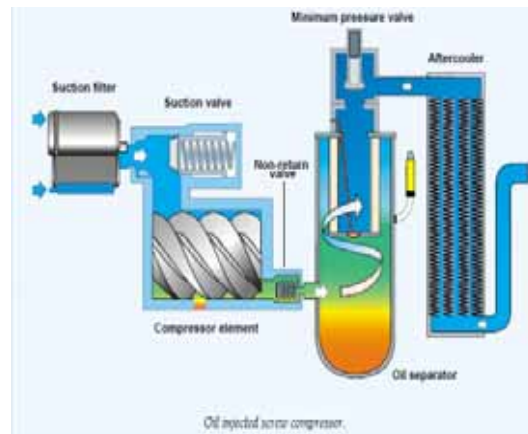
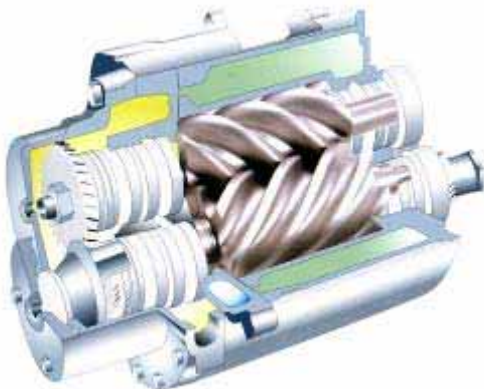


รูปที่ 2.3-7 Root Blower



รูปที่ 2.3-8 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีเวน





รูปที่ 2.3-9 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรู

ตารางที่ 2.3-2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี

ข้อดี	ข้อเสีย
• มีค่าพลังไฟฟ้าเฉพาะในการอัดอากาศระหว่าง 0.39-0.43 กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที สำหรับเครื่องอัดอากาศสกรู • เสียงเครื่องเงียบ • อากาศอัดที่ได้มีอุณหภูมิต่ำกว่าชนิดลูกสูบ • สามารถทำงานได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง • มีคุณภาพของอากาศอัดสูง คือ มีปริมาณน้ำมันหลุดออกไปน้อย	• มีค่าพลังไฟฟ้าเฉพาะในการอัดอากาศระหว่าง 0.45 - 0.51 กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบโรตารีเวน • ผลิตอากาศอัดได้ความดันสูงสุด ประมาณ 20 bar น้อยกว่าลูกสูบ • ราคาแพง



2) เครื่องอัดอากาศชนิดแรงเหวี่ยง (Dynamic or Centrifugal Compressor)

เครื่องอัดอากาศประเภทนี้อาศัยใบพัดหมุนด้วยความเร็วสูงจนทำให้อากาศมีความเร็วสูง โดยทั่วไปเครื่องอัดอากาศแบบแรงเหวี่ยงแบ่งออกได้ดังนี้

2.1) เครื่องอัดอากาศแบบเซนตริฟิวกัล (Centrifugal Compressor)

ซึ่งในวงการผู้ผลิตและผู้ใช้เครื่องอัดอากาศแบบนี้นิยมเรียกว่า เครื่องอัดอากาศเทอร์โบ (Turbo compressor)



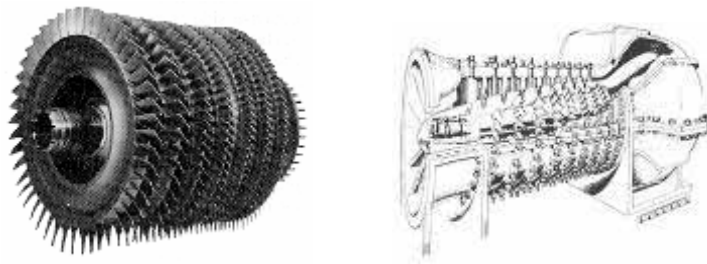
รูปที่ 2.3-10 เครื่องอัดอากาศแบบเซนตริฟิวกัล

ตารางที่ 2.3-3 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแบบเซนตริฟิวกัล

ข้อดี	ข้อเสีย
• สามารถผลิตอากาศอัดได้มาก กล่าวคือ ที่ 1 แรงม้า สามารถผลิตอากาศอัดได้ประมาณ 4.4 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือมีค่าพลังไฟฟ้าเฉพาะระหว่าง 0.36-0.45 กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที • ผลิตอากาศได้มากสามารถจ่ายอากาศอัดได้ทั้งโรงงานมีขนาดใหญ่ 400 - 1,500 แรงม้า) • สามารถทำงานได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง	• เมื่อเครื่องเสียจะทำให้ไม่มีอากาศอัดใช้ทั้งโรงงาน • เนื่องจากเครื่องอัดอากาศมีขนาดใหญ่ ทำให้กินกำลังไฟฟ้ามาก • ไม่เหมาะสำหรับโรงงานที่ใช้อากาศอัดน้อยและมีการใช้อากาศอัดที่ไม่สม่ำเสมอ (ไม่ควรให้เครื่องมีสภาวะ Unload เนื่องจากมอเตอร์กินกำลังไฟฟ้าสูง)



2.2) เครื่องอัดอากาศแบบไหลตามแกน (Axial Flow Compressor)



รูปที่ 2.3-11 เครื่องอัดอากาศแบบไหลตามแกน (Axial Flow)

ตารางที่ 2.3-4 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแบบไหลตามแกน

ข้อดี	ข้อเสีย
• สามารถผลิตอากาศอัดได้มาก • สามารถทำงานได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง	• ค่าความดันมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วรอบ • ต้องใช้ไส้กรองอากาศที่มีความละเอียดสูง

2.3.2 ค่าพลังไฟฟ้าเฉพาะในการอัดอากาศของเครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศมีหลายประเภท ในแต่ละประเภทก็จะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับลักษณะของภาระงานและประสิทธิภาพในการใช้พลังงานแตกต่างกัน การเลือกซื้อเครื่องอัดอากาศจึงจำเป็นต้องเลือกให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับลักษณะของภาระในตารางที่ 2.3-5 แสดงให้เห็นถึงค่าพลังไฟฟ้าเฉพาะในการอัดอากาศ (Specific Power Consumption) และตารางที่ 2.3-6 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแต่ละประเภท



ตารางที่ 2.3-5 ค่าพลังไฟฟ้าจำเพาะของเครื่องอัดอากาศแบบต่าง ๆ

ชนิดเครื่องอัดอากาศ	มีน้ำมัน/ ไม่มีน้ำมัน	ระบายความร้อน	อัตราการผลิตอากาศ (ลิตร/วินาที)	พลังไฟฟ้าเฉพาะ (กิโลวัตต์ต่อลิตร ต่อวินาที) ที่ 7 bar
ลูกสูบ	มีน้ำมัน	อากาศ	2 - 25	0.51
	มีน้ำมัน	อากาศ/น้ำ	25 - 250	0.42
	มีน้ำมัน	อากาศ/น้ำ	25 - 1,000	0.36
	ไม่มีน้ำมัน	อากาศ	2 - 25	0.56
	ไม่มีน้ำมัน	อากาศ/น้ำ	25 - 250	0.47
	ไม่มีน้ำมัน	อากาศ/น้ำ	25 - 1000	0.40
สกรู	ฉีดน้ำมัน	อากาศ	2 - 25	0.51
	ฉีดน้ำมัน	อากาศ	25 - 250	0.45
	ฉีดน้ำมัน	อากาศ/น้ำ	25 - 1,000	0.40
	ไม่มีน้ำมัน	อากาศ/น้ำ	25 - 250	0.43
	ไม่มีน้ำมัน	อากาศ/น้ำ	250 - 1,000	0.39
	ไม่มีน้ำมัน	อากาศ/น้ำ	1,000 - 2,000	0.39
โรตารีเวน	ฉีดน้ำมัน	อากาศ	2 - 25	0.51
	ฉีดน้ำมัน	อากาศ	25 - 250	0.45
เซนตริฟิวกัล/ เทอร์โบ	ไม่มีน้ำมัน	น้ำ	250 - 1,000	0.45
	ไม่มีน้ำมัน	น้ำ	1,000 - 2,000	0.39
	ไม่มีน้ำมัน	น้ำ	>2,000	0.36



ตารางที่ 2.3-6 การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของเครื่องอัดอากาศแบบต่างๆ

รายการ	ชนิดเครื่องอัดอากาศ			
	ลูกสูบ	โรตารีเวน	สกรู	เซนตริฟิวกัล
ระดับเสียง	สูง	ต่ำสุด	เงียบถ้าปิดมิดชิด	เงียบถ้าปิดมิดชิด
ขนาด	ไม่กะทัดรัด	กะทัดรัด	กะทัดรัด	กะทัดรัด
น้ำมันที่ถูกพาไปกับอากาศ	มีบ้าง	ต่ำ - ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ
การสั่นสะเทือน	สูง	เกือบไม่มี	เกือบไม่มี	ปานกลางเพราะความเร็วรอบสูง
การบำรุงรักษา	มีชิ้นส่วนสึกหรอหลายชิ้น	มีชิ้นส่วนสึกหรอน้อยชิ้น	มีส่วนสึกหรอน้อยมาก	ต่ำ
ปริมาณ	ต่ำ - สูง	ต่ำ - ปานกลาง	ต่ำ - สูง	ต่ำ - สูง
ความดัน	ปานกลาง - สูงมาก	ต่ำ - ปานกลาง	ปานกลาง - สูง	ปานกลาง - สูง
ประสิทธิภาพที่โหลดเต็มที่	สูง	ปานกลาง-สูง	สูง	สูง
ประสิทธิภาพที่โหลดบางส่วน	สูง	ไม่ดี หรือโหลดต่ำกว่า 60%	ไม่ดี เมื่อโหลดต่ำกว่า 60%	ไม่ดี เมื่อโหลดต่ำกว่า 70%



2.4 ระบบควบคุมเครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศส่วนใหญ่ที่ใช้งานอยู่จะทำงานได้น้อยกว่าปกติเพราะเป็นเครื่องที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ที่ต้องทำงานผันแปรไปตามความต้องการในแต่ละวัน การควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศอย่างมีประสิทธิภาพโดยมีโหลดบางส่วน และการปิดเครื่องเมื่อไม่มีความจำเป็นต้องใช้งานจะสามารถทำให้ประหยัดได้ประมาณ 5 -20 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งมีหลักเกณฑ์การควบคุมเครื่องอัดอากาศ 3 หลักเกณฑ์ที่ควรคำนึงถึง คือ

- 1) การควบคุมเครื่องอัดอากาศแยกแต่ละเครื่อง
- 2) การควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบหลายเครื่อง
- 3) การควบคุมระบบโดยรวม

2.4.1 การควบคุมเครื่องอัดอากาศแยกแต่ละเครื่อง

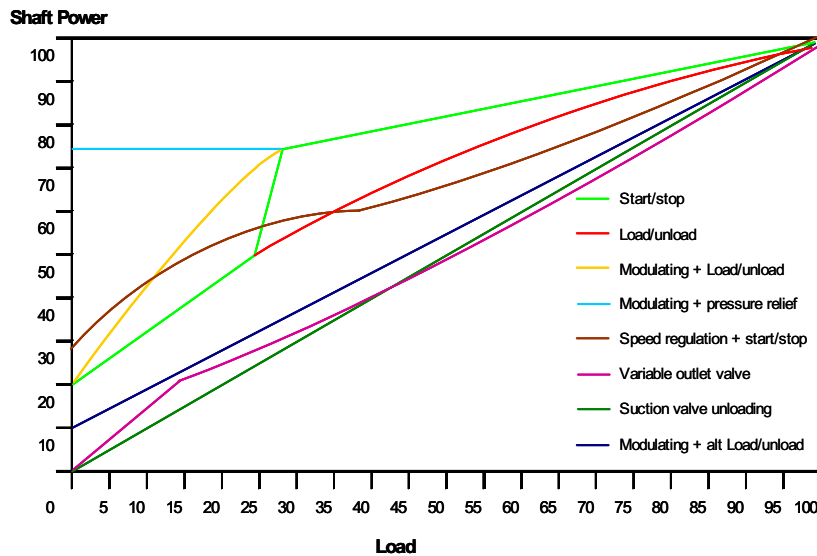
เครื่องอัดอากาศมีหลายรูปแบบและมีวิธีการควบคุมจำนวนมากและการควบคุมเป็นกลุ่มซึ่งรูปแบบการควบคุมเครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้มากที่สุด คือ

- การเปิด/ปิด เฉพาะเครื่องขนาดเล็ก
- มีภาระและปลดภาระ (On-Line/ Off-Line)
- ลดโหลด (Unloading) ใช้กับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ
- แบบ Modulating

1) ระบบเปิด/ปิดอัตโนมัติ (Automatic Start/ Stop)

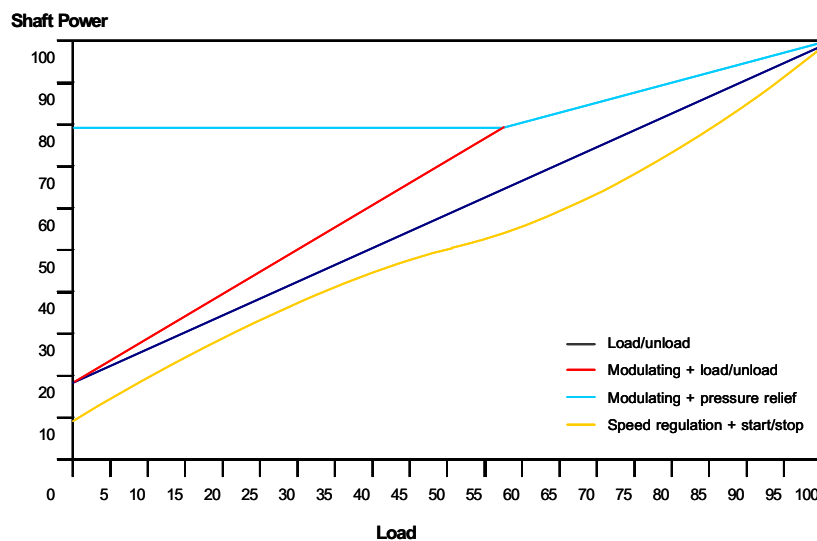
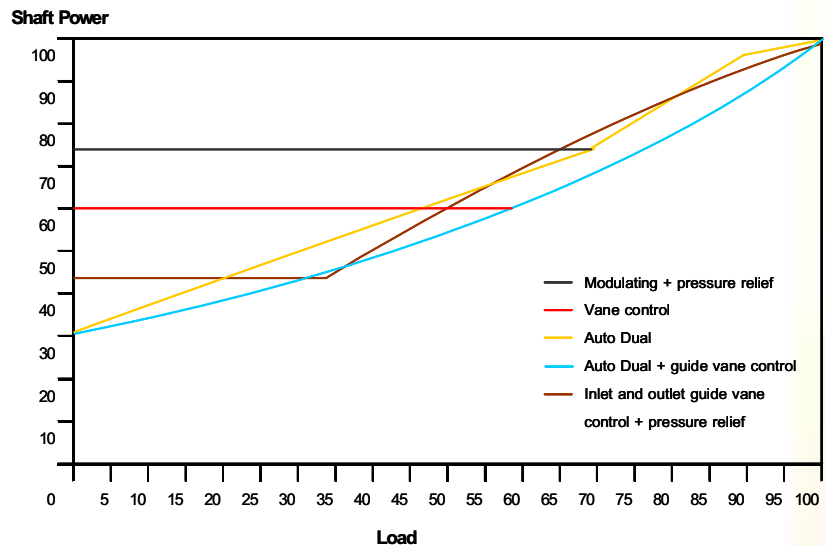
ระบบควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวน และสกรู สำหรับเครื่องอัดอากาศที่มีอัตราการผลิตอากาศน้อยกว่า 10 ลิตรต่อวินาที มอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศจะปิดเมื่อไม่ต้องการใช้งาน จะเปิดเมื่อมีการทำงานพร้อมกับการใช้พลังงานอย่างคงที่ ณ ระดับความดันปกติ และเมื่อปิดการใช้พลังงานจะเท่ากับศูนย์ ดังรูปที่ 2.4-1 วิธีนี้จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเดิมของเครื่องและลักษณะเฉพาะในทางอุดมคติของประสิทธิภาพที่มีโหลดบางส่วน อย่างไรก็ตามอาจมีปัญหาลักษณะที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เกิดขึ้นกับความต้องการที่มีโหลดบางส่วนจากการเปิด/ ปิดเครื่องอัดอากาศบ่อยๆ ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่





The relation between the shaft power and flow for oil lubricated compressors with different regulation systems and combinations of regulation systems

The relation between the shaft power and flow for dynamic compressors with different regulation systems and combinations of regulation systems



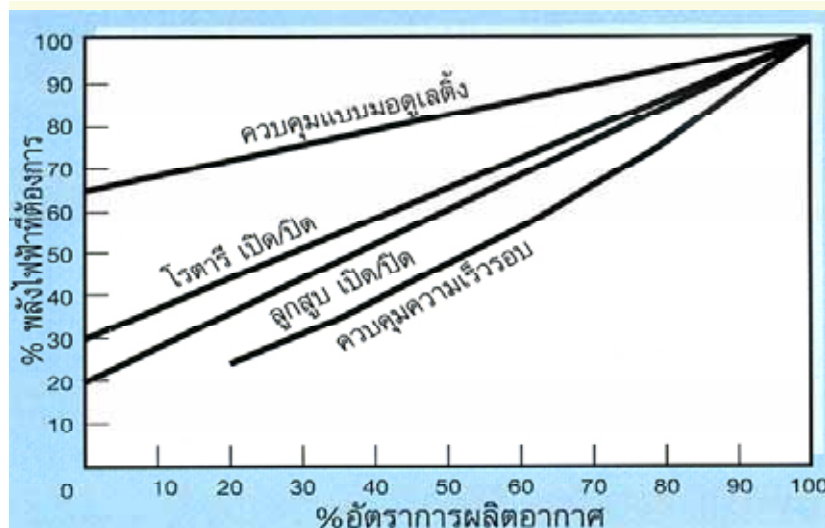
The relation between the shaft power and flow for oil-free compressors with different regulation systems and combinations of regulation systems

รูปที่ 2. 4-1 ระบบควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบแยกแต่ละเครื่อง



2) ระบบควบคุมแบบมีภาระ/ ปลดภาระ (On-Line/ Off-Line)

ระบบควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวน และสกรู ส่วนมากจะใช้กับระบบมีภาระ/ ปลดภาระ (On-Line/ Off-Line) เมื่อมีการอัดอากาศเกิดขึ้นจริงจะมีความทำงานใกล้เคียงกับอัตราการใช้พลังงาน แต่เมื่อความต้องการอากาศอัดเหมาะสมเครื่องอัดอากาศจะทำงานอย่างต่อเนื่องแต่เป็นแบบปลดภาระ (Off-Line) ในรูปที่ 2.4-2 แสดงให้เห็นถึงการควบคุมแบบมีภาระ/ ปลดภาระ (On-Line/ Off-Line) โดยมีโหลดบางส่วน และยังแสดงให้เห็นถึงอัตราเฉลี่ยของความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ภาระโหลดเฉพาะ ดังเช่นการทำงานในเวลา 10 นาที ซึ่ง 10 นาทีที่หยุดการทำงานจะเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการอากาศอัด และเมื่อปลดภาระ (Off-Line) ที่ภาระโหลดต่ำ นั้นก็หมายถึงว่า มีความเป็นไปได้ที่จะประหยัดพลังงานในระหว่างการทำงานโดยสัมพันธ์กันกับวงจรของมอเตอร์



รูปที่ 2.4-2 ระบบควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบ On line/ Off line

การควบคุมเครื่องอัดอากาศโดยการปิดวาล์วอย่างสมบูรณ์ที่ท่อทางเข้าของอากาศ หรือกับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบบางรุ่น การปิดวาล์วที่ตำแหน่งท่อดูดจะทำให้มีผลต่อการปลดภาระ เมื่อระบบความดันอยู่ที่ระดับสูงสุดที่กำหนดไว้จะทำให้การทำงานของเครื่องอัดอากาศย้อนกลับไปที่มีภาระที่ระดับความดันต่ำตามที่กำหนดไว้

สำหรับในเรื่องนี้จะทำให้ประหยัดพลังงานได้อย่างมากในการใช้เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ โดยเริ่มจากการเคลื่อนที่ในกระบอกสูบจนอยู่ในสภาวะสูญญากาศ ซึ่งจะทำให้ไม่มีโหลด การทำงานจะลดลงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของโหลดเต็มพิกัด

สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบสกรูและแบบโรตารีเวนชนิดมีน้ำมัน ปกติจะมีระบบฉีดน้ำมันเพื่อรักษาระดับความดัน ซึ่งจะทำให้มีการใช้พลังงานใช้พลังงานในช่วงไม่มีภาระโหลดประมาณ 30 - 40 เปอร์เซ็นต์ของโหลดเต็มพิกัด เมื่อนำเรื่องการสูญเสียของมอเตอร์มาพิจารณาด้วย



การใช้ On-line/ Off-line ควบคุมการไหลที่ท่อขาเข้า ของเครื่องอัดอากาศแบบสกรูชนิดไม่มีน้ำมันจะคล้ายกันมากกับวิธีการควบคุมที่อธิบายมาแล้วข้างต้น ซึ่งการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบสกรูชนิดไม่มีน้ำมันส่วนใหญ่จะทำงานแบบ 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเป็นการควบคุมอัตราการไหลและการไหลเวียนของอากาศ โดยในขั้นตอนที่ 2 จะนำกลับมาที่ท่อทางเข้าเพื่อลดอุณหภูมิที่ชุดหล่อเย็น ซึ่งวิธีนี้จะลดการใช้พลังงานได้น้อยกว่าเครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรูชนิดใช้น้ำมัน

3) การควบคุมแบบมีภาระ/ปลดภาระและแบบอัตโนมัติ

(On-Line/Off-Line and Auto)

สวิตช์ปิดอัตโนมัติของมอเตอร์จะทำงานเมื่อเครื่องทำงานโดยไม่มีโหลดตามที่ผู้ใช้งานกำหนดระยะเวลาไว้ ตัวอย่างเช่น 10-20 นาที และเครื่องจะเปิดใหม่เมื่อต้องการอากาศอัด ซึ่งจำนวนครั้งที่มากที่สุดของการเปิดเครื่องใหม่จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตมอเตอร์ เช่น 3-4 ครั้งต่อชั่วโมง และถ้ามีเวลาการทำงานน้อยที่สุดไม่ควรลดจำนวนครั้งให้ต่ำกว่าที่กำหนดไว้

การทำงานของเครื่องอัดอากาศโดยมีโหลดบางส่วนภายใต้การควบคุมด้วยวิธีนี้จะสัมพันธ์กันกับการเปิด/ปิด ของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ และมีการหยุด/เริ่มเดิมเครื่องแบบอัตโนมัติทำให้สามารถนำระบบซอฟต์แวร์เทอร์ (Soft Starter) หรือการเริ่มเดินเครื่องแบบนุ่มนวลมาใช้กับมอเตอร์ เมื่อต้องเปิดและปิดเครื่องบ่อยๆ ซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมากด้วยการลดโหลดในขณะทำงาน

4) การควบคุมแบบหลายขั้นตอน (Clearance Pocket Unloading)

ระบบควบคุมนี้ใช้เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เป็นความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของอากาศที่ท่อทางเข้ากับความดันป้อนเข้าภายในฝาครอบในกระบอกสูบมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งหรือหนึ่งในสี่ส่วนของอัตราการผลิตอากาศของเครื่องอัดอากาศ ซึ่งอากาศที่เข้าไปแทนที่อย่างต่อเนื่องในฝาครอบ ก่อนข้างจะน้อยกว่าการทำให้เกิดอากาศอัดภายในระบบ สอดคล้องกับการทำงานของเครื่องอัดอากาศที่มีภาระโหลดบางส่วน ในการรักษาความดันของอากาศไม่ให้สูญเสีย จะช่วยทำให้ช่วงจังหวะการเคลื่อนตัวของลูกสูบเคลื่อนกลับปกติ แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพบางส่วนสูญเสียไปก็ตาม ลักษณะเฉพาะของการทำงานที่มีภาระโหลดบางส่วนจะคล้ายๆ กับการควบคุมแบบ On-Line/ Off-Line ที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ แต่จะสามารถปรับปริมาณอากาศได้ถึง 5 ระดับคือ 100 - 75 - 50 - 25 และ 0 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นอยู่ในรูปที่ 2.4.2 อย่างไรก็ตามวิธีนี้ถูกมองว่ามีประสิทธิภาพต่ำ

5) การควบคุมแบบ Modulating โดยการหมุนวาล์ว (Modulating-by Turn Valves)

ระบบควบคุมสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบสกรูชนิดฉีดน้ำมัน โดยอากาศอัดมีการเปลี่ยนแปลงด้วยการแทนที่ของอากาศ ที่ควบคุมด้วยการหมุนวาล์วควบคุมแบบเกลียวกันหอย (Helical) โดยการเปิดทางเข้าของท่อหรือท่อย่อยเพื่อให้อากาศส่วนเกินไหลย้อนกลับไปยังท่อดูดเข้าเครื่อง ในทางปฏิบัติจะพบว่า วิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพคล้ายกับการควบคุมแบบ On-Line/ Off-Line อย่างไรก็ตามระบบนี้ทำให้สามารถควบคุมความดันแตกต่างกันได้ 0.1 บาร์ ตลอดระยะเวลาที่ควบคุมด้วยวิธี Modulating



6) การควบคุมแบบมอดูเลตด้วยคันบังคับการไหลที่ทางเข้า (Modulating-by Inlet Throttling)

ระบบควบคุมสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวนและสกรูเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวนและสกรู สามารถควบคุมได้โดยการใช้การควบคุมแบบModulatingด้วยวาล์วควบคุมการไหลหรือใช้คันบังคับ (Throttling Valve) การไหลที่ทางดูด วิธีนี้นำมาใช้ในการเปลี่ยนแปลงช่องวาล์ว โดยยอมให้อากาศบางส่วนไหลเข้ามาที่ท่อทางดูด ทำให้ระบบมีความดันเพิ่มขึ้น เพื่อให้ทำให้อากาศที่ผลิตจากเครื่องลดลง ข้อดีของวิธีนี้สามารถรักษาระดับความดันภายในให้มีความแตกต่างกันน้อยมาก

ถ้ามีการควบคุมการไหลอย่างต่อเนื่องจะทำให้ความดันที่ท่อทางดูดลดลงและอัตราส่วนของการอัดอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานที่ต่ำโดยมีภาระโหลดบางส่วนแต่จะสูงมากกว่าการควบคุมแบบ On-Line/ Off-Line

จากการที่อัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นเป็นผลให้อุณหภูมิของอากาศที่ส่งจ่ายเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหานี้วิธี Modulating จะควบคุมอากาศให้ไหลผ่านได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่พลังงานลดลงจะสามารถทำให้อากาศอัดเพิ่มสูงขึ้นถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวิธีควบคุมการไหลของอากาศอัดที่ผลิตได้วิธีนี้จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการควบคุมแบบ On-Line/ Off-Line และจะนำมาใช้ได้กับเครื่องอัดอากาศที่มีภาระโหลดสูงเท่านั้น และสามารถนำมาใช้ได้กับเครื่องที่มีภาระโหลดต่ำๆได้แต่ไม่ค่อยจะมีประสิทธิภาพ

7) การควบคุมแบบ Modulating ด้วยคันบังคับการไหลที่ทางเข้า (Modulating – by Inlet Throttling) ร่วมกับการควบคุมแบบ On-Line/Off-Line)

ระบบควบคุมสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเวนและสกรูเป็นการเลือกวิธีการควบคุมแบบModulating ร่วมกับแบบ On-line/ Off-line เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการควบคุมแบบ Modulating จะไม่ถูกนำมาใช้กับการทำงานที่มีโหลดต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ระบบนี้จะมีความผันแปรอันเนื่องมาจากการควบคุมด้วยมือจึงควรเลือกเพียงหนึ่งในวิธีการหรือเลือกการควบคุมวิธีการอื่นๆ

8) การควบคุมแบบ Modulating ด้วยวาล์วที่ท่อทางดูด (Modulating – by Suction Valve) ที่ไม่มีโหลด

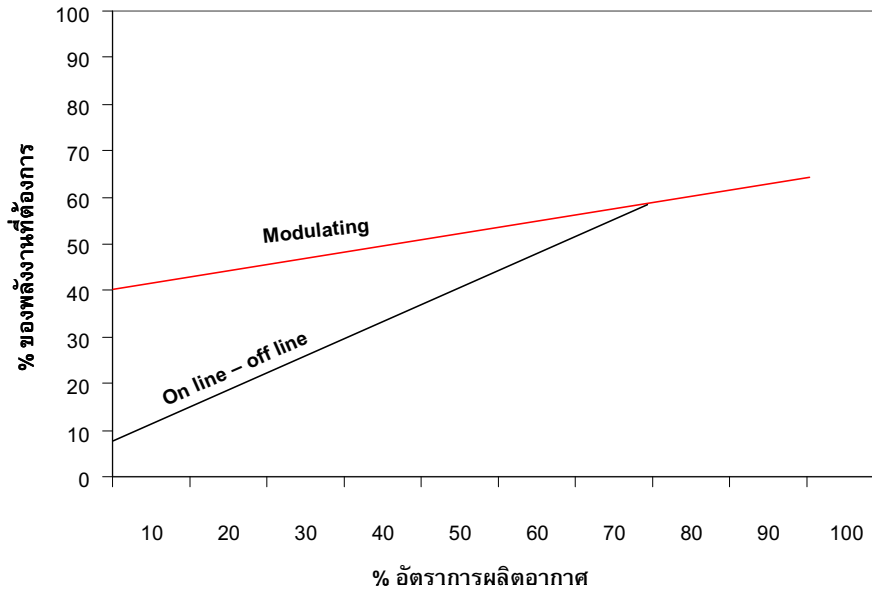
ระบบควบคุมเฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบการทำงานของวาล์วที่ท่อทางดูดจะสามารถปรับเพิ่มขึ้นเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงการควบคุมระยะเวลาระหว่างการเปิดวาล์ว ซึ่งวิธีนี้สามารถที่จะนำมาควบคุมจังหวะการเปิดให้น้อยลงจากสภาวะที่ไร้โหลดจนถึงภาวะที่มีภาระโหลดเต็มพิกัด

9) การควบคุมแบบModulatingด้วยคันบังคับด้านทางดูดร่วมกับท่อบายพาส (Modulating – by Inlet Throttle with Bypass)

ระบบควบคุมเฉพาะเครื่องอัดอากาศชนิดไดนามิค (Dynamic) แบบเทอร์โบ ซึ่งจะถูกออกแบบอย่างปรารถนาเพื่อให้มั่นใจได้ว่า จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของอุณหภูมิสูงและความดันต่ำในแต่ละวัน รวมทั้งการไหลย้อนกลับของอากาศทันทีทันใดภายในเครื่องอัดอากาศ ซึ่งต้องการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการฉีกตัวเกิดขึ้นในระหว่างการทำงานปกติ ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้มีความต้องการ



พลังงานที่มีภาระโหลดเต็มพิกัดในแต่ละวันเพิ่มขึ้นเพื่อให้อากาศทางเข้ามีความหนาแน่นสูงขึ้น ดังรูปที่ 2.4-3



รูปที่ 2.4-3 ระบบควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบ Modulating

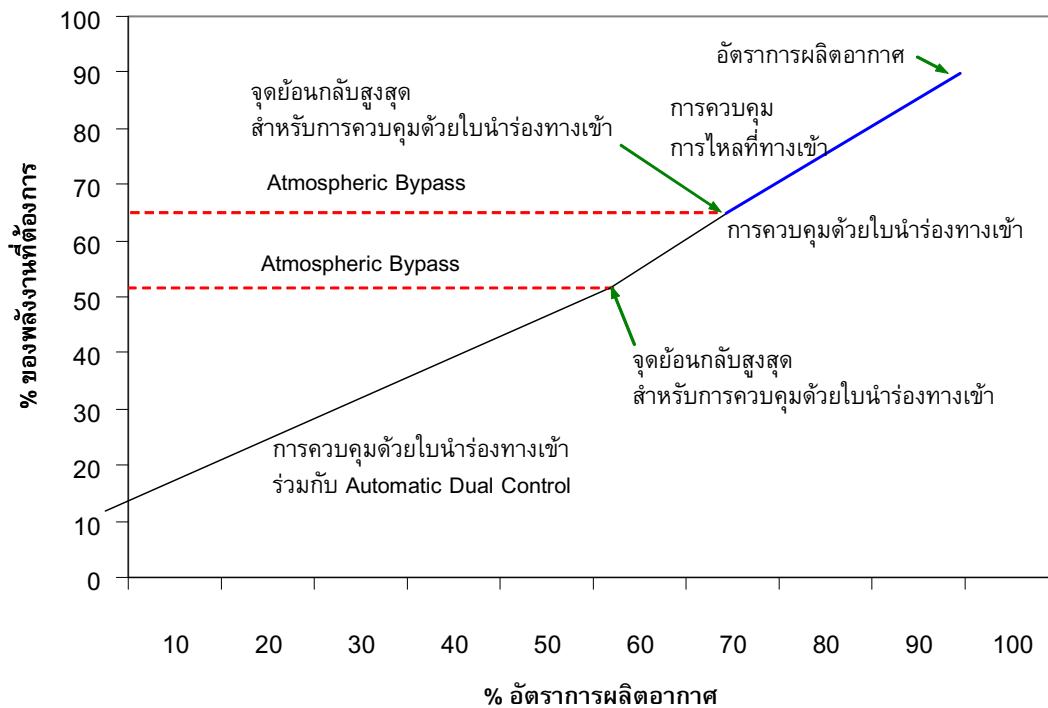
ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบที่มีโหลดบางส่วน จะได้รับการออกแบบตามหลักอากาศพลศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างเต็มที่ ดังรูปที่ 2.4.4 จะแสดงผลการทำงานที่มีโหลดบางส่วนของเครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบที่ใช้วิธีการควบคุมแบบต่างๆ

การควบคุมการไหลที่ท่อทางดูดของเครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบ จะมีผลต่างกับเครื่องอัดอากาศลูกสูบและสกรู เพราะการควบคุมการไหลของอากาศจะช่วยลดมวลของอากาศให้ไหลเวียนได้ง่ายขึ้น เพื่อส่งไปยังเครื่องกระตุ้นให้หมุนในขั้นตอนแรก และทำให้พลังงานที่นำมาใช้ลดลง

ข้อจำกัดของการควบคุมวิธีนี้คือ เมื่อความดันเพิ่มขึ้นอัตราการผลิตอากาศจะลดลงไปจนถึงจุดการเปลี่ยนแปลงความดันตามธรรมชาติ (Natural Surge Pressure) ซึ่งใกล้เคียงกับความดันของการทำงานหรือรู้จักในอีกชื่อว่า จุดย้อนกลับสูงสุด (Point of Maximum Turndown) จากรูปที่ 2.4.4 เมื่อจุดย้อนกลับสูงสุดต่ำลงวาล์วที่ท่ออากาศจะเปิดออกเพื่อระบายอากาศออกไปสู่บรรยากาศในสัดส่วนที่เหมาะสม

การควบคุมวิธีนี้เป็นวิธีที่ทำให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการควบคุมแบบModulating การใช้พลังงานจะลดลงเหลือ 70 เปอร์เซ็นต์ของโหลดเต็มพิกัดของขอบเขตที่มากกว่านี้ การใช้พลังงานจะลดลงเกือบจนอยู่ในระดับเดียวกับอัตราการไหลและรักษาระดับของความดันให้มีความแตกต่างกันน้อยที่สุดประมาณ 0.1 บาร์ แต่อยู่ต่ำกว่าจุดย้อนกลับสูงสุด ซึ่งอากาศส่วนเกินจะถูกระบายออกสู่บรรยากาศ และเป็นวิธีการที่ทำให้สิ้นเปลืองมาก





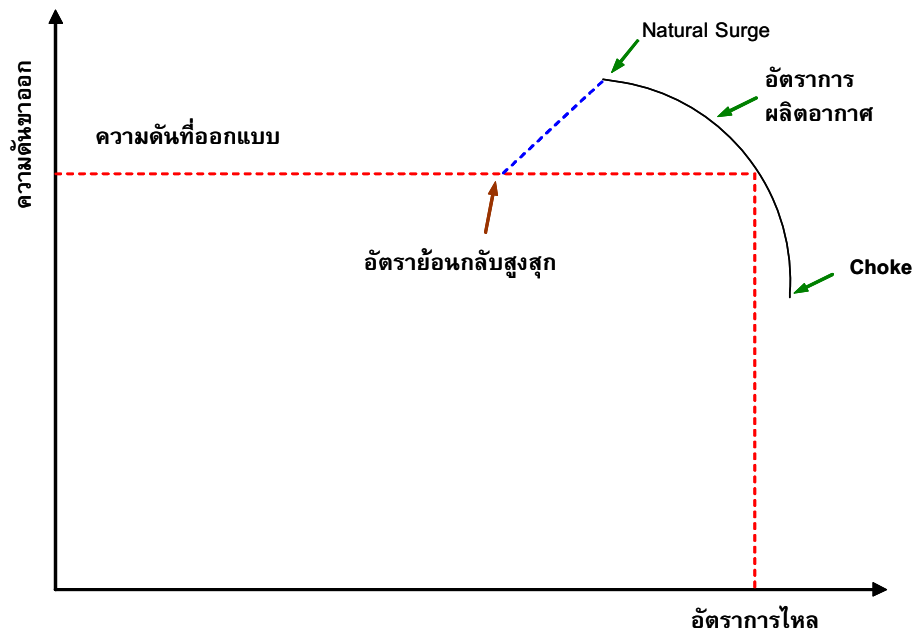
รูปที่ 2.4-4 ระบบควบคุมแบบ Modulating – by Inlet Throttle with Bypass ของเทอร์โบคอมเพรสเซอร์

10) การควบคุมอากาศด้วยไบนาร่องทางเข้ากับบายพาส

(Inlet Guide Vanes with Atmospheric Bypass)

เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบ เป็นการควบคุมอากาศด้วยไบนาร่องทางเข้า (Inlet Guide Vane) จะเป็นใบพัดชนิดปรับมุมได้ที่ตั้งอยู่ที่ท่อทางดูดของเครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบ การควบคุมวิธีนี้นิยมนำมาใช้มากกว่าการควบคุมการไหลที่ท่อทางเข้า ซึ่งจะทำให้การทำงานที่มีโหลดบางส่วนมีประสิทธิภาพมากกว่าและประสิทธิภาพลดลงภายในระยะที่กำหนด โดยเฉพาะในสภาวะที่มีการออกแบบไม่ตรงกับมาตรฐานที่ด้านขาเข้า





รูปที่ 2.4-5 การควบคุมแบบการใช้ Inlet Guide Vane

11) การควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Dual Control)

เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบ เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียของอากาศอัดจากการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบเทอร์โบ โดยใช้วิธีการควบคุมแบบ Automatic Dual Control ซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อหาเหตุผลของจุดย้อนกลับสูงสุดและอยู่ใกล้กับวาล์วควบคุมการไหลที่ท่อทางดูดและเครื่องยังสามารถทำงานโดยไม่มีโหลด การควบคุมวิธีนี้จะใช้วิธีการเดียวกับ Modulating + On-Line/ Off-Line ซึ่งจะทำให้การใช้พลังงานลดลง แต่ข้อเสียของการควบคุม Automatic Dual Control คือ จะมีความแตกต่างของความดันเพิ่มขึ้นประมาณ 0.5 บาร์ ระหว่างการทำงานที่มีโหลดต่ำ

12) การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศ

การใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (Variable Speed Control) เป็นวิธีควบคุมเครื่องอัดอากาศวิธีใหม่ ซึ่งจะทำขอบเขตการควบคุมกว้างขึ้น (ลดลงได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ของกำลังการผลิต) สามารถผลิตอากาศอัดได้สอดคล้องกับความต้องการ เป็นวิธีที่เหมาะสมกับเครื่องอัดอากาศแบบสกรู ในกรณีที่มีการนำอุปกรณ์ควบคุม ความเร็วรอบมาติดตั้งหลายเครื่องควรพิจารณาถึงตำแหน่งที่สำคัญๆ ของการควบคุมเครื่องก่อนและหลังสุด

ราคาอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบจะมีราคาสูง แต่ก็ยังเป็นที่ยิมนำมาใช้มากกว่าการควบคุมด้วยอุปกรณ์เสริมให้ดีขึ้น (Retrofitting) เช่น กระปุกเฟืองเกียร์ สายพานตัวขับเคลื่อนและการควบคุมวิธีอื่นๆ ที่ไม่จำเป็น แต่มีความเป็นไปได้ในการนำอุปกรณ์เสริมให้ดีขึ้นมาใช้ควบคุมความเร็วรอบ แต่ควร



นำมาใช้อย่างระมัดระวังเพื่อให้มั่นใจได้ว่าเหมาะกับเครื่องอัดอากาศแบบมีน้ำมันที่มีความเร็วรอบต่ำ และเพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานที่มีความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant Frequency)

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบจะทำให้ควบคุมระบบอัดอากาศได้ดีขึ้น และความดันมีค่าเฉลี่ยต่ำลง ตัวอย่างเช่นถ้าความดันลดลง 0.5 บาร์ จะทำให้ประหยัดได้ 3 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงาน

การใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบจะเหมาะกับเครื่องอัดอากาศที่มีโหลดบางส่วนที่มีช่วงระยะเวลานานๆแต่จะไม่เหมาะกับเครื่องอัดอากาศที่มีโหลดเต็มพิกัดเพราะไม่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศในขณะนี้จะนิยมนำมาใช้กับเครื่องอัดอากาศแบบสกรู (เป็นอุปกรณ์ Standard Measure ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้กับมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (AC Induction Motor) และมอเตอร์ความต้านทานแม่เหล็ก (Reluctance Motor)

2.4.2 การควบคุมแบบหลายๆ เครื่อง (Multiple Compressor Control)

ลักษณะของการติดตั้งส่วนใหญ่จะมีเครื่องอัดอากาศมากกว่า 1 เครื่อง เพราะสำหรับสำรองไว้ใช้ในช่วงซ่อมบำรุงรักษาและรองรับสภาวะของความต้องการอากาศอัดต่างๆ และยังสามารถควบคุมการทำงานได้อย่างต่อเนื่องแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ทำงานร่วมกันอย่างดีที่สุดเหมาะกับความดันที่ต้องการพื้นฐานหรือในบางกรณีที่มีการตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศจะสามารถจัดลำดับหมุนเวียนการทำงานเพื่อให้เครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่องเสื่อมสภาพเท่ากันและยังมีความเป็นไปได้ที่จะหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องที่ไม่มีประสิทธิภาพ จากวิธีการควบคุมแบบอัตโนมัติที่เหมาะสมกับการควบคุมเครื่องอัดอากาศที่ติดตั้งหลายๆ เครื่องที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 วิธี คือ

1) การควบคุมความดันตามลำดับขั้น (Cascade Pressure Control)

จากวิธีการควบคุมอย่างง่าย ๆ นี้เป็นการควบคุมบนพื้นฐานของสวิตช์ควบคุมความดันของเครื่องอัดอากาศซึ่งนำไปสู่การควบคุมเครื่องจำนวนมากเพื่อป้องกันความดันตกคร่อม ปกติสวิตช์ควบคุมความดันหรือทรานส์มิเตอร์จะติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องของโรงงานทำให้ได้รับการตอบสนองต่อการควบคุมอย่างมา ถึงเป็นสถานที่ที่อยู่ไกลถึงปลายสุดของเครือข่ายการส่งจ่ายอากาศ อย่างไรก็ตามควรนำมาใช้อย่างระมัดระวังเพื่อให้มั่นใจได้ว่าไม่มีความดันอากาศสูงที่ไม่จำเป็น เพียงพอกับระบบท่อและการปรับปรุงคุณภาพของความดันตกคร่อม

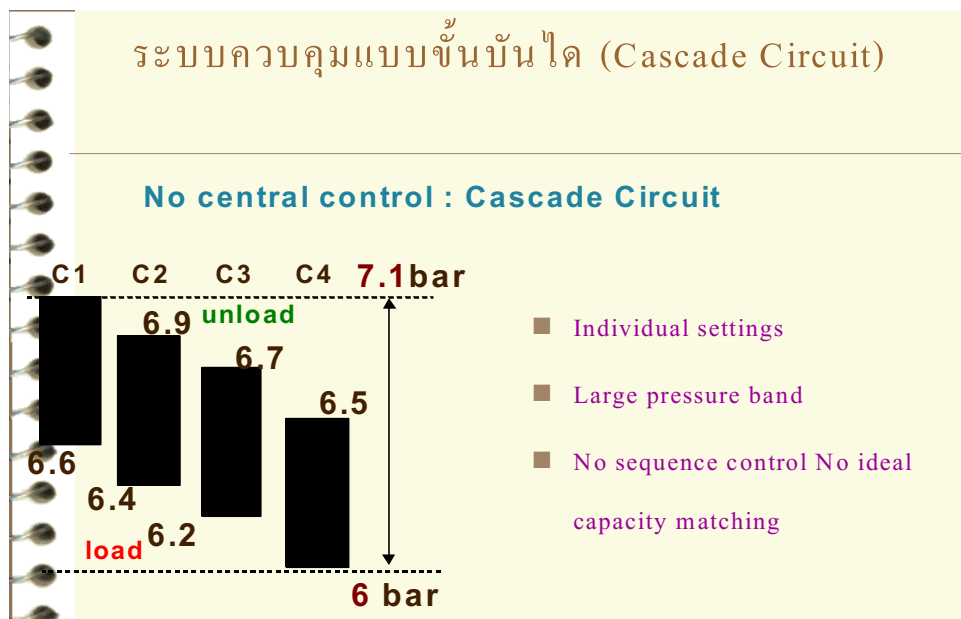
จากรูปที่ 2.4-6 แสดงการทำงานของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 เป็นเครื่องโหลดพื้นฐานที่กำหนดให้มีความดันสูงที่สุดสำหรับความต้องการอากาศต่ำๆ ซึ่งถ้ามีความต้องการอากาศเพิ่มขึ้นความดันจะลดลงนำไปสู่การทำงานของเครื่องที่ 2 ที่ออนไลน์อยู่และส่งไปยังเครื่องต่อไป จนกระทั่งถึงระดับความต้องการอากาศสูงสุดสำหรับเครื่องอัดอากาศทั้ง 4 เครื่อง

เครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่องจะกำหนดค่าความดันแตกต่างกันในช่วงมีโหลดและไม่มีภาระโหลดแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.4-6 จะมีความดันแตกต่างกัน 0.5 บาร์ ซึ่งค่าความดันอาจเพียงพอสำหรับ



ป้องกันการหมุนเวียนที่เกินความจำเป็น องค์ประกอบที่ควรนำมาใช้ควบคุมก็คือกำลังการผลิตของเครื่องอัดอากาศและขนาดความจุของถังเก็บอากาศ ซึ่งแต่ละชั้นของความดันของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่อง (Diff - P2) เป็นการควบคุมที่เกิดขึ้นในสถานที่ที่ทำการติดตั้ง แต่ละชั้นจำเป็นจะต้องรักษาระดับความดันน้อยที่สุดไว้ และเพียงพอสำหรับเครื่องที่ 2 หรือจำนวนเครื่องที่มากกว่าในภาวะที่มีโหลดหรือไม่มีโหลดที่สัมพันธ์กัน

ถ้าไม่สามารถทำให้เกิดความดันแปรผันสอดคล้องกับความต้องการอากาศอัด ก็อาจต้องใช้วิธีกำหนดความดันสูงที่ระดับความต้องการต่ำ แต่วิธีนี้ควรนำมาใช้อย่างระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าความดันที่กำหนดอยู่ภายในขีดจำกัดของอัตราการผลิตอากาศของเครื่องอัดอากาศ



รูปที่ 2.4-6 ระบบควบคุมแบบ Cascade Pressure Control

2) การควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control)

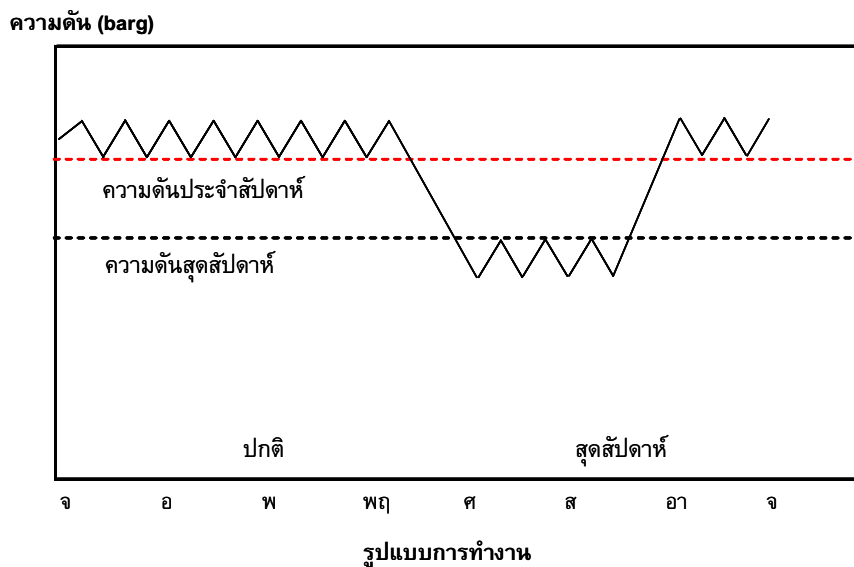
การควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์สามารถนำมาใช้กับการควบคุมตามลำดับขั้นบนพื้นฐานของการรวมความดันและความต้องการอากาศที่สัมพันธ์กับสัญญาณ วิธีนี้จำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการกำหนดความดันที่ต่อเนื่องกันสำหรับเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่องและกำจัดการควบคุมความดันขยายคลื่นที่มีอยู่อย่างถาวรในการควบคุมแบบความดันตามลำดับขั้น (Diff. P1 ในรูปที่ 2.4-6)

การควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ ควรหลีกเลี่ยงการกำหนดความดันคงที่ ซึ่งความดันที่เกิดขึ้นจากวิธีนี้จะผันแปรสอดคล้องกับความต้องการอากาศอัดและอาจมีความดันต่ำเกิดขึ้นระหว่างช่วงเย็นและสุดสัปดาห์

การติดตามตรวจวัดอัตราการระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ โดยประมาณการความต้องการอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศล่วงหน้าใหม่ และจากนั้นจึงทำการหยุดเครื่องเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียพลังงานในช่วงไม่มีโหลด



บางระบบยินยอมให้มีความแตกต่างของความดัน โดยการควบคุมอย่างอัตโนมัติเพื่อ
นำไปคำนวณผลการประหยัดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีโหลดสูงที่สุดของวงจรความดันในแต่ละรอบ ส่วนค่า
ความดันที่แคบลงจะนำไปสู่การหมุนเวียนของรอบที่ถี่ขึ้น ถึงแม้ว่าค่าความดันที่กว้างขึ้น ก็อาจทำให้เกิด
ปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมแบบความดันตามลำดับขั้น การควบคุมความแตกต่างของความดันแต่ละรอบสามารถใช้
วิธีการควบคุมแบบใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor Based Control) แล้วลดความดันของระบบที่
ยอมรับได้ จะสามารถทำให้ประหยัดพลังงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4-7



รูปที่ 2.4-7 ระบบควบคุมแบบใช้ไมโครโพรเซสเซอร์

3) การควบคุมระบบโดยรวม (Overall System Control)

ความเปลี่ยนแปลงอย่างกว้างขวางของระบบควบคุมที่ซับซ้อน โดยทั่วไประบบควบคุม
ที่มีความซับซ้อนมากจะสามารถยืดหยุ่นและประหยัดได้มากขึ้น แต่บ่อยๆ ครั้งเป็นเรื่องจำเป็นที่ต้องระมัดระวัง
ถึงระดับความต้องการอากาศของระบบทั้งหมด บางระดับจะต้องติดตามตรวจวัดผลก็เพื่อให้มั่นใจว่า
ทำงานถูกต้องอย่างต่อเนื่องและเชื่อมต่อกับระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) ซึ่ง
เป็นวิธีการทำสมบูรณของการทำให้บรรลุความสำเร็จของวิธีนี้

4) การควบคุมอย่างง่าย

ระบบจำเป็นต้องสัมพันธ์กันกับพื้นที่ควบคุมที่ไม่ซับซ้อน และยอมให้บางส่วนของระบบ
หยุดการทำงานเมื่อไม่ใช้งาน

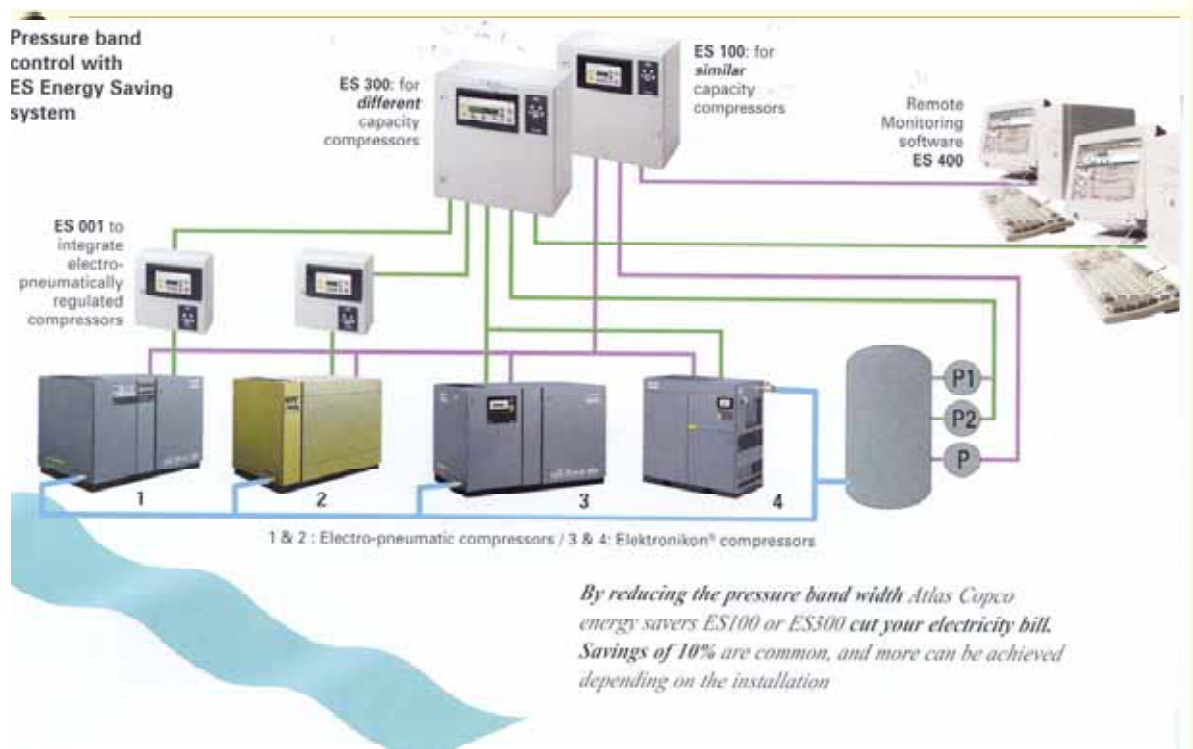
หมายเหตุ ความสำคัญของระบบควบคุมต่างๆ ที่นำมาใช้ควรจะมีการอธิบายให้ผู้แทนจำหน่ายเครื่องอัด
อากาศมั่นใจได้ว่าเป็นวิธีการควบคุมที่เหมาะสมและไม่กระทบต่อการรับประกันหรือข้อตกลง



การควบคุมด้วยสวิตช์เวลาอย่างง่าย ๆ เป็นรูปแบบพื้นฐานที่นิยมนำมาใช้กันมากที่สุดของการควบคุมตามเวลาที่กำหนด ซึ่งสามารถนำมาใช้กับจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของการผลิตอากาศที่อยู่ไกลออกไปเมื่อไม่จำเป็นต้องใช้งาน เพื่อประหยัดพลังงาน

5) การควบคุมแบบรวมศูนย์ (Integrated Control)

การควบคุมแบบรวมศูนย์อาจนำมาบรรจุเป็นส่วนหนึ่งของระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) การควบคุมเครื่องอัดอากาศในแต่ละพื้นที่ สามารถนำระบบรวมศูนย์มาใช้เป็นเครื่องติดตามผลปฏิบัติงานในโรงงาน ความต้องการอากาศอัด การใช้พลังงานไฟฟ้าและอื่นๆ แล้วยังสามารถนำมาแสดงให้เห็นถึงความต้องการการบำรุงรักษานบนพื้นฐานของชั่วโมงการทำงาน



รูปที่ 2.4-8 Energy Management System



2.5 ระบบหล่อลื่นและการระบายความร้อนเครื่องอัดอากาศ

2.5.1 ระบบหล่อลื่น (Compressor Lubrication System)

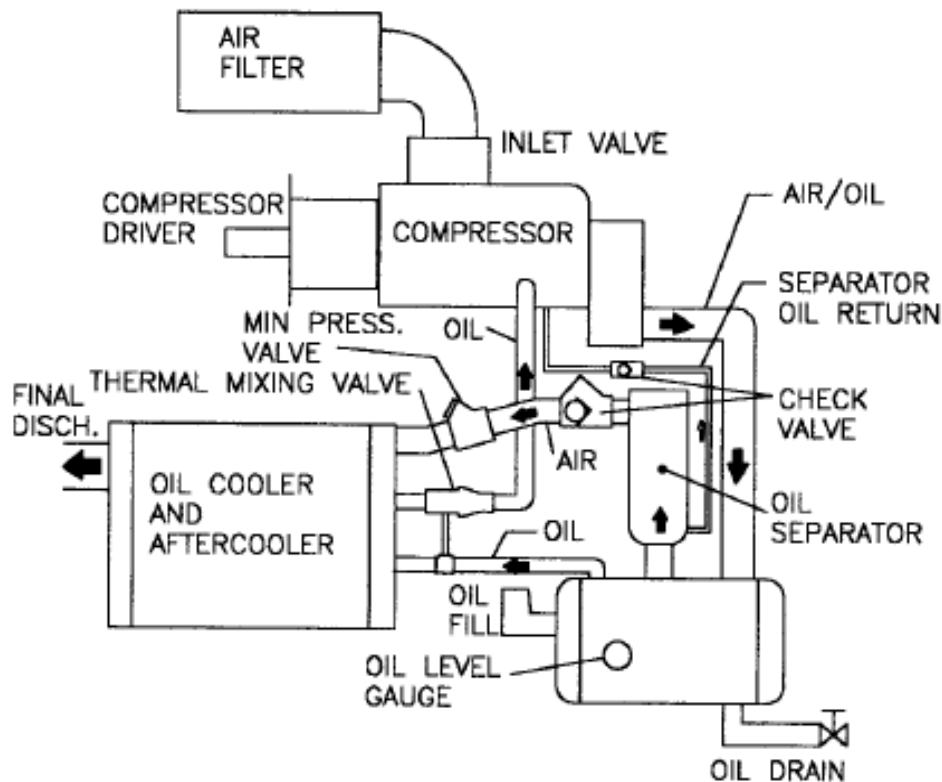
1) วัตถุประสงค์การหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศ

- ลดความฝืดจากการเสียดสีของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่
- ช่วยระบายความร้อนจากผิวหน้าของแบร์ริง
- ป้องกันการกัดกร่อนทั้งหมดของชิ้นส่วนที่เกิดขึ้นจากการใช้งานและขณะเครื่องอัดอากาศไม่ได้ใช้งาน
- ลดการรั่วของแก๊ส (อากาศอัด) ระหว่างซีลและช่องว่างของซีล

1.1) การหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศชนิดสกรู

แผนภาพการเคลื่อนที่ของน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องอัดอากาศชนิดสกรูดังรูปที่

2.5.1 น้ำมันจะถูกอัดโดยตรงไปยังเครื่องอัดอากาศในอัตรา 0.25 - 0.50 แกลลอนต่อนาทีต่อแรงม้า อากาศอัดจะผสมกับน้ำมันที่อุณหภูมิ 185 – 200 องศาฟาเรนไฮต์ (85 – 94 องศาเซลเซียส) ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์แยกและกรอง ความดันของอากาศอัดภายในถึงน้ำมันจะมีผลต่อการไหลของน้ำมันในขณะเครื่องอัดอากาศทำงานโดยไม่ต้องใช้ปั๊ม

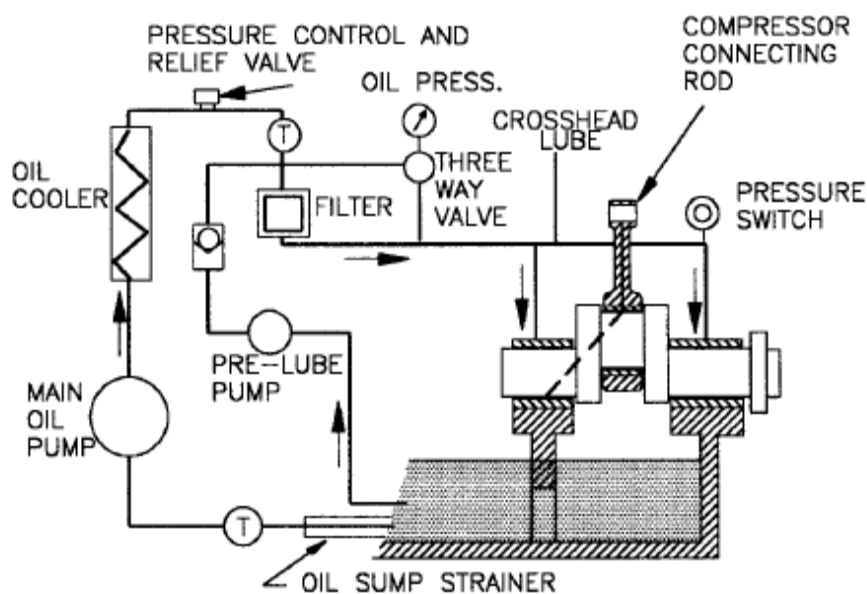
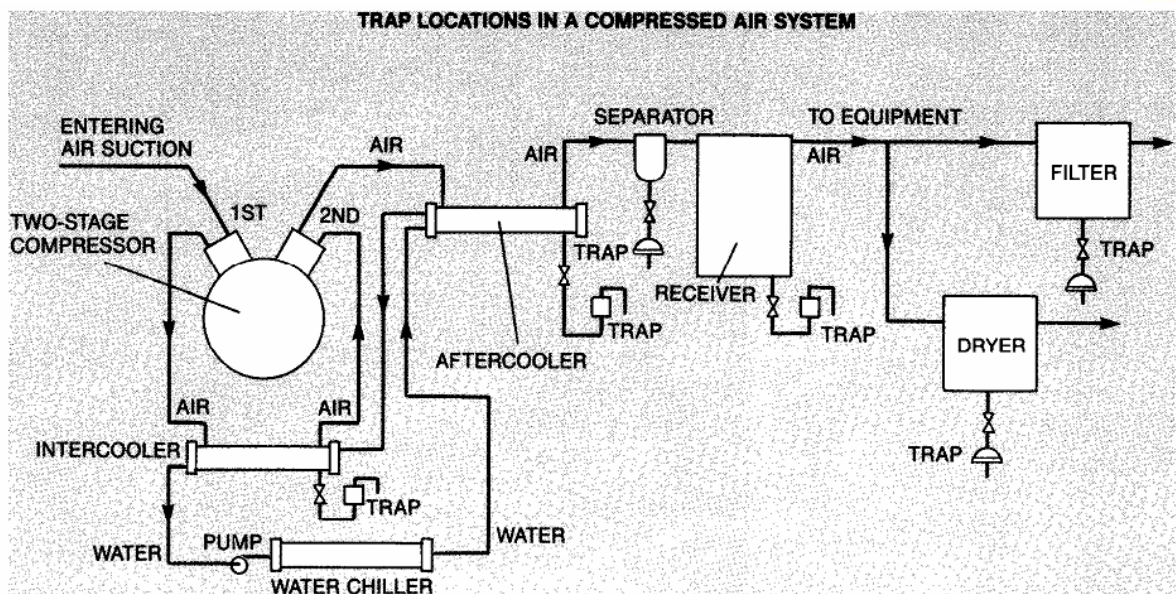


รูปที่ 2.5-1 แผนภาพระบบหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศชนิดสกรู



1.2) การหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ

อ่างน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องอัดอากาศดังรูปด้านล่าง ป้อนน้ำมันจะสร้างแรงดัน 40–50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สำหรับการไหลของน้ำมันไปหล่อลื่น ก้านสูบ แบริ่ง เพื่อลดแรงเสียดทานจากความฝืด และช่วยระบายความร้อน โดยทั่วไปอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นมีค่า 135 – 160 องศาฟาเรนไฮต์ (57 – 71 องศาเซลเซียส) เพื่อป้องกันการควบแน่น หรือกลั่นตัวของน้ำในระบบปั๊มจะส่งน้ำมันจากอ่างน้ำมันหล่อลื่น ผ่านกรองน้ำมันและชุดควบคุมอุณหภูมิแบริ่ง โดยทั่วไปบริษัทผู้ผลิตเครื่องอัดอากาศจะกำหนดให้ใช้น้ำมันเกรด SAE 30 – 40 กรณีที่ใช้น้ำมันที่มีค่าความหนืดสูง ๆ ผลทำให้อัตราการไหลของน้ำมันลดลง อาจทำให้เกิดความร้อนที่แบริ่ง และน้ำมันที่มีค่าความหนืดต่ำอาจทำให้ปริมาณน้ำมันไม่เพียงพอสำหรับการหล่อลื่นกระบอกสูบเครื่องอัดอากาศ หรือชิ้นส่วนอื่น ๆ



รูปที่ 2.5-2 แผนภาพระบบหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ



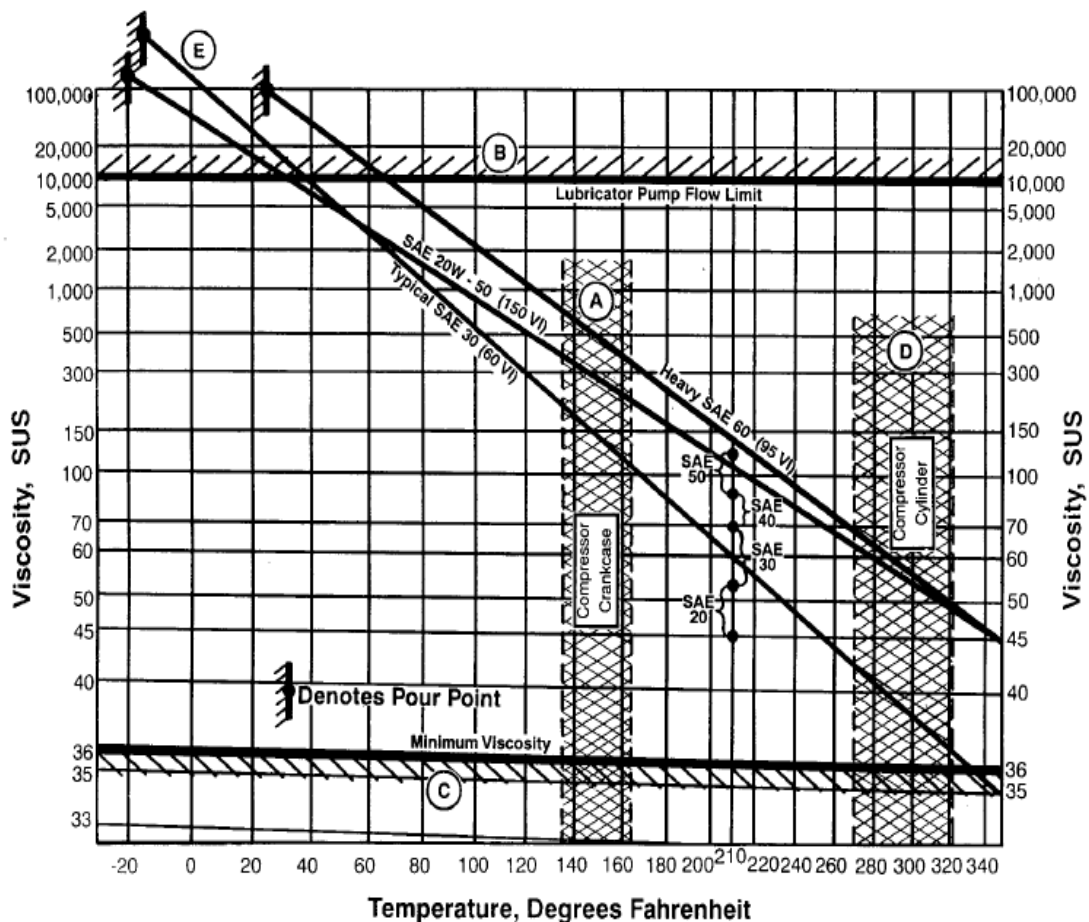
จากรูปที่ 2.5-3 ตำแหน่ง A แสดงช่วงอุณหภูมิใช้งาน ขณะที่ตำแหน่ง B แสดงบริเวณการเกิดฟองอากาศของน้ำมัน

1.3) กระบอกสูบเครื่องอัดอากาศ (Compressor Cylinders)

การหล่อลื่นกระบอกสูบเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับ การไหลของน้ำมันหล่อลื่นผ่านชิ้นส่วนต่าง ๆ ในกระบอกสูบอย่างเหมาะสมและต่อเนื่อง คุณสมบัติของแก๊สต่าง ๆ ที่ปะปนอยู่ในอากาศอัดจะมีผลต่อการหล่อลื่นโดยอาจเกิดการกัดกร่อนปฏิกิริยาเคมี น้ำ การเจือจาง และการดูดกลืนของแก๊สได้ ความดันจากสูญญากาศจนถึงความดันสูงที่ 60,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิจาก -40 องศาฟาเรนไฮต์ (- 5 องศาเซลเซียส) ถึง 400 องศาฟาเรนไฮต์ (205 องศาเซลเซียส) แหวนลูกสูบชุดประกอบแหวนและวาล์วสามารถใช้งานได้

2) การเลือกชนิดน้ำมันหล่อลื่น (Lube oil selection)

การเลือกชนิดของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศ ควรพิจารณาวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ก่อนการเลือกใช้ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบ



รูปที่ 2.5-3 อุณหภูมิการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น



2.1) ความหนืด (Oil Viscosity)

การเลือกน้ำมันหล่อลื่นต้องพิจารณาความหนืดที่อุณหภูมิใช้งานของน้ำมัน เพื่อรักษาชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เคลื่อนที่ภายในเครื่องอัดอากาศ

2.2) ความหนืดต่ำสุด (Minimum oil Viscosity)

น้ำมันหล่อลื่นเมื่อความหนืดมีค่าต่ำ อาจมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำ ฟิสิกส์ของน้ำมันไม่สามารถรองรับโหลดจากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ ค่าความหนืดต่ำสุดประมาณ 36 sus ดังรูปที่ 2.5.3 ตำแหน่ง C

2.3) การดูดกลืนแก๊ส (Gas Absorption)

น้ำมันหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศทั้งหมดมีฐานมาจากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งมีคุณสมบัติดูดกลืนแก๊สที่ความดันสูง แก๊สจะเข้าไปผสมกับน้ำมันทำให้คุณสมบัติความหนืดของน้ำมันลดลง จากรูปที่ 2.5.3 ตำแหน่ง D แสดงอุณหภูมิและความหนืดของน้ำมันสำหรับการหล่อลื่นกระบอกสูบ

2.4) การเจือจางของไฮโดรคาร์บอนเหลว (Liquid Hydrocarbon Dilution)

เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นมีฐานมาจากปิโตรเลียม หรือไฮโดรคาร์บอน และอาจมีผลเจือจางได้ถ้ามีไอน้ำจากการควบแน่นหรือกลั่นตัวของแก๊สเข้าไปผสม

3) สารเพิ่มคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น (Oil additives)

3.1) Water Displacing and Metal wetting additive

ปัญหาหลักของการประกอบลูกสูบและกระบอกสูบของเครื่องอัดอากาศ เนื่องมาจากการกลั่นตัวของน้ำในอากาศอัดแล้วเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในกระบอกสูบ ดังนั้นสารสังเคราะห์ชนิดโพลาร์ (Polar type) ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้

3.2) สารป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitors)

ปริมาณของ CO₂, H₂S, คลอไรด์ และสารกัดกร่อนอื่น ๆ ที่มีจำนวนไม่มาก สามารถที่จะทำให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องอัดอากาศเกิดการกัดกร่อนได้ เพื่อป้องกันปัญหาเหล่านี้ น้ำมันหล่อลื่นต้องมีส่วนผสมของสารป้องกันการกัดกร่อนดังกล่าว เพื่อให้ฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นมีความแข็งแรงขณะแทรกตัวอยู่ในชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องอัดอากาศ

3.3) สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Inhibitors)

ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่น อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุก ๆ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 18 องศาฟาเรนไฮต์ (10 องศาเซลเซียส) การป้องกันสามารถทำได้โดยให้อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นในอ่างน้ำมันขณะทำงานมีอุณหภูมิ 140 องศาฟาเรนไฮต์ (60 องศาเซลเซียส) และถ้าเครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบที่มีอุณหภูมิทำงานสูงกว่า 300 องศาฟาเรนไฮต์ (149 องศาเซลเซียส) จะมีปริมาณออกซิเจนส่วนเกิดประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์



3.4) Anti – Foam Additive

ปริมาณน้ำมันหล่อลื่น สำหรับเครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบอาจมีปริมาณมากขึ้นจากการกระเพื่อม หรือการปั่นป่วนของฟองน้ำมัน อาจป้องกันได้โดยเติมสารป้องกันการเกิดฟองปริมาณ 3 – 5 ppm.

3.5) Anti – Emulsion Additive

อากาศอัดที่มีอุณหภูมิสูง อาจทำให้น้ำมันหล่อลื่นรวมตัวกันกับน้ำที่เกิดจากการกลั่นตัวภายในระบบ เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวต้องเติมสารป้องกันการรวมตัวของน้ำมันกับน้ำ

4) การหล่อลื่นที่ดีที่สุด (Optimum Lubrication)

การหล่อลื่นที่ได้ผลดีที่สุดจะช่วยยืดอายุของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ และอุปกรณ์ในระบบอัดอากาศ การหล่อลื่นที่ไม่สมบูรณ์หรือขาดการหล่อลื่นจะทำให้ชิ้นส่วนเสียหาย อายุการใช้งานของเครื่องอัดอากาศสั้น จากรูปที่ 2.5-4 แสดงอัตราการป้อนน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ และรูปที่ 2.5-5 แสดงอายุการทำงานของส่วนประกอบ (ซีล) ในเครื่องอัดอากาศเทียบกับอัตราน้ำมันหล่อลื่น

5) การแยกตัวของน้ำมัน (Oil removal)

การรวมตัวของน้ำมันและน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ อาจทำให้เกิดปัญหาคือ

- ไม่มีน้ำมันหล่อลื่นในชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องอัดอากาศ
- ต้องติดตั้งอุปกรณ์แยกน้ำมันหล่อลื่น

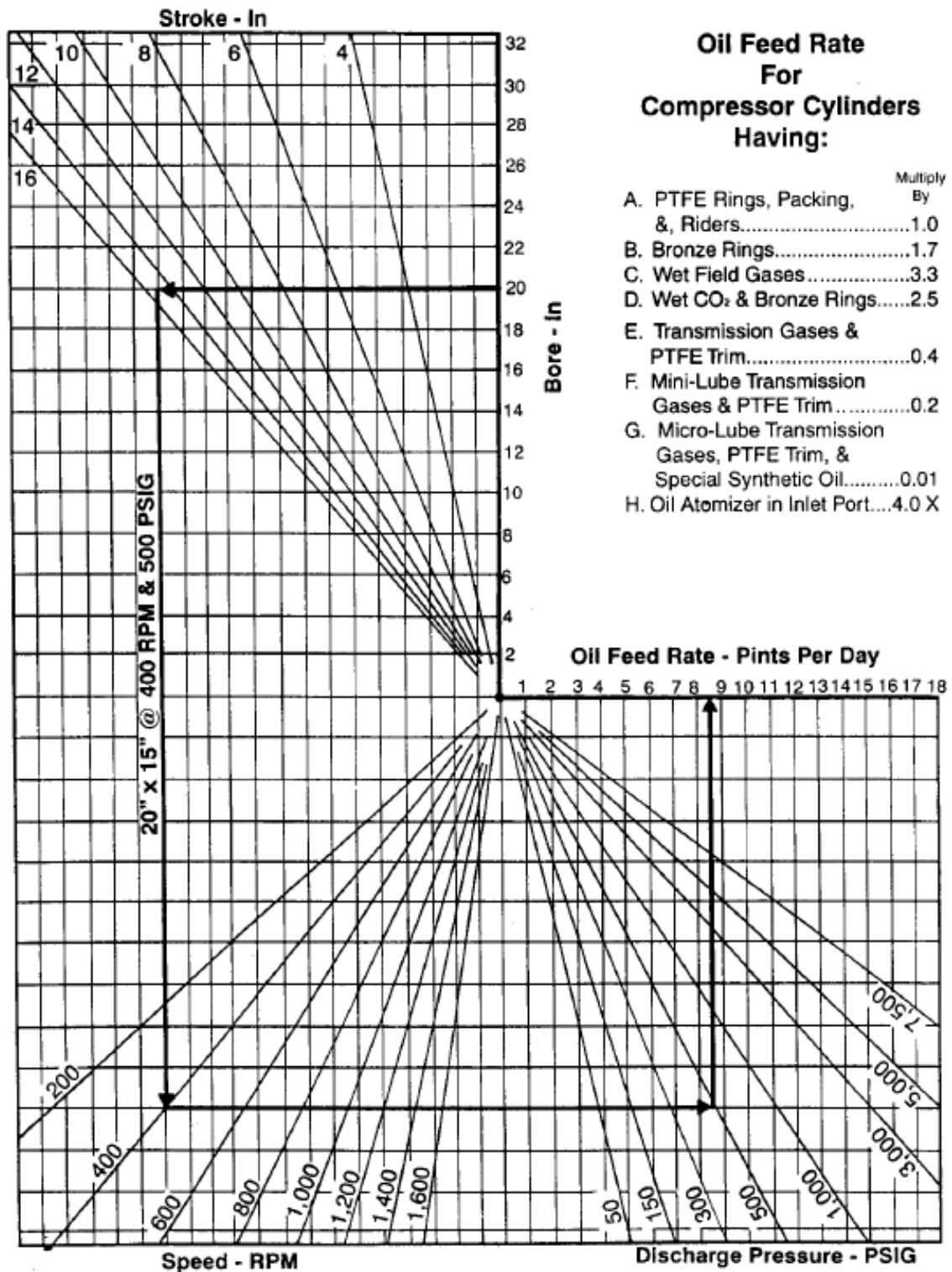
เปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำ

ก. น้ำมันหล่อลื่นไม่มีสารป้องกันการเกิดฟอง และมี Knock out Traps	16%
ข. น้ำมันหล่อลื่นมีสารป้องกันการเกิดฟองและมี Knock out Traps	40%
ค. น้ำมันหล่อลื่นมีสารป้องกันการเกิดฟอง + Offer Cooler + Knock out Traps	84%
ง. น้ำมันหล่อลื่นมีสารป้องกันการเกิดฟอง + Offer Cooler + Knock out Traps + coalescing filter	96%
จ. น้ำมันหล่อลื่นมีสารป้องกันการเกิดฟอง + Offer Cooler + Knock out Traps + Coalescing Filter + Molecular Sieve	99.6%

6) เครื่องอัดอากาศที่ไม่ต้องหล่อลื่น (Non – Lube compressors)

การประยุกต์ใช้เครื่องอัดอากาศโดยไม่ต้องใช้น้ำมันหล่อลื่น สามารถทำได้โดยอาศัยคุณสมบัติของอากาศอัด และเครื่องอัดอากาศใช้แหวนลูกสูบและชุดประกอบแหวนลูกสูบประเภท PTFE และวาล์วของเครื่องอัดอากาศต้องไม่ผลิตจากวัสดุโลหะ โดยที่อุณหภูมิของอากาศอัดต้องไม่สูงกว่า 27 องศาฟาเรนไฮต์ (135 องศาเซลเซียส)



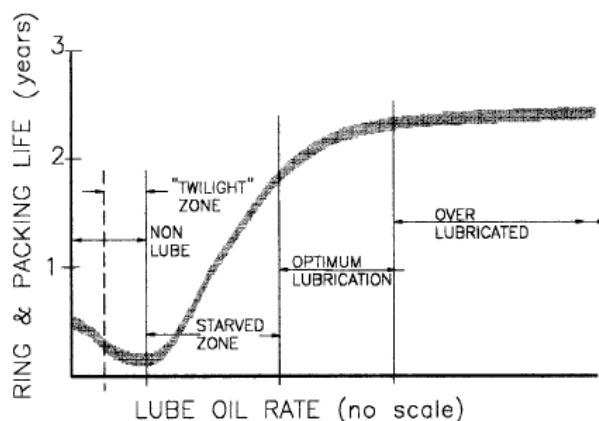


รูปที่ 2.5-4 Oil Feed Rate for Compressor Cylinders



7) สารสังเคราะห์หล่อลื่น (Synthetic Lubricants)

การหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศโดยสารสังเคราะห์มีเปอร์เซ็นต์น้อยมาก เนื่องจากมีราคาแพง ตารางที่ 2.5-1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของสารสังเคราะห์ที่ใช้หล่อลื่นเครื่องอัดอากาศ



รูปที่ 2.5-5 Compressor seal life VS oil usage

ตารางที่ 2.5-1 เปรียบเทียบน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์

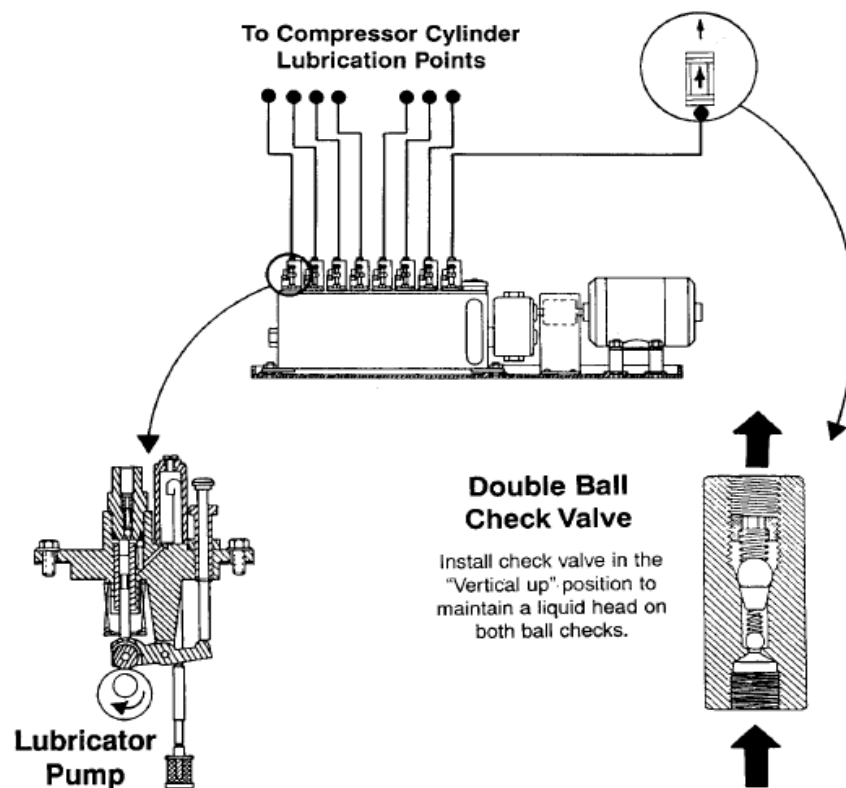
	Mineral Oil	Polyisobutenes	Polyalphaolefins	Alkylated Aromatics	Polyalkyleneglycols	Perfluoroalkylethers	Polyphenylethers	Dicarboxylic Acid Esters	Neopentyl Polyesters	Triaryl Phosphate Esters	Trialkyl Phosphate Esters	Silicone Oils
Viscosity Temp. Behavior (VI)	M	P	V	M	V	M	P	V	V	P	E	E
Low Temp. Behavior (Pourpoint)	P	M	E	G	G	G	P	E	V	M	E	E
Liquid Range	M	P	V	G	G	E	P	V	V	V	G	E
Oxidation Stability (Aging)	M	M	V	M	G	E	V	V	V	V	M	V
Thermal Stability	M	M	M	M	G	E	E	G	V	V	G	V
Evaporation Loss, Volatility	M	M	V	G	G	E	G	E	E	V	V	V
Fire Resistance, Flash Temp.	P	P	P	P	M	E	M	M	M	V	V	G
Hydrolytic Stability	E	E	E	E	G	E	E	M	M	M	G	G
Corrosion Protection	E	E	E	E	G	P	M	M	M	M	M	G
Properties												
Seal Material Compatibility	G	G	V	G	G	E	G	M	M	P	P	G
Paint and Lacquer Compatibility	E	E	E	E	M	V	M	M	M	P	P	G
Miscibility with Mineral Oil	E	E	E	E	P	P	G	V	V	M	M	P
Solubility of Additives	E	E	V	E	M	P	V	V	V	E	E	P
Lubricating Properties	G	G	G	G	V	E	E	V	V	E	M	P
Toxicity	G	E	E	P	G	E	G	G	G	V	M	E
Biodegradability	M	P	G	P	E	P	P	E	E	V	V	P
Price Relation Against Mineral Oil	1	4	4	4	8	500	400	8	8	8	8	60
												P



8) อุปกรณ์ในระบบหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศ (Compressor Lubrication Equipment)

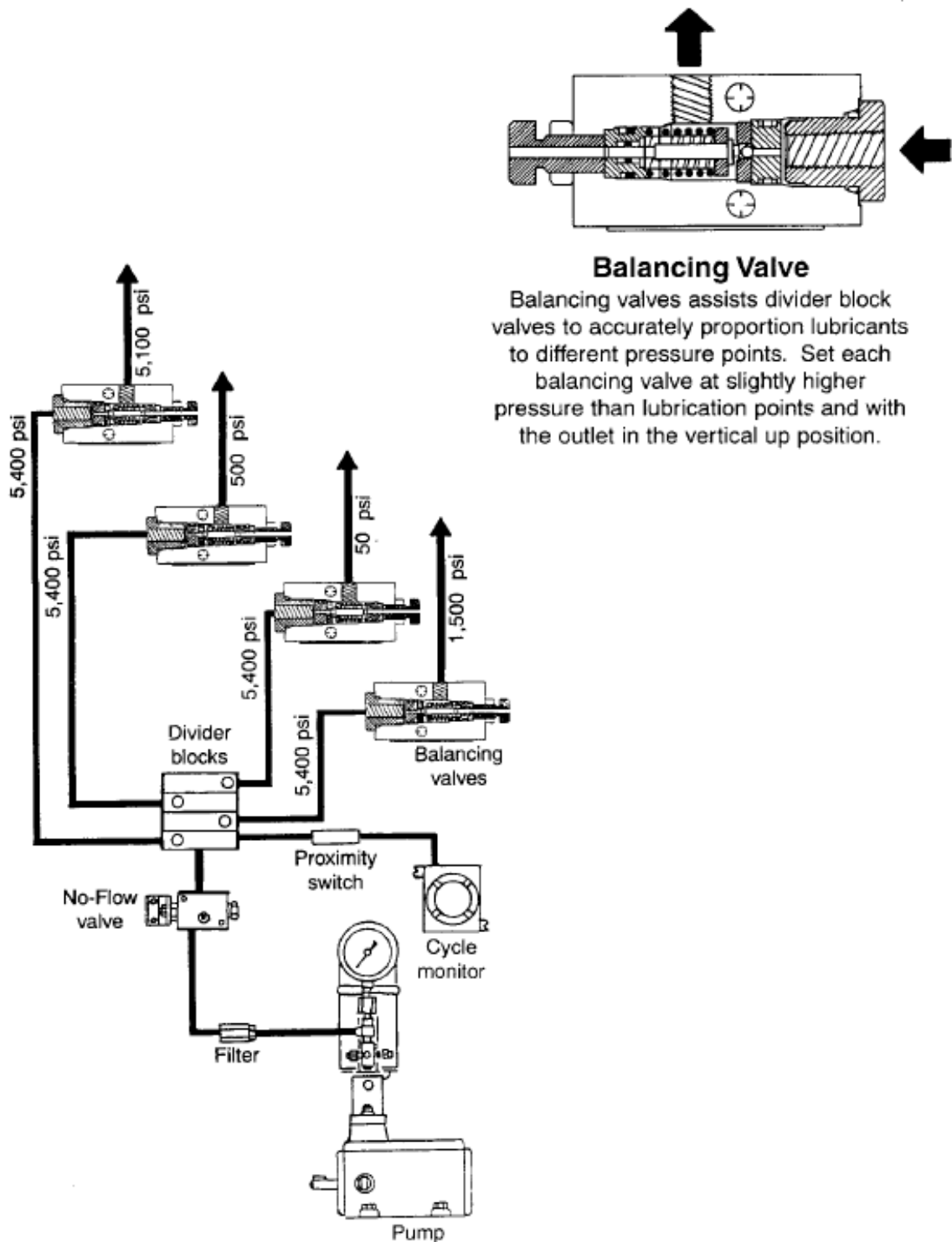
เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบประกอบด้วยอุปกรณ์ในระบบหล่อลื่นคือ

- ปั๊มขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.5.6
- Divider Block System ดังรูปที่ 2.5.7
- Cylinder Check Valve ดังรูปที่ 2.5.7
- Balancing Valve
- Air Binding



รูปที่ 2.5-6 ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น





รูปที่ 2.5-7 Balancing Value



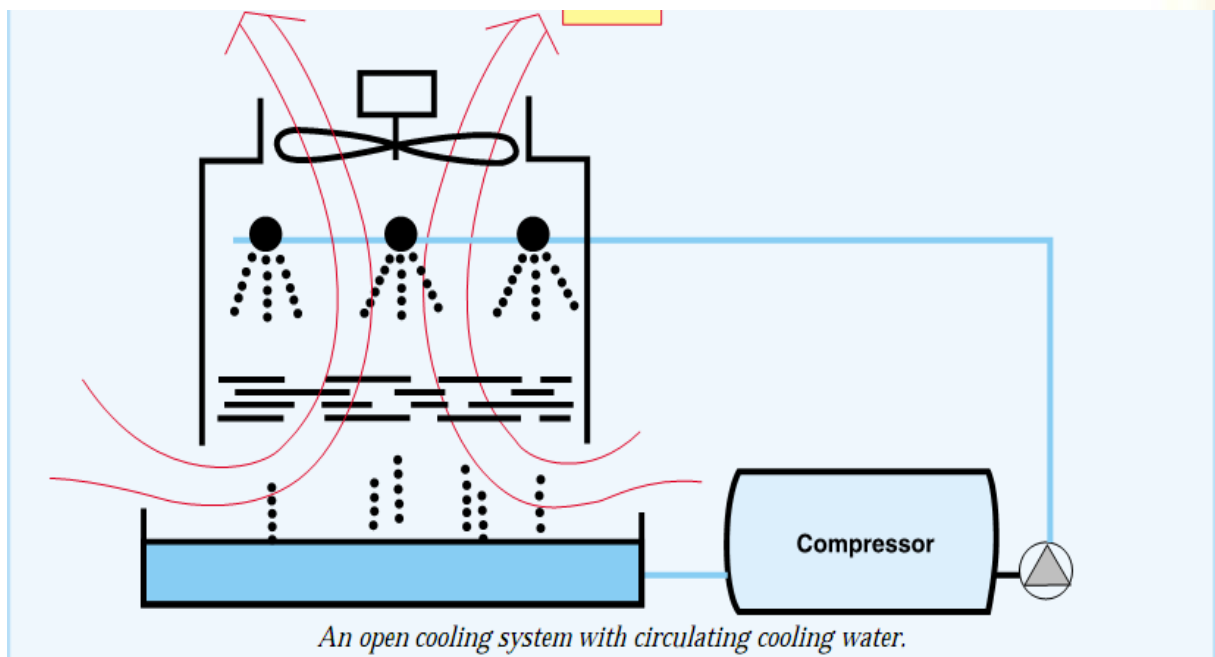
2.5.2 ระบบระบายความร้อนเครื่องอัดอากาศ (Cooling System)

1) เครื่องอัดอากาศระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Compressor)

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องอัดอากาศสามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งจะช่วยลดพลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้าได้เป็นอย่างมาก การออกแบบระบบระบายความร้อนเครื่องอัดอากาศด้วยน้ำมีดังนี้ คือ

1) ระบบเปิด ไม่มีการไหลเวียนของน้ำ (Open System without Circulation Water) เป็นระบบที่ออกแบบง่ายและราคาไม่แพงในการติดตั้ง แต่จะมีค่าใช้จ่ายในการทำงานสูง น้ำจากถังเก็บน้ำหรือโอ้่น้ำจะระเหยตัวไประบายความร้อนให้กับเครื่องอัดอากาศและน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อน อาจทำให้ระบบเกิดตะกอนได้

2) ระบบเปิดที่มีการไหลเวียนของน้ำ (Open System, Circulating Water) ระบบดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.5-8 น้ำมันหล่อเย็นที่ไหลผ่านเครื่องอัดอากาศจะถูกระบายความร้อน โดยการสเปรย์ผ่านอากาศที่ถูกดูดด้วยพัดลม และเนื่องจากน้ำสัมผัสกับอากาศโดยรอบทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไป ดังนั้นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำด้วยเคมี เพื่อป้องกันการเกิดตะกอนและตะไคร่น้ำ และป้องกันการแข็งตัวของเครื่องอัดอากาศไม่ทำงาน



รูปที่ 2.5-8 ระบบเปิดที่มีการไหลเวียนของน้ำ

3) ระบบปิด (Closed System) การระบายความร้อนของเครื่องอัดอากาศด้วยระบบปิด โดยน้ำไหลเวียนผ่านเครื่องอัดอากาศและชุดระบายความร้อน และน้ำระบายความร้อนจะถูกแลกเปลี่ยนความร้อนกับของไหล (น้ำ) ภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และกรณีที่น้ำหล่อเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศรอบๆ นั้น ควรเพิ่มสารป้องกันการเกิดตะกอนและการกัดกร่อนระบบท่อ

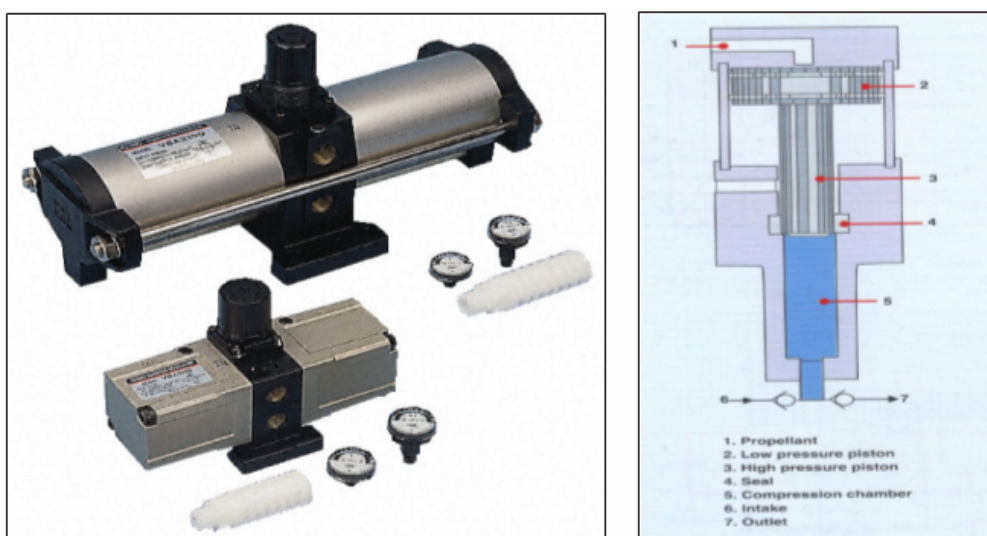


2.6 เครื่องเพิ่มความดัน (Booster)

โดยปกติแล้วพอจะจำแนกเครื่องเพิ่มความดันไว้สองแบบด้วยกัน

2.6.1 เครื่องเพิ่มความดันแบบ Pressure Booster

เครื่องเพิ่มความดันแบบ Pressure Booster ดังรูปที่ 2.6-1 จะอาศัยความดันของตัวเองเพิ่มความดันใหม่ ปกติแล้วจะผลิตความดันออกมาที่ประมาณสองเท่าของความดันที่ป้อนเข้าเพราะถูกจำกัดด้วยปริมาณอัตราการไหลของอากาศอัดที่ค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 2.6-1 Pressure Booster

2.6.2 เครื่องเพิ่มความดันแบบ Motor Booster Pump

เครื่องเพิ่มความดันแบบมอเตอร์ปั๊ม ดังรูปที่ 2.6-2 ลักษณะทั่วไปจะคล้ายกับเครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ เพียงแต่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผลิตความดันให้สูงกว่าซึ่งอาจสูงได้ 5-6 เท่าของความดันใช้งานปกติ 7 บาร์ หรือถ้าเป็นลักษณะงานที่พิเศษ อาจผลิตความดันได้สูงถึง 180 บาร์ หรือสูงกว่านั้น



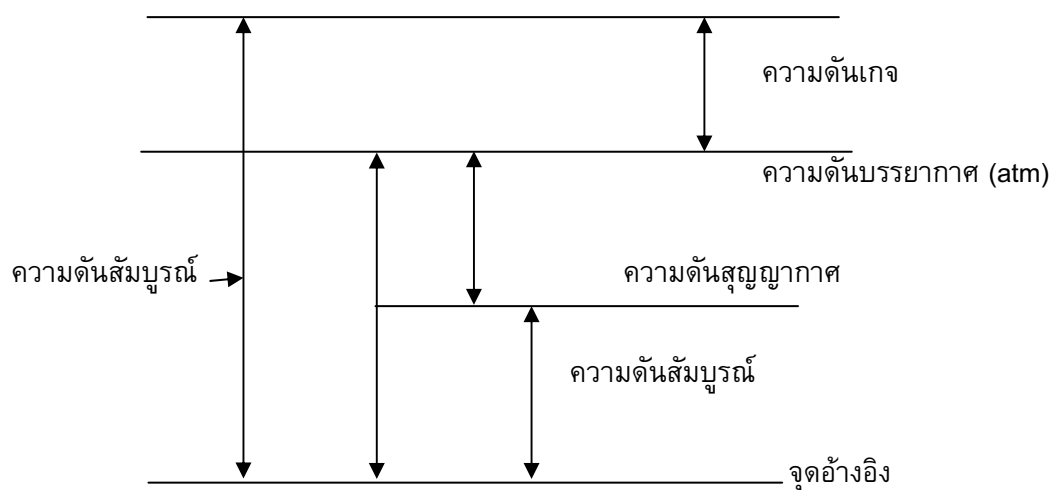
รูปที่ 2.6-2 Motor Booster Pump



2.7 ความดันของก๊าซ

ในทอมระบบอัดอากาศของความดันมีค่าความดันต่างๆ ที่ใช้งานดังนี้

- 1) ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) หมายถึง ความดันอากาศที่ระดับน้ำทะเลมีค่า 1 บรรยากาศ (atm)
- 2) ความดันเกจ (Gauge Pressure) เป็นความดันที่อ่านได้จากมาตรวัดความดัน โดยที่ระดับความดันบรรยากาศ ความดันเกจจะอ่านค่าเป็นศูนย์ ฯ
- 3) ความดันสุญญากาศ (Vacuum Pressure) เป็นความดันที่มีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศ
- 4) ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure) เป็นค่าของความดันสุทธิที่วัดจากจุดอ้างอิงที่เป็นศูนย์



หน่วยของความดันที่นิยมใช้คือ psi, atm, bar, kPa, mmHg, mmH₂O

โดย ความดัน 1 บรรยากาศ	=	14.7	psi
	=	1.01325	bar
	=	1.033	kg/cm ²
	=	101.325	kPa
	=	760	mmHg
	=	10332	mmH ₂ O



2.8 อัตราการไหลของอากาศ (Air Flow Rate)

2.8.1 การเปลี่ยนอัตราการไหลจากสภาวะการตรวจวัดเป็นอัตราการไหลที่สภาวะอากาศมาตรฐาน

การเปลี่ยนค่าอัตราการไหลที่ได้จากการตรวจวัดเป็นอัตราไหลที่สภาวะมาตรฐานสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{1S} = Q_{1R} \times \{ [p_{1R} - (p_{v1R} \times RH_{1R})] / p_{1S} \} \times [(T_{1S} + 273.15) / (T_{1R} + 273.15)] \quad (2.8.1)$$

Q_{1S}	=	อัตราการไหลของอากาศที่สภาวะอากาศมาตรฐาน	ลิตรต่อวินาที
Q_{1R}	=	อัตราการไหลของอากาศที่สภาวะการตรวจวัด	ลิตรต่อวินาที
p_{1S}	=	ความดันอากาศขาเข้าสัมบูรณ์ที่สภาวะอากาศมาตรฐาน	บาร์ (สัมบูรณ์)
p_{1R}	=	ความดันอากาศขาเข้าสัมบูรณ์ที่สภาวะการตรวจวัด	บาร์ (สัมบูรณ์)
p_{v1R}	=	ความดันไอของอากาศขาเข้าที่สภาวะการตรวจวัด	บาร์ (สัมบูรณ์)
RH_{1R}	=	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าที่สภาวะการตรวจวัด	เปอร์เซ็นต์
T_{1S}	=	อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่สภาวะอากาศมาตรฐาน	องศาเซลเซียส
T_{1R}	=	อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่สภาวะการตรวจวัด	องศาเซลเซียส

เช่น			
Q_{1R}	=	1,000	ลิตรต่อวินาที
p_{1S}	=	ความดันอากาศขาเข้าสัมบูรณ์ที่สภาวะอากาศมาตรฐาน ISO 1217	
		= 1.0	บาร์ (สัมบูรณ์)
p_{1R}	=	0.997	บาร์ (สัมบูรณ์)
p_{v1R}	=	0.04241 ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าตรวจวัด 30 องศาเซลเซียส	บาร์ (สัมบูรณ์)
RH_{1R}	=	ที่สภาวะอากาศขาเข้าจากการตรวจวัด = 45	เปอร์เซ็นต์
T_{1S}	=	อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่สภาวะอากาศมาตรฐาน ISO 1217	
		= 20	องศาเซลเซียส
T_{1R}	=	ที่สภาวะอากาศขาเข้าจากการตรวจวัด = 30	องศาเซลเซียส
Q_{1S}	=	$1000 \times \{ [0.997 - (0.04241 \times 0.45)] / 1.0 \}$	
		$\times [(20 + 273.15) / (30 + 273.15)]$	ลิตรต่อวินาที
	=	945.66	ลิตรต่อวินาที



2.8.2 การเปลี่ยนอัตราการไหลจากสภาวะอากาศมาตรฐานเป็นอัตราการไหลที่สภาวะอากาศเข้า

การเปลี่ยนค่าอัตราการไหลจากสภาวะอากาศมาตรฐานเป็นอัตราการไหลที่สภาวะอากาศเข้าสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{1ac} = Q_{1S} \times \left\{ \frac{p_{1S}}{[p_{1R} - (p_{v1R} \times RH_{1R})]} \right\} \times \left[\frac{(T_{1ac} + 273.15)}{(T_{1S} + 273.15)} \right] \quad (2.8.2)$$

Q_{1ac}	=	อัตราการไหลของอากาศที่สภาวะอากาศเข้า	ลิตรต่อวินาที
Q_{1S}	=	อัตราการไหลของอากาศที่สภาวะอากาศมาตรฐาน	ลิตรต่อวินาที
p_{1S}	=	ความดันอากาศเข้าสัมบูรณ์ที่สภาวะอากาศมาตรฐาน	บาร์ (สัมบูรณ์)
p_{1R}	=	ความดันอากาศเข้าสัมบูรณ์ที่สภาวะการตรวจวัด	บาร์ (สัมบูรณ์)
p_{v1R}	=	ความดันไอของอากาศเข้าที่สภาวะการตรวจวัด	บาร์ (สัมบูรณ์)
RH_{1R}	=	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้าที่สภาวะการตรวจวัด	เปอร์เซ็นต์
T_{1S}	=	อุณหภูมิอากาศเข้าที่สภาวะอากาศมาตรฐาน	องศาเซลเซียส
T_{1ac}	=	อุณหภูมิอากาศเข้าที่สภาวะการตรวจวัด	องศาเซลเซียส

เช่น			
Q_{1S}	=	1,000	ลิตรต่อวินาที
p_{1S}	=	ความดันอากาศเข้าสัมบูรณ์ที่สภาวะอากาศมาตรฐาน ISO 1217	
	=	1.0	บาร์ (สัมบูรณ์)
p_{1R}	=	0.997	บาร์ (สัมบูรณ์)
p_{v1R}	=	0.04241 ที่อุณหภูมิอากาศเข้าการตรวจวัด 30 องศาเซลเซียส	บาร์ (สัมบูรณ์)
RH_{1R}	=	ที่สภาวะอากาศเข้าการตรวจวัด = 45	เปอร์เซ็นต์
T_{1S}	=	อุณหภูมิอากาศเข้าที่สภาวะอากาศมาตรฐาน ISO 1217 = 20	องศาเซลเซียส
T_{1R}	=	ที่สภาวะอากาศเข้าจากการตรวจวัด = 30	องศาเซลเซียส
Q_{1ac}	=	$1000 \times \left\{ 1.0 / [0.997 - (0.04241 \times 0.45)] \right\}$ $\times [(30 + 273.15) / (20 + 273.15)]$	ลิตรต่อวินาที
	=	1,057.47	ลิตรต่อวินาที



2.8.3 การเปลี่ยนอัตราการไหลที่สภาวะอากาศมาตรฐานไปเป็นอัตราไหลด้านขาออก

การเปลี่ยนค่าอัตราการไหลที่สภาวะอากาศมาตรฐานไปเป็นอัตราไหลด้านขาออกสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_d = Q_{1s} \times (p_{1s} / p_2) \times [(T_2 + 273.15) / (T_{1s} + 273.15)] \quad (2.8.3)$$

Q_d	=	อัตราการไหลของอากาศที่ด้านขาออก	ลิตรต่อวินาที
Q_{1s}	=	อัตราการไหลของอากาศที่สภาวะอากาศมาตรฐาน	ลิตรต่อวินาที
p_{1s}	=	ความดันอากาศขาเข้าสัมบูรณ์ที่สภาวะอากาศมาตรฐาน	บาร์ (สัมบูรณ์)
p_2	=	ความดันอากาศขาออกสัมบูรณ์ที่สภาวะการตรวจวัด (Discharge Pressure)	บาร์ (สัมบูรณ์)
	=	ความดันอากาศขาออก (เกจ) + ความดันบรรยากาศ (1 atm)	
	=	ความดันอากาศขาออก (เกจ) + 1.013	บาร์ (สัมบูรณ์)
T_{1s}	=	อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่สภาวะอากาศมาตรฐาน	องศาเซลเซียส
T_2	=	อุณหภูมิอากาศอัดขาออก (Discharge Temperature) ที่สภาวะการตรวจวัด	องศาเซลเซียส

เช่น ข้อมูลในตัวอย่างที่ 2.8.3

Q_{1s}	=	1,000	ลิตรต่อวินาที
p_{1s}	=	ความดันอากาศขาเข้าสัมบูรณ์ที่สภาวะอากาศมาตรฐาน ISO 1217 = 1.0	บาร์ (สัมบูรณ์)
p_2	=	กำหนดเท่ากับ 7 bar(g) = 7 + 1.013 = 8.013	บาร์ (สัมบูรณ์)
T_{1s}	=	อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่สภาวะอากาศมาตรฐาน ISO 1217 = 20	องศาเซลเซียส
T_2	=	อุณหภูมิอากาศขาออกจากการตรวจวัดกำหนดให้ = 35	องศาเซลเซียส
Q_d	=	$1000 \times (1.0 / 8.013) \times [(35 + 273.15) / (20 + 273.15)]$ = 131.18	ลิตรต่อวินาที (ที่ความดัน 7 บาร์)



2.9 พลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ

กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศสามารถคำนวณหาได้ทั้งในหน่วยกิโลวัตต์ (kW)

2.9.1 กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศในหน่วย kW

สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{PP} = \frac{(i \cdot k)}{(k-1)} \cdot \frac{P_1 Q_1}{10} \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k-1)}{(i \cdot k)}} - 1 \right\} \cdot \frac{100}{\eta_{isen} \eta_M} \quad (2.9.1)$$

โดยที่	P_{PP}	คือ กำลังไฟฟ้าขาเข้ารวม (Package Power Input)	กิโลวัตต์
	Q_1	คือ อัตราไหลของอากาศด้านขาเข้า	ลิตรต่อวินาที
	p_1	คือ ความดันอากาศขาเข้าสัมบูรณ์	บาร์
	p_2	คือ ความดันอากาศขาออกสัมบูรณ์	บาร์
		= ความดันขาออก (เกจ) + ความดันบรรยากาศ (1atm)	
		= ความดันขาออก (เกจ) + 1.013 , บาร์	
	k	คือ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะตามกระบวนการอัดอากาศไอเซนทรอปิก	
		= 1.4	
	i	คือ จำนวนขั้นตอนการอัดอากาศ	
	η_{isen}	คือ ประสิทธิภาพการอัดอากาศแบบไอเซนทรอปิก	
	η_M	คือ ประสิทธิภาพมอเตอร์	

ตารางที่ 2.9-1 ค่าประสิทธิภาพไอเซนทรอปิก และค่าประสิทธิภาพมอเตอร์

จำนวนขั้นตอนการอัดอากาศ	η_{isen}	η_M
1	0.70	0.93
2	0.80	0.935



ตัวอย่างที่ 2.9-1 การคำนวณหากำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศแบบสกรู

การคำนวณหากำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศแบบสกรู ที่สภาวะการทำงาน ดังนี้

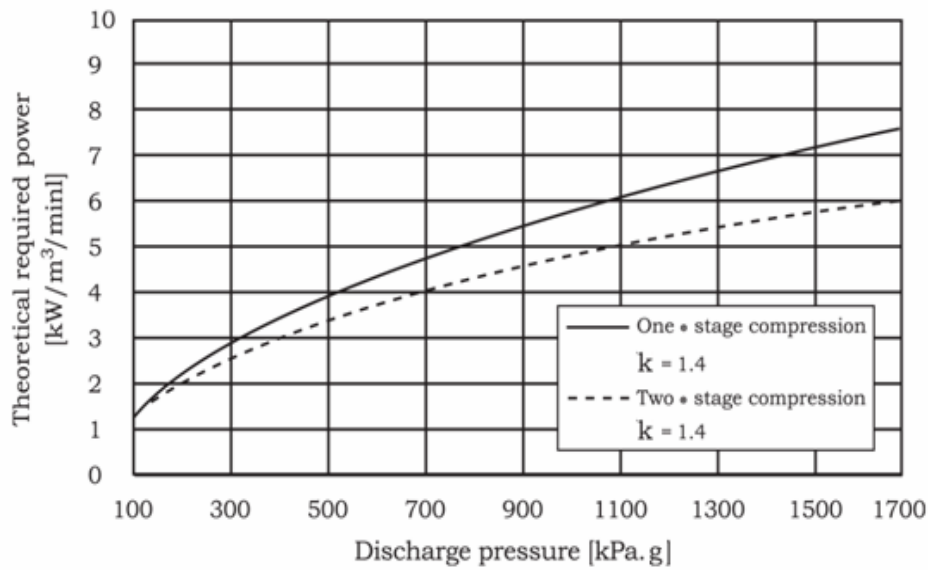
จำนวนขั้นตอนการอัดอากาศ	:	1	ชั้น
อัตราการไหลของอากาศด้านขาเข้า	:	100	ลิตรต่อวินาที
ความดันอากาศขาเข้าสัมบูรณ์	:	1.0	บาร์ (สัมบูรณ์)
ความดันอากาศขาออก (เกจ)	:	7	บาร์ (เกจ)
ความดันอากาศขาออกสัมบูรณ์	:	7+1.013	บาร์ (สัมบูรณ์)
	:	8.013	บาร์ (สัมบูรณ์)
ประสิทธิภาพไอเซนทรอปิก	:	70	เปอร์เซ็นต์
ประสิทธิภาพมอเตอร์	:	93	เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นจากสมการ 2.9.1 ได้ว่า

$$\begin{aligned}
 P_{PP} &= \frac{(1 \times 1.4)}{(1.4 - 1)} \cdot \frac{100 \times 1.0}{10} \cdot \left\{ \left(\frac{7 + 1.013}{1.0} \right)^{\frac{(1.4-1)}{(1 \times 1.4)}} - 1 \right\} \cdot \frac{1.0}{0.7 \times 0.93} \\
 &= 3.5 \times 10 \times 0.8123 \times 1.536 && \text{กิโลวัตต์} \\
 &= 43.67 && \text{กิโลวัตต์}
 \end{aligned}$$

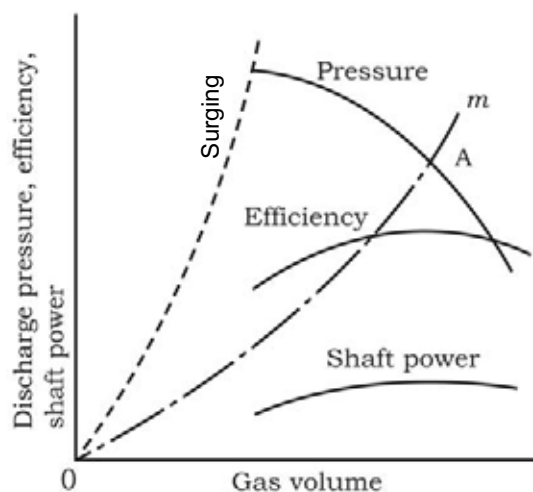
จากรูปที่ 2.9-1 แสดงกำลังไฟฟ้าทางทฤษฎีซึ่งคำนวณจากการกำหนด ให้ Isentropic Index ของการอัดอากาศ ที่ 1 ชั้น และ 2 ชั้น มีการอัดเป็น 1.4 โดยไม่รวมประสิทธิภาพ η_M





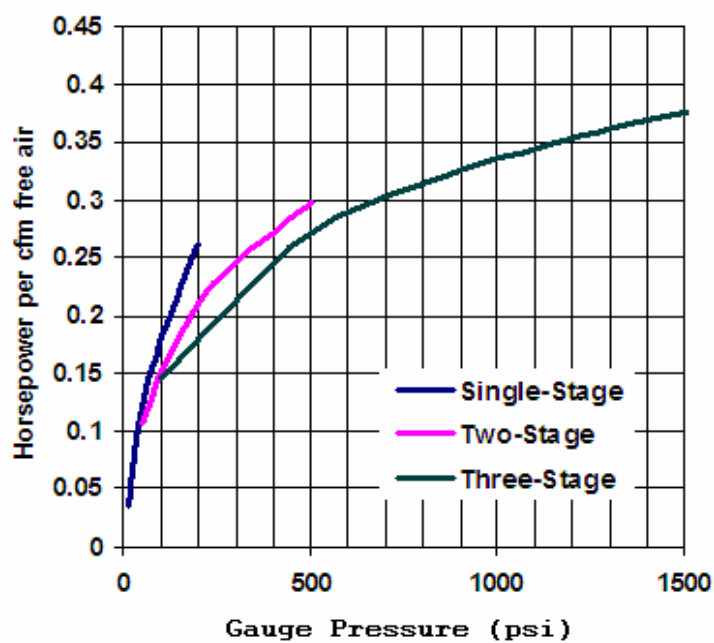
รูปที่ 2.9-1 เส้นโค้งแสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศและความดันด้านขาออก

- เส้นการทำงานนี้แสดงโดย Quadratic curve
- จุดทำงานคือจุดตัด A ของเส้นโค้ง Resistance curve (0 - m) และเส้นโค้งการทำงาน (ความดันกับปริมาตรก๊าซ)
- ปรากฏการณ์ Surging จะเกิดการเด่นอย่างรุนแรง การสั่นของการไหลของก๊าซ เมื่ออัตราการไหลของอากาศลดลงกับช่วงที่เพิ่มขึ้นของความดันกับเส้นโค้ง Gas volume



รูปที่ 2.9-2 กราฟแสดงสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ





รูปที่ 2.9-3 เส้นโค้งแสดงกำลังงานของเครื่องอัดอากาศและความดันด้านขาออก



2.10 คุณภาพอากาศอัด

ลักษณะการใช้อากาศอัดมีความหลากหลาย มีความต้องการสภาพอากาศอัดที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการจำแนกคุณภาพอากาศอัดดังตารางที่ 2.10-1

ตารางที่ 2.10-1 การจำแนกชั้นคุณภาพอากาศตามมาตรฐาน ISO/DIS 8573.1

ชั้นคุณภาพ	ขนาดฝุ่น (ไมครอน)	ความเข้มข้นของฝุ่น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	จุดน้ำค้าง ที่ความดัน 7 บาร์ องศาเซลเซียส (ppm)	น้ำมัน (รวมไอน้ำมัน) (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
1	0.1	0.1	-70 (0.3)	0.01
2	1	1	-40 (16)	0.1
3	5	5	-20 (128)	1
4	15	8	+3 (940)	5
5	40	10	+7 (1240)	25
6			+10 (1500)	N/A
7			No spec	N/A

ตารางที่ 2.10-2 คุณภาพของอากาศอัดสำหรับใช้งานทั่วไป

การใช้งาน	ชั้นคุณภาพอากาศ		
	น้ำมัน	ฝุ่น	น้ำ
เครื่องทอผ้าอากาศอัด	3	5	3
แปรงอากาศอัด	2	2	3
ใช้อากาศวัดขนาด	2	3	3
มอเตอร์ขับเคลื่อนด้วยอากาศอัด	4	4	5
เครื่องทำอิฐและแก้ว	4	4	5
ทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องจักร	4	4	4
การก่อสร้าง	4	5	5
การลำเลียง ชิ้นงานเป็นเม็ด	3	4	3
การลำเลียง ชิ้นงานเป็นผง	2	3	2
งานไฮดรอลิก, วงจรกำลัง	4	4	4
งานไฮดรอลิก, หัวอ่าน	2	2	2



ตารางที่ 2.10-2 คุณภาพของอากาศอัดสำหรับใช้งานทั่วๆ ไป

การใช้งาน	ชั้นคุณภาพอากาศ		
	น้ำมัน	ฝุ่น	น้ำ
เครื่องจักรงานหล่อ	4	4	5
อาหารและเครื่องดื่ม	2	3	1
เครื่องมือใช้อากาศอัด, ที่ควบคุมด้วยมือ	4	5	5
เครื่องมือกล	4	3	5
งานเหมืองแร่	4	5	5
การผลิตอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์	1	1	1
เครื่องจักรบรรจุและสิ่งทอ	4	3	3
กระบวนการฟิล์มถ่ายภาพ	1	1	1
กระบอกนิวเมติก	3	3	5
เครื่องมือนิวเมติก	4	4	4
อุปกรณ์ควบคุมการกระบวนการผลิต	2	2	3
การพ่นสี	3	3	3
การเป่าทราย	-	3	3
เครื่องเชื่อม	4	4	5
อากาศที่ใช้ในโรงซ่อมทั่วๆ ไป	4	4	5



บทที่ 3

เทคโนโลยีส่วนประกอบ
อุปกรณ์ระบบอากาศอัด

บทที่ 3

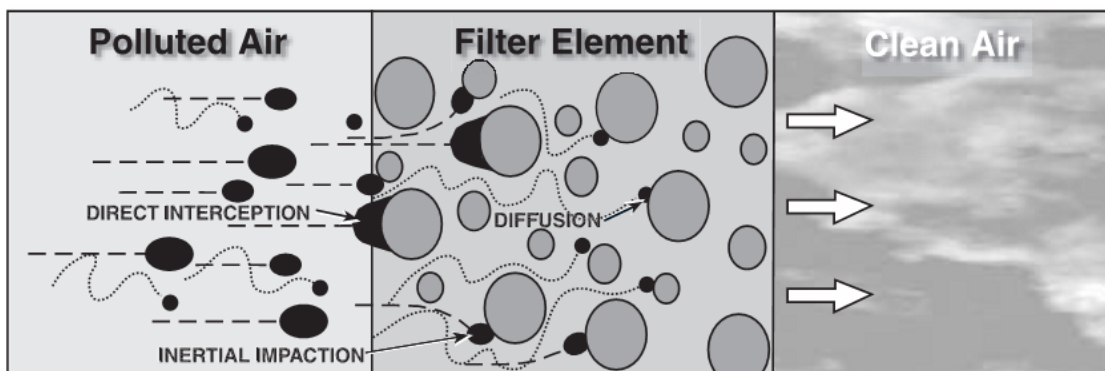
เทคโนโลยีส่วนประกอบอุปกรณ์ระบบอากาศอัด

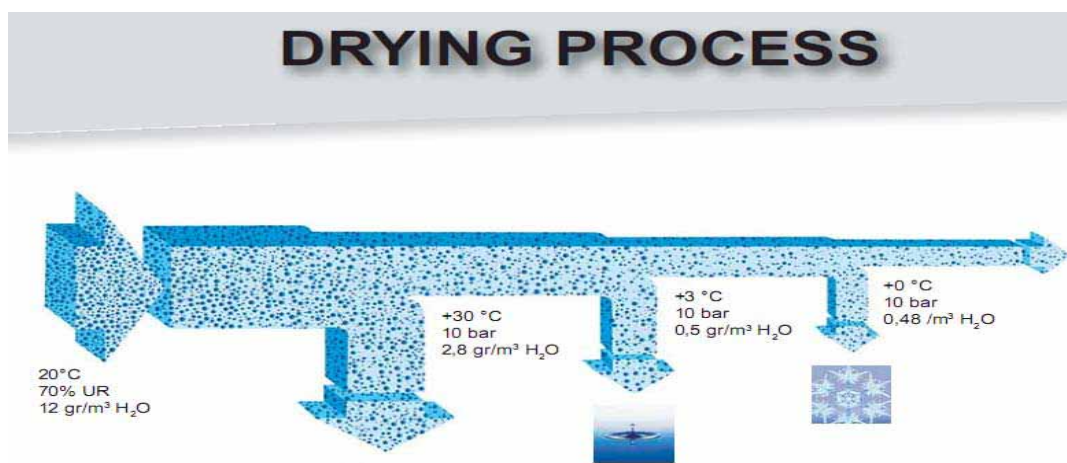
3.1 เครื่องทำอากาศอัดแห้ง (Compressed Air Dryer Technology)

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีความจำเป็นต้องใช้อากาศอัดทั้งนั้น โดยทั่วไปแล้วการผลิตอากาศอัดต้องมีความแห้ง ปราศจากน้ำมัน และต้องสะอาด เพื่อป้องกันการหยุดเครื่องอัดอากาศจากการเสียหายของระบบอากาศอัดผลิตจากเครื่องอัดอากาศ โดยใช้การอัดตัวของอากาศในบรรยากาศ ซึ่งประกอบด้วยสิ่งเจือปนต่าง ๆ ฝุ่นละออง (ประมาณ 140 หนึ่งส่วนในล้านส่วนต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศในบรรยากาศ) และน้ำจากไอน้ำในอากาศ ซึ่งสามารถกลั่นตัวได้หลังถูกอัดโดยเครื่องอัดอากาศ

เปอร์เซ็นต์การควบแน่นหรือกลั่นตัวของอากาศอัด จะมีผลต่อการกัดกร่อนของอุปกรณ์และชิ้นส่วนในระบบอัดอากาศ ตัวอย่างเช่น เครื่องอัดอากาศขนาด 37 กิโลวัตต์ มีอัตราการอัดอากาศ 6,000 ลิตรต่อนาที (212 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) ความดันอากาศอัด 7 บาร์ อากาศก่อนถูกอัดมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดไอน้ำ 5.4 ลิตรต่อชั่วโมง และหลังจากอากาศอัดถูกส่งไปในระบบท่อลม จะเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำขนาดเล็ก การใช้アフタークーเลอร์ (After cooler) อุปกรณ์แยกน้ำและการระบายน้ำสามารถช่วยลดการกลั่นตัวของน้ำได้ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point) จะทำให้มีปริมาณน้ำจากการควบแน่นมากขึ้น โดยทั่วไปอุณหภูมิน้ำค้างจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยากาศเล็กน้อย





รูปที่ 3.1-1 กระบวนการทำอากาศแห้ง

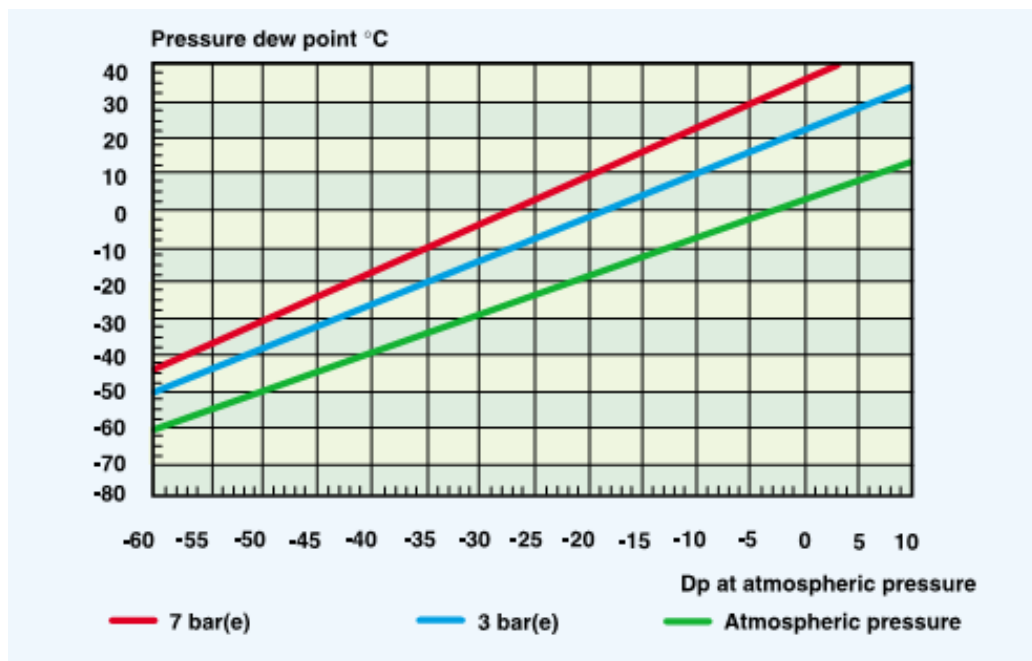
ความดันจุดน้ำค้าง (Pressure Dew Point: PPP) ใช้สำหรับพิจารณาปริมาณน้ำในอากาศอัด ดังนั้น การเลือกเครื่องทำอากาศอัดแห้งควรพิจารณาจากความดันและอุณหภูมิจุดน้ำค้าง โดยทั่วไปแล้วมี 4 วิธี สำหรับการแยกน้ำออกจากอากาศอัด คือ

- 1) การหล่อเย็น (Cooling)
- 2) Over Compression
- 3) การดูดกลืน (absorption)
- 4) การดูดกลืนโดยของแข็ง (adsorption)

Air Quality Classifications ISO 8573.1 2001

ISO QUALITY CLASS	SOLIDS / DIRT Particle size in microns	WATER @ 100 psig Pressure Dew Point		OIL (including Liquid & Vapor)	
		° C	° F	Mg /m ³	PPM
0	As specified	As specified		As specified	
1	0.1	-70	-94	0.01	0.008
2	1	-40	-40	0.1	0.08
3	5	-20	-4	1	0.8
4	15	+3	+38	5	4
5	40	+7	+45	25	21
6	-	+10	+50	-	-





รูปที่ 3.1-2 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดน้ำค้างและอากาศอัด

ปริมาณน้ำระบบอากาศอัดในระบบท่อส่งลมจะส่งผลให้เกิดสนิม ตะกรัน ดังนั้นระบบอัดอากาศจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องทำอากาศแห้ง เพื่อลดปริมาณน้ำและป้องกันการเกิดน้ำในระบบท่อส่งลม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบอัดอากาศ ตารางที่ 3.1-1 และตารางที่ 3.1-2 แสดงอุณหภูมิ น้ำค้างและปริมาณไอน้ำในอากาศ รวมถึงความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องทำอากาศแห้ง

ตารางที่ 3.1-1 ปริมาณน้ำในอากาศ

Dew Point at Atmospheric Pressure (องศาเซลเซียส)	Moisture Content, (หนึ่งในล้านในล้านส่วน)
0	3,800
-5	2,500
-10	1,600
-20	685
-30	234
-40	80
-60	6.5



ตารางที่ 3.1-2 ความดันน้ำค้างและความสิ้นเปลืองพลังงานเครื่องทำอากาศแห้ง

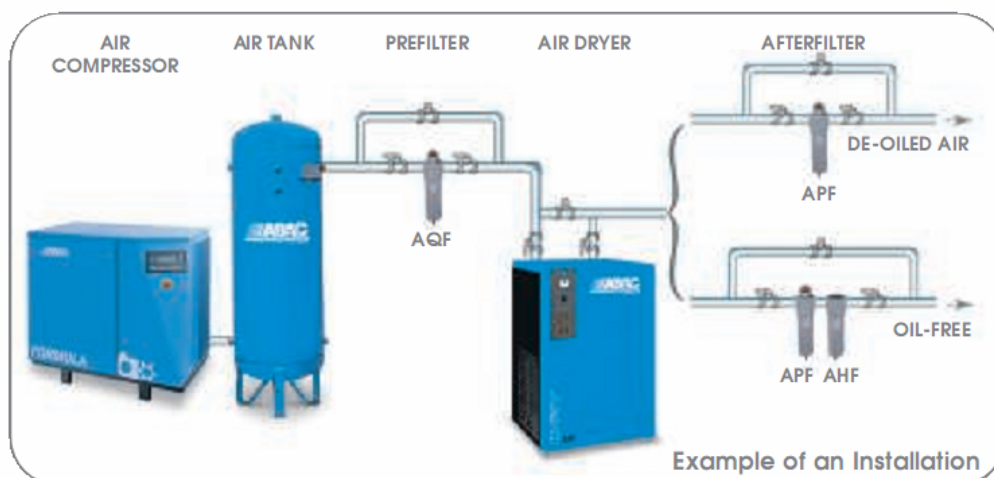
Type of Dryer	Atmospheric Dew Point °C	First Cost	Operating Cost	Power Cons. For 1000 m ³ /hr
Refrigeration	-20	Low	Low	2.9 kW
Desiccant regenerative (by compressed air purging)	-20	Low	High	20.7 kW
Desiccant regenerative (external or internal heating with electrical or steam heater, reduced or no compressed air purging)	-40	Medium	Medium	18.0 kW
Desiccant regenerative (using heated low pressure air, no compressed air loss)	-40	High	Low	12.0 kW
Desiccant regenerative (by recovery of heat of compression from compressed air)	-40	High	Very low	0.8 kW

3.1.1 ประเภทเครื่องทำอากาศแห้ง

1) เครื่องทำอากาศแห้งด้วยสารทำความเย็น (Refrigeration Dryer)

โดยปกติแล้วเครื่องระบายความร้อนไม่สามารถกำจัดความชื้นหรือไอน้ำออกได้หมด ซึ่งจะกำจัดได้ประมาณ 70–80 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น น้ำที่เหลือจะปนมากับอากาศอัด จึงต้องใช้อุปกรณ์ที่ทำให้ลมปราศจากความชื้นหรือไอน้ำอีกครั้ง ด้วยเครื่องทำอากาศแห้ง

เครื่องทำอากาศแห้งด้วยสารทำความเย็น มีหลักการทำงานอากาศอัดไหลเข้าเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนแบบอากาศกับอากาศ (Air to Air Heat Exchanger) ทำให้อากาศอัดที่ออกจากเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิต่ำลงอากาศไหลผ่านอีวาพอเรเตอร์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดน้ำค้างประมาณ 2-10 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับจุดแข็งตัว (Freezing point) ของน้ำ น้ำที่เกิดจากการควบแน่นจะถูกระบายออกจากเครื่องทำอากาศแห้งแบบอัตโนมัติ



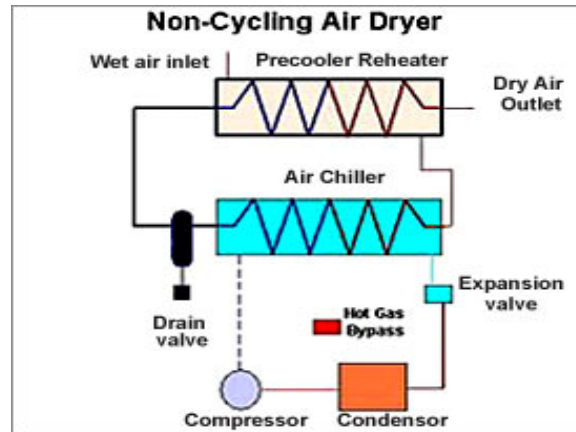
รูปที่ 3.1-3 เครื่องทำอากาศแห้งด้วยสารทำความเย็น



เครื่องทำอากาศแห้งด้วยสารทำความเย็น สามารถแบ่งแยกออกได้ 2 ประเภท คือ

1.1) แบบ Non – cycling Refrigerated Dryer

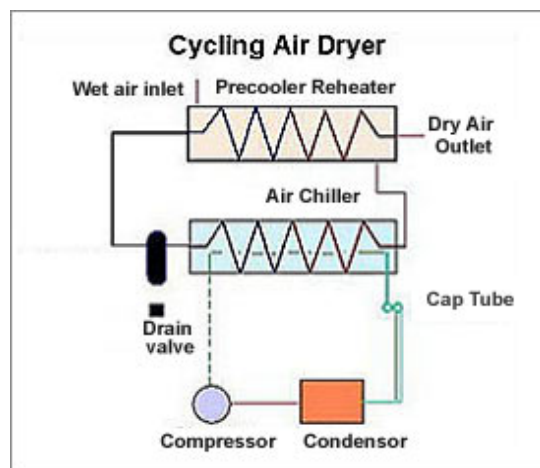
เครื่องทำอากาศแห้งลักษณะนี้มีหลักการทำงาน คือ คอมเพรสเซอร์ของระบบทำความเย็นจะทำงานต่อเนื่องตลอดเวลา ไม่มีการหยุดการทำงาน อากาศอัดที่มีอุณหภูมิสูงจะไหลเข้าด้านหนึ่งของอีวาพอเรเตอร์ที่ความดันต่ำ และสารทำความเย็นเหลว (Liquid refrigerant) จะไหลเข้าอีกด้านหนึ่งของอีวาพอเรเตอร์ ดังรูปที่ 3.1-4



รูปที่ 3.1-4 เครื่องทำอากาศแห้งแบบ Non-Cycling Refrigerated

1.2) แบบ Cycling Refrigerated Dryer

เครื่องทำอากาศแห้งชนิดนี้ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์สำหรับลดอุณหภูมิของอากาศอัด ซึ่งสามารถใช้สารตัวกลางประเภททราย (Sand) โลหะ (Metal) หรือของไหล (Fluid) ซิลเลอร์อากาศ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และอีวาพอเรเตอร์ถูกติดตั้งภายในถังระบบทำความเย็นจะดึงความร้อนจากสารตัวกลางที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศอัดและเมื่ออุณหภูมิของซิลเลอร์ได้ตามที่ต้องการ ระบบทำความเย็นจะหยุดการทำงาน ซึ่งระบบนี้สามารถประหยัดพลังงานของคอมเพรสเซอร์ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับระบบ Non-cycling Refrigerated

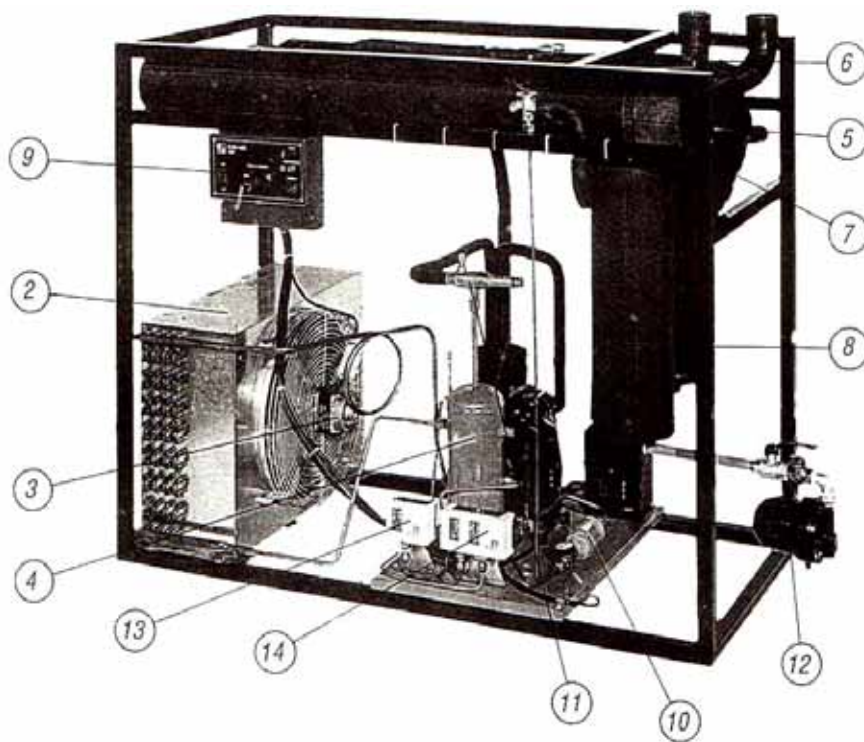


รูปที่ 3.1-5 เครื่องทำอากาศแห้งแบบ Cycling Refrigerated



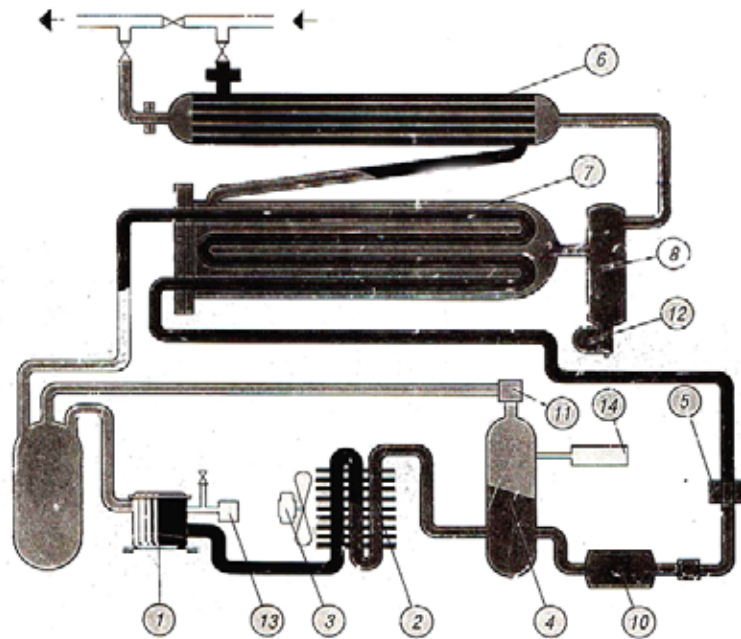


รูปที่ 3.1-6 Refrigerant Air Dryer



รูปที่ 3.1-7 โครงสร้างภายในของ Air Dryer





รูปที่ 3.1-8 ไดอะแกรมการทำงานภายในของ Refrigerant Air Dryer

- ① เครื่องอัดน้ำยาทำความเย็น
- ② รังผึ้งระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air cooled Condenser)
- ③ พัดลมระบายอากาศ
- ④ ถังพักน้ำยาที่เป็นของเหลว
- ⑤ วาล์วลดแรงดันน้ำยา (Expansion valve)
- ⑥ ห้องระบายอากาศอัดร้อนเข้ากับอากาศอัดเย็นขาออก
- ⑦ ห้องระเหยน้ำยา (Evaporator)
- ⑧ ถังกลมให้อากาศหมุนภายในถังเพื่อแยกหยดน้ำออกจากอากาศอัด
- ⑨ แผงควบคุมเครื่อง ปุ่มกด เดิน/หยุดเครื่อง
- ⑩ สารดูความชื้นของน้ำยา
- ⑪ วาล์วลัดผ่าน (By pass valve)
- ⑫ วาล์วทั้งน้ำอัดโนมิต
- ⑬ สวิตช์ตัดหยุดเมื่อแรงอัดน้ำยาสูงหรือต่ำไป (Hi-Low Switch)
- ⑭ สวิตช์อุณหภูมิตัดหยุดเมื่ออุณหภูมิต่ำไป

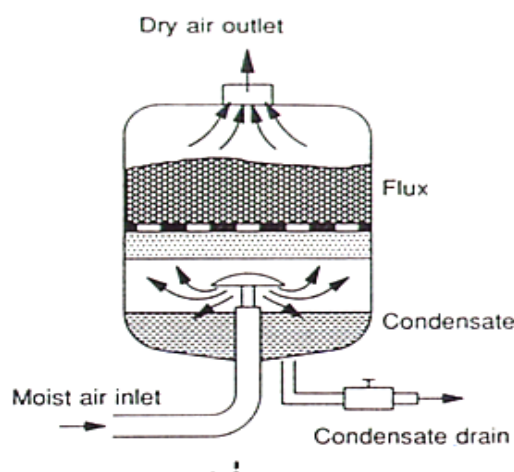
2) เครื่องทำอากาศแห้งแบบ Over-compression

กระบวนการอัดอากาศแบบ Over-compression เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำให้อากาศอัดแห้งได้ อากาศถูกอัดครั้งแรกด้วยความดันสูงกว่าความดันใช้งาน ซึ่งทำให้การรวมตัวกันของไอน้ำในอากาศเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่ออากาศเย็นลงไอน้ำจะควบแน่นและถูกแยกตัวออกมาจากอากาศอัด อย่างไรก็ตามสามารถใช้ได้กับระบบที่มีอัตราการไหลของอากาศอัดต่ำ ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานสูง

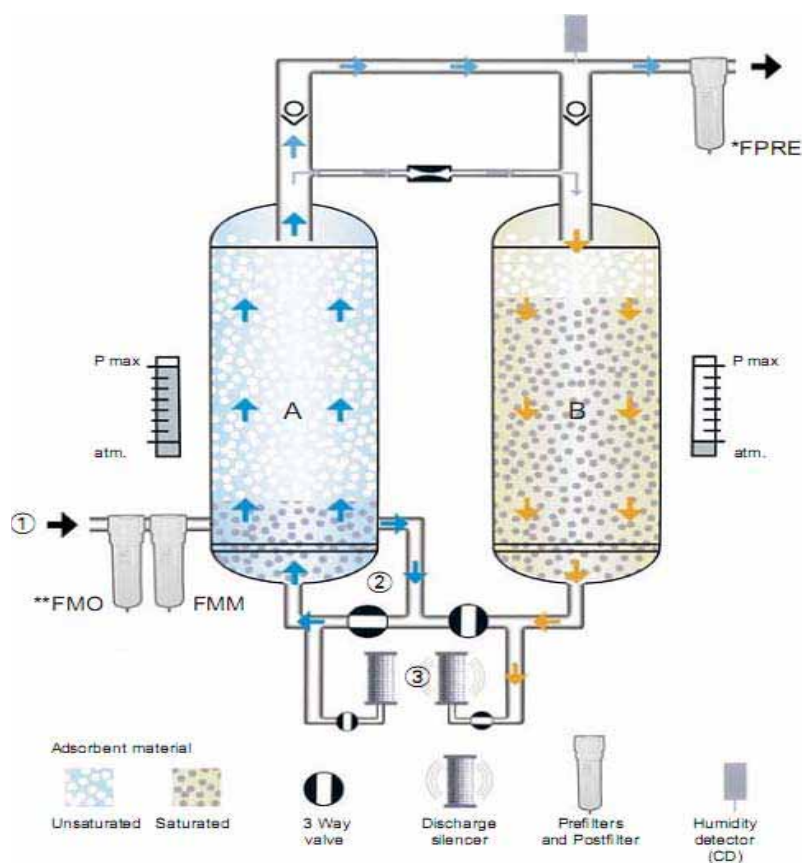


3) เครื่องทำอากาศแห้งแบบดูดกลืน (Absorption Drying)

การทำอากาศแห้งด้วยการดูดกลืน (Absorption Drying) ดังรูปที่ 3.1-9 และ รูปที่ 3.1-10 ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมี ให้น้ำถูกดูดกลืนโดยวัสดุดูดกลืนที่บรรจุอยู่ภายในภาชนะไอน้ำหรือความชื้นของอากาศจะสัมผัสกับวัสดุเหล่านี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี และรวมตัวกันเป็นสารละลายแล้วตกลงมาด้านล่างของภาชนะ อากาศอัดที่แห้งแล้งจะผ่านออกไปในระบบท่อส่งลม น้ำจะถูกระบายออกด้านล่างของเครื่องทำอากาศแห้ง โดยทั่วไปแล้ววิธีนี้ไม่ค่อยนิยมใช้ เนื่องจากสิ้นเปลืองสารดูดความชื้น



รูปที่ 3.1-9 เครื่องทำอากาศแห้งแบบดูดกลืน

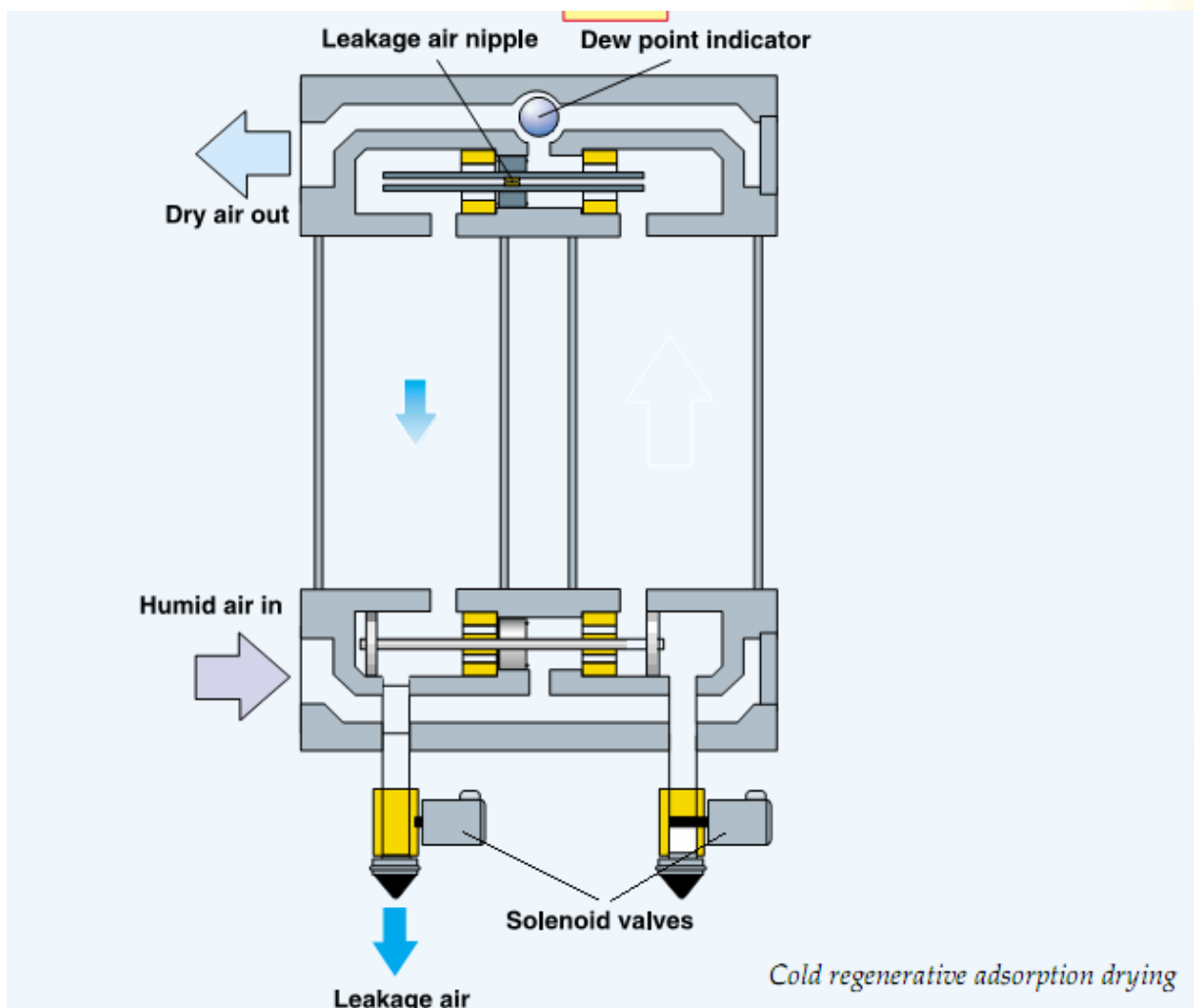


รูปที่ 3.1-10 เครื่องทำอากาศแห้งแบบ Adsorption drying



4) เครื่องทำอากาศแห้งแบบ Adsorption drying

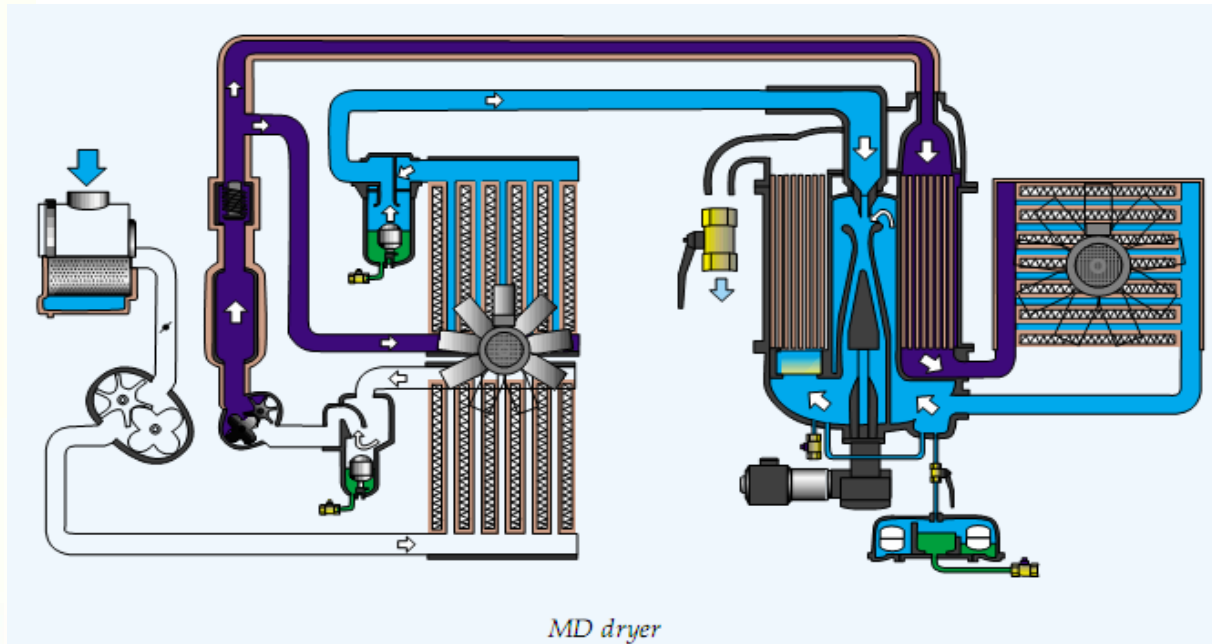
การทำให้อากาศแห้งโดยใช้มวลสารหรือวัสดุที่มีพื้นผิวเป็นรูพรุน ซึ่งกรรมวิธีแบบนี้จะใช้วัสดุที่มีพื้นผิวเป็นรูพรุนจำนวนมากในการดูดความชื้นหรือไอน้ำในอากาศอัด (Adsorption process) ดังรูปที่ 3.1-11 และ รูปที่ 3.1-12 โดยหลักการของฟิสิกส์ รูพรุนเหล่านี้จะสะสมปริมาณไอน้ำ ทำให้ไอน้ำเหล่านี้จับตัวกันเป็นหยดน้ำ วัสดุที่ดูดความชื้นนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก โดยการนำวัสดุที่มีความชื้นอิ่มตัวหรือเสื่อมสภาพแล้วไปผ่านกรรมวิธีคายความชื้น การทำอากาศแห้งด้วยวัสดุที่มีพื้นผิวเป็นรูพรุนสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบสกรู จะใช้ความร้อนจากเครื่องอัดอากาศในการคายความร้อนของวัสดุดูดความชื้น (Regenerate the desiccant) เครื่องทำอากาศแห้งลักษณะนี้โดยทั่วไปจะติดตั้งบนคานที่หมุนได้ เพื่อดูดความชื้นหรือไอน้ำจากอากาศอัดและคายความร้อนหรือไอน้ำด้วยความร้อนจากเครื่องอัดอากาศ (130-200 องศาเซลเซียส) โดยทั่วไปใช้ Silica gel Activated Alumina และ Molecular Sieve



รูปที่ 3.1-11 กระบวนการทำอากาศแห้ง Adsorption drying



- Silica gel เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับความชื้นและไอน้ำได้ดี
- Activated Alumina เป็นวัสดุที่เกิดจากการประกอบระหว่างอลูมิเนียมและซิลิกอน มีความสามารถในการดูดซับความชื้นและไอน้ำได้ดี
- Molecular Sieve เป็นวัสดุที่ผลิตจาก Zeolites สามารถคายความชื้นหรือไอน้ำได้ดี



รูปที่ 3.1-12 กระบวนการทำอากาศแห้งด้วย Adsorption drying

3.1.2 การเลือกเครื่องทำอากาศแห้ง (Select a Compressed Air Dryer)

1) ปริมาณและคุณภาพความแห้งของอากาศอัด

ต้องพิจารณาความสามารถของเครื่องทำอากาศแห้งที่เหมาะสมกับปริมาณอากาศอัดที่ต้องใช้งาน และสามารถลดความชื้นหรือไอน้ำอากาศอัดได้โดยไม่เหลือความชื้นหรือไอน้ำที่อาจทำให้เกิดการควบแน่นในระบบท่อส่งลมได้ สำหรับเครื่องอัดอากาศที่ไม่มีระบบหล่อเย็น อากาศที่ออกจากเครื่องอัดอากาศมีอุณหภูมิระหว่าง 82-176°C และเครื่องอัดอากาศที่ติดตั้งระบบหล่อเย็น อุณหภูมิของอากาศจะลดลงประมาณ 10°C จากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

2) วิเคราะห์อุปกรณ์ในระบบอัดอากาศ

2.1) เครื่องอัดอากาศ

ตรวจสอบข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องอัดอากาศจากบริษัทผู้ผลิต ความสามารถของเครื่องอัดอากาศ SCFM ที่ความดัน 100 PSIG ควรมีค่าอยู่ประมาณ 4-5 SCFMต่อแรงม้าและข้อมูลอื่น

- บริษัทผู้ผลิตเครื่องอัดอากาศ



- ชนิดเครื่องอัดอากาศ
- Cut – in pressure
- Cut – out pressure
- ระบบหล่อเย็น (ระบายความร้อน)
- อุณหภูมิอากาศออกจากเครื่องอัดอากาศ

2.2) After cooler

- สามารถในการลดอุณหภูมิของอากาศอัด
- ตำแหน่งการติดตั้ง ด้านนอกหรือด้านในอาคาร
- ช่วงอุณหภูมิต่ำสุด และสูงสุดของอากาศบริเวณติดตั้ง
- อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อน

2.3) ถังลม

- ความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถังลมที่ต้องการ
- ตำแหน่งการติดตั้งถังลม
- อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดของอากาศบริเวณติดตั้งถังลม

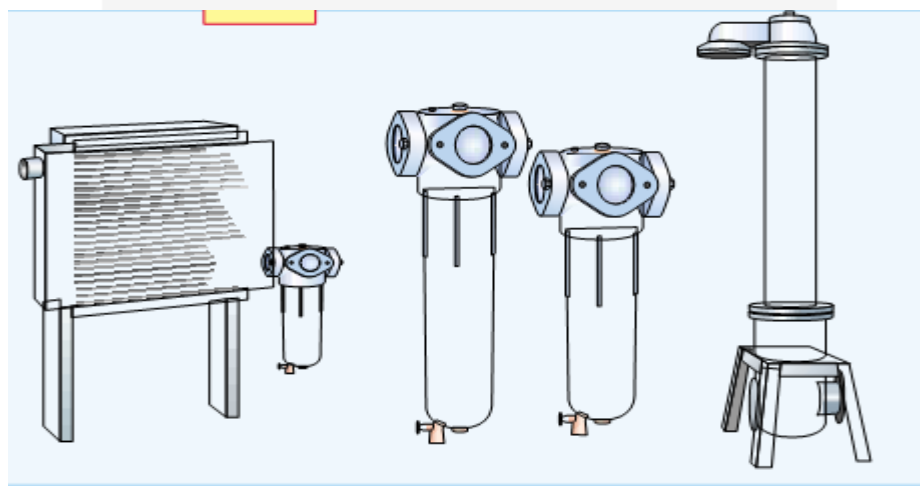
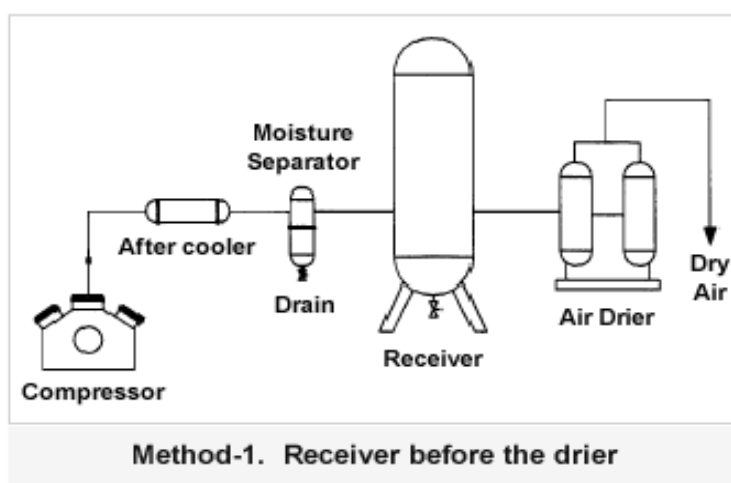
2.4) อุณหภูมิบริเวณพื้นที่ติดตั้งเครื่องอัดอากาศและอุปกรณ์ประกอบ

- อุณหภูมิภายใน (Indoors) หรือภายนอก (Outdoors)
- พื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งมีผลต่อการควบแน่นของน้ำอากาศอัดที่ติดตั้งระบบท่อส่งลม ผ่านพื้นที่ปรับอากาศ



3.2 ออฟเตอร์คูลเลอร์ (After cooler)

ออฟเตอร์คูลเลอร์ เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อระบายความร้อนให้กับอากาศอัดที่มาจากเครื่องอัดอากาศ โดยทั่วไปใช้น้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อป้องกันการควบแน่นหรือกลั่นตัวของน้ำในระบบท่อส่งลม น้ำหรืออากาศเย็นภายในอุปกรณ์แยกน้ำจะถูกระบายออกจากระบบโดยอัตโนมัติ น้ำที่เกิดจากการควบแน่นประมาณ 70–80 เปอร์เซ็นต์ เกิดขึ้นในอุปกรณ์แยกน้ำภายในออฟเตอร์คูลเลอร์ ซึ่งอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากออฟเตอร์คูลเลอร์ จะมีค่ามากกว่าอุณหภูมิทั่วไปประมาณ 10 องศาเซลเซียส หรือขึ้นอยู่กับ การปรับตั้ง และชนิดของออฟเตอร์คูลเลอร์ ดังรูปที่ 3.2-1

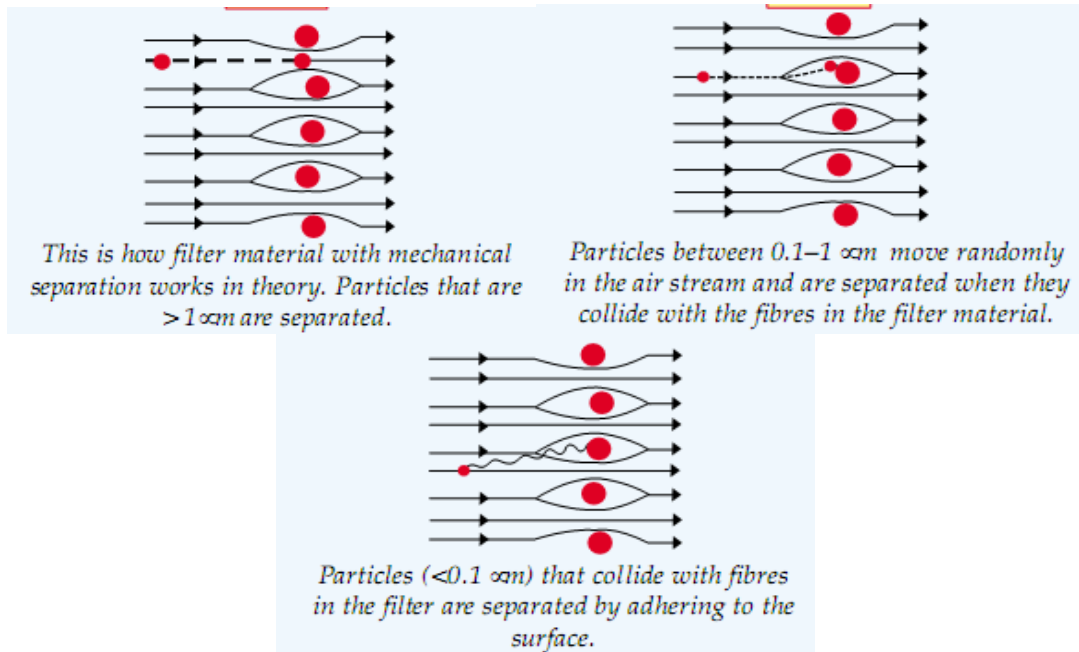


รูปที่ 3.2-1 อุปกรณ์ในระบบ After cooler



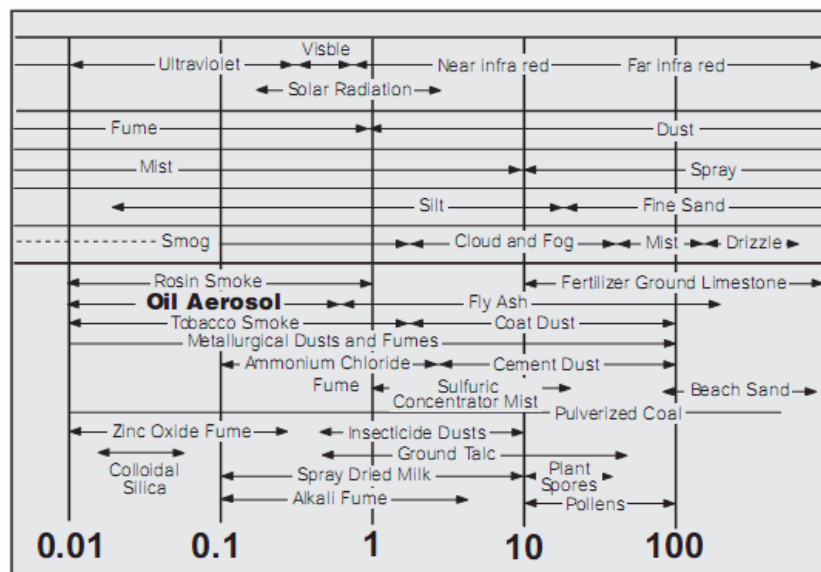
3.3 ตัวกรองอากาศอัด (Compressed Air Filters)

โดยทั่วไปแล้วอากาศในบรรยากาศประกอบด้วยสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน และฝุ่นละออง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ในกรองสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ ซึ่งขนาดฝุ่นละอองมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะถูกดักไว้และฝุ่นที่มีขนาดระหว่าง 0.1–1 ไมครอน จะถูกดักโดย Filter ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยดัง รูปที่ 3.3-1



รูปที่ 3.3-1 ลักษณะการกรองอากาศอัด

Pollution Size Chart



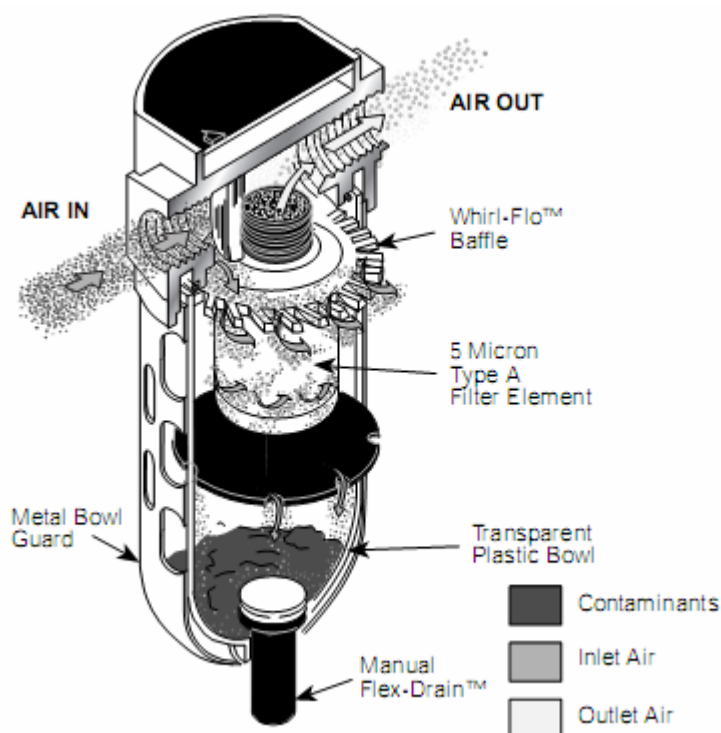
รูปที่ 3.3-2 แผนภาพขนาดฝุ่นละอองในอากาศ



3.3.1 ประเภทตัวกรองอากาศ

1) *Particulate Filter*

อากาศที่มีความชื้นและสกปรกจะถูกส่งเข้าไปในกรอง โดยผ่านชุดใบกังหัน ซึ่งจะทำการแยกของเหลวและฝุ่นละอองออกจากอากาศอัด ดังรูปที่ 3.3-3



รูปที่ 3.3-3 ตัวกรองแบบ Particulate

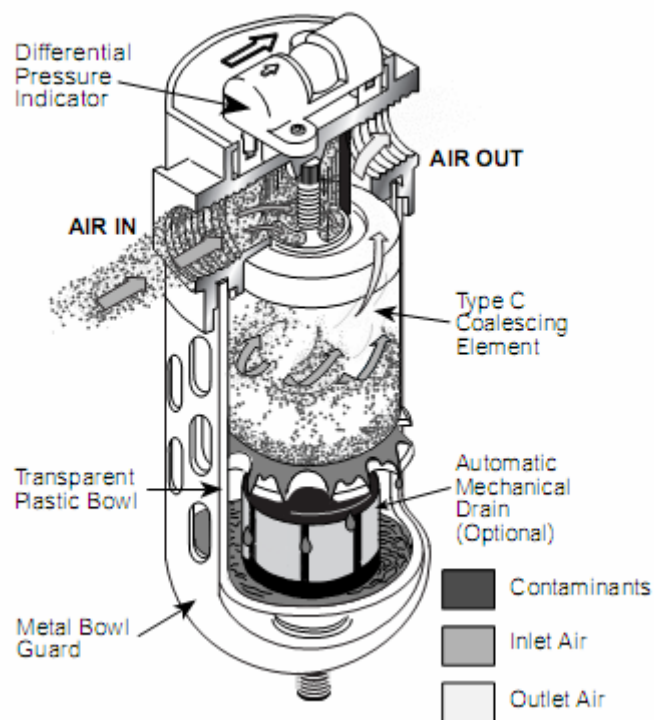
2) *Coalescing Filter Coil removal*

กรองลักษณะนี้ออกแบบมาโดยเฉพาะในการนำฝุ่นละอองออกจากอากาศอัด ชิ้นส่วนของกรองออกแบบจากเส้นใยขนาดเล็กมาก ทำให้มีประสิทธิภาพสูงและมีความดันตกน้อยมาก โดยที่อากาศอัดจะไหลผ่านชั้นในสุด ซึ่งเป็นการกรองขั้นต้น ชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่จะถูกดักไว้ในบริเวณนี้ ส่วนชิ้นส่วนของฝุ่นที่มีขนาดเล็กจะรวมถึงความชื้นและไอน้ำมันหล่อลื่นจะถูกดักโดยชุดกรอง ทำจากเส้นใยละเอียด “Wet-band” เพื่อแยกน้ำและความชื้นออกจากอากาศอัด และระบายออกโดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.3-4

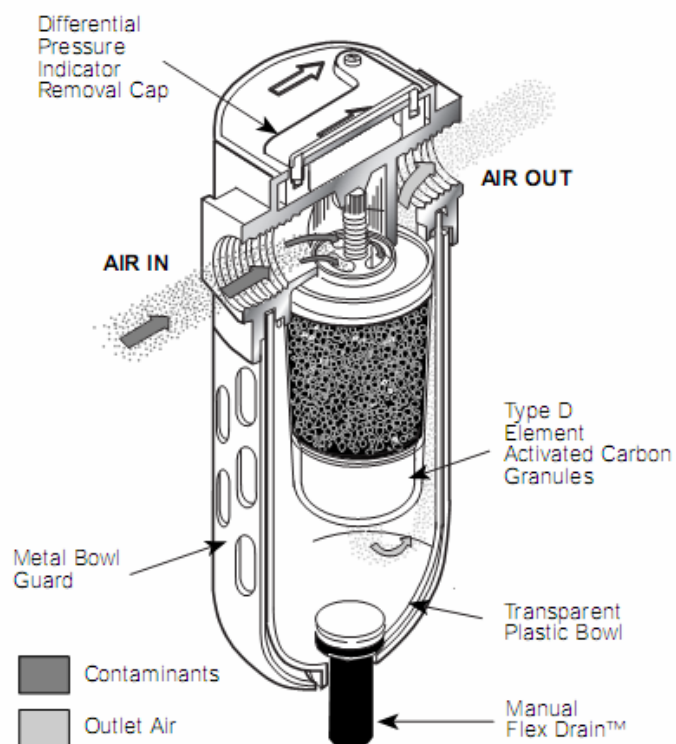
3) *Oil Vapor Filter*

คาร์บอนจะช่วยให้สามารถแยกไอน้ำมันและน้ำมันหล่อลื่นออกจากอากาศอัดได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีปริมาณน้ำมันหล่อลื่นคงเหลือหลังจากผ่านการกรองลักษณะที่สูงสุดไม่เกิน 0.003 ppm ที่ความดัน 6.9 บาร์ อุณหภูมิ 21°C ดังรูปที่ 3.3-5





รูปที่ 3.3-4 ตัวกรองแบบ Coalescing



รูปที่ 3.3-5 ตัวกรองแบบ Oil Vapor Filler



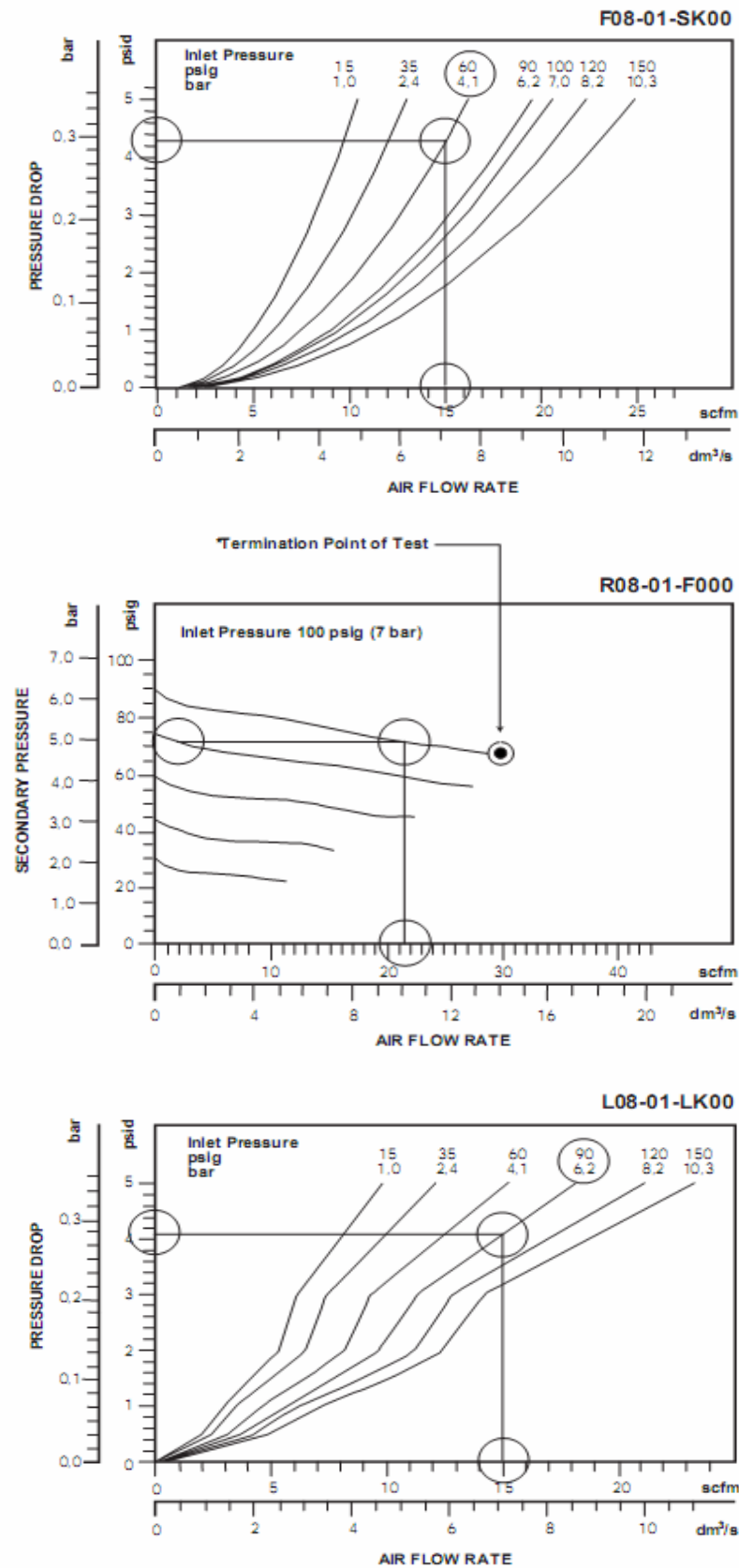


รูปที่ 3.3-6 ชุดกรองอากาศ-ชุดปรับแรงดัน-ชุดป้อนน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 3.3-7 ชุดกรองที่มีแถบสีเขียว/แดง แจ้งให้เปลี่ยนไส้กรอง





รูปที่ 3.3-8 กราฟแสดงความดันตกของกรอง ชุดปรับแรงดัน และระบบหล่อลื่น



3.4 ถังเก็บอากาศ (Air Tank/ Air Receiver Tank)

3.4.1 หน้าที่ถังเก็บอากาศ

ในสมัยแรกเริ่มใช้เครื่องอัดอากาศ ถังเก็บอากาศมีหน้าที่ช่วยกักเก็บอากาศอัด และใช้ในการทำให้อากาศอัดที่มีแรงดันสูงเมื่อเกิดการอัดและต่ำลงเมื่อเกิดการดูด (Pulsation) ให้มีความดันสม่ำเสมอเหมาะสมในการใช้งาน แต่ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์ในเรื่องเพิ่มเติมดังนี้

- 1) การให้เครื่องเดิน-และหยุดยาวออกไปเพื่อป้องกันมอเตอร์เดิน-และหยุดถี่เกินไปอันอาจทำให้มอเตอร์ไหม้เสียหายได้ โดยเฉพาะสถานประกอบการที่มีการใช้เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ถังเก็บอากาศนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพราะมีการกระเพื่อมของอากาศอัดค่อนข้างมาก รวมทั้งเครื่องอัดอากาศแบบสกรูและโรตารีเว็น
- 2) ใช้สำรองอากาศไว้ให้เครื่องจักรที่ใช้อากาศอัดครั้งละมากๆ และป้องกันมิให้แรงดันในระบบตก เมื่อมีการใช้อากาศปริมาณมากๆ ในแต่ละครั้ง
- 3) ช่วยระบายความร้อนอากาศอัด แล้วทำให้อากาศภายในถังเย็นลงเนื่องจากถังลมนมีพื้นผิวค่อนข้างมาก เป็นการนำเอาความร้อนที่กักในตัวเครื่องออกไป



รูปที่ 3.4-1 ถังลม



3.4.2 การหาขนาดถังเก็บอากาศ

การหาขนาดของถังเก็บอากาศมีวิธีการหลายแบบ ในคู่มือเล่มนี้แนะนำการคิดเฉพาะดังนี้

- 1) เพื่อป้องกันปัญหาแรงดันกระเพื่อมของเครื่องแบบลูกสูบ ในย่านแรงดันถึง 10 บาร์ ให้ใช้ถึงขนาด 1/10 ของอากาศอิสระลิตรต่อนาที เช่น เครื่องขนาด 1,000 ลิตรต่อนาที ใช้ถึงขนาดเล็กสุด 100 ลิตร
- 2) เพื่อป้องกันปัญหาเครื่องหยุด-เดินถี่เกินคุณสมบัติกำหนดของมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์มีปัญหาไหม้

$$V = \frac{60}{N \times \frac{(P_{\max} + P_{\text{atm}}) - (P_{\min} + P_{\text{atm}})}{P_1} \left\{ \frac{1}{Q_{\text{cons}}} + \frac{1}{Q_{\text{FAD}} - Q_{\text{cons}}} \right\}} \quad (3.4.1)$$

- เมื่อ
- V = ขนาดถัง เป็นลูกบาศก์เมตร
 - N = จำนวนครั้งที่มอเตอร์หยุด-เดินใน 1 ชั่วโมง
 - 7.5 กิโลวัตต์ ไม่ควรเกิน 10 ครั้งต่อชั่วโมง
 - 37 กิโลวัตต์ ไม่ควรเกิน 5 ครั้งต่อชั่วโมง
 - 75 กิโลวัตต์ ไม่ควรเกิน 2-3 ครั้งต่อชั่วโมง
 - $P_{\max}$ = ความดันเกาส์สูงสุด (บาร์) ที่เครื่องอัดอากาศตั้งปรับไว้เพื่อหยุดเครื่อง
 - $P_{\min}$ = ความดันเกาส์ต่ำสุด (บาร์) ที่เครื่องใช้ก๊าซอัดจะทำงานได้ตามปกติ และเครื่องอัดอากาศจะเริ่มทำงาน
 - P_{atm} = ความดันบรรยากาศ 1 atm = 1.013 บาร์ (สัมบูรณ์)
 - P_1 = ความดันอากาศเข้าสัมบูรณ์ = 1.013 บาร์ (สัมบูรณ์)
 - Q_{cons} = ปริมาณอากาศอัดที่ต้องการใช้งาน (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)
 - Q_{FAD} = ปริมาณอากาศอัดที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้ (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)

ถ้าไม่สามารถหา Q_{FAD} จากแคตตาล็อกจากผู้ผลิตได้ให้ใช้ตัวเลขจาก CAGI โดยประมาณ คือ 4 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีต่อแรงม้า หรือ 152 ลิตรต่อนาทีต่อกิโลวัตต์ หรือ 0.152 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อกิโลวัตต์ หรือ 0.40 กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที

สำหรับ การหา Q_{cons} นั้นให้ทำการเดินเครื่องแล้วจับเวลาที่เครื่องนั้นรับภาระ (On Load) เป็นนาที หรือวินาทีจะได้เวลา T_{OnLoad} แล้วจับเวลาที่เครื่องนั้นปลดภาระ (Unload) ซึ่งจะปลดภาระโดยเครื่องยังเดินอยู่แต่ไม่ทำการอัดอากาศหรือเครื่องหยุดไปเลย เวลาเป็นนาทีหรือวินาที และจะได้เวลาเท่ากับ T_{Unload} ฉะนั้นตลอดเวลาที่เครื่องรับภาระและรวมเวลาที่เครื่องปลดภาระ อากาศอัดที่ใช้งานจะได้จากการอัดอากาศเมื่อเครื่องรับภาระเท่านั้น ซึ่งจะหาได้จากสูตร

$$\therefore Q_{\text{cons}} = \frac{T_{\text{OnLoad}}}{(T_{\text{OnLoad}} + T_{\text{Unload}})} \times Q_{\text{FAD}} \quad (3.4.2)$$



3) เพื่อป้องกันปัญหาที่เครื่องใช้อากาศอัดปริมาณมากๆ ในช่วงสั้นๆ ถ้าไม่มีถังขนาดเพียงพอ สะสมอากาศอัดไว้รับสถานการณ์ช่วงนั้นอากาศในระบบความดันจะลดลงกะทันหัน อาจทำให้บางเครื่องจักรหยุดถ้ามีสวิตช์ความดันต่ำตัดหยุดเพื่อป้องกันมิให้เสียหายกับผลผลิตหรือเครื่องจักร

กรณีนี้สามารถหาขนาดของถังได้จากสมการ

$$V = \frac{P_{Atm}}{P_{max} - P_{min}} (Q_{cons} - Q_{sup ply} \times T) \quad (3.4.3)$$

- เมื่อ
- V = ปริมาตรของถังเก็บอากาศ (ลูกบาศก์เมตร)
 - P_{max} = ความดันอากาศอัดสูงสุดที่เครื่องอัดอากาศอัดได้ (บาร์)
 - P_{min} = ความดันต่ำสุดที่เครื่องใช้อากาศอัดยังสามารถทำงานได้และเครื่องอัดอากาศต้องเริ่มทำงาน
 - P_{atm} = ความดันบรรยากาศสัมบูรณ์ 1.013 บาร์
 - Q_{cons} = ปริมาตรอากาศอัดที่เครื่องใช้อากาศอัดต้องการมากในช่วงสั้นๆ (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)
 - Q_{Supply} = ปริมาตรอากาศอัดที่ไหลเข้าถังในขณะที่ใช้อากาศอัดมากในช่วงสั้นๆ (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ซึ่งในสูตรมีแต่ในความจริงจะหาค่านี้ไม่ได้ ดังนั้น ให้คิดว่าไม่มีอากาศเข้าถังในขณะที่นั้นเท่ากับศูนย์)
 - T = เวลาที่อากาศไหลเข้าถังในขณะที่ใช้อากาศมากๆ (นาที)

ตารางที่ 3.4-1 ขนาดถังอากาศอัดกับแรงม้า และอัตราการไหลของอากาศอัด

Compressor Power		Recommended Receiver Volume			Airflow Capacity		Recommended Receiver Volume		
(hp)	(kW)	(cu ft)	(gal)	(m3)	(cfm)	(m3/h)	(cu ft)	(gal)	(m3)
5	3.7	3	20	0.1	100	170	13	100	0.4
7.5	5.6	4	30	0.1	200	340	27	200	0.8
10	7.5	5	40	0.2	300	510	40	300	1.1
15	11.2	8	60	0.2	400	680	54	400	1.5
20	14.9	11	80	0.3	500	850	67	500	1.9
25	18.7	13	100	0.4	750	1275	101	750	2.9
30	22.4	16	120	0.5	1000	1700	134	1000	3.8
40	29.8	21	160	0.6	1500	2550	201	1500	5.7
50	37.3	27	200	0.8	2000	3400	268	2000	7.6
60	44.8	32	240	0.9	3000	5100	402	3000	11.4
75	56.0	40	300	1.1	4000	6800	536	4000	15.2
100	74.6	54	400	1.5	5000	8500	670	5000	19.0
125	93.3	67	500	1.9	7500	12750	1005	7500	28.5
200	149.2	107	800	3.0	10000	17000	1340	10000	38.0
350	261.1	188	1400	5.3					
450	335.7	241	1800	6.8					
500	373.0	268	2000	7.6					

engineeringtoolbox.com

engineeringtoolbox.com



3.5 ท่อส่งจ่ายอากาศอัด

3.5.1 การเลือกขนาดท่อส่งจ่ายอากาศอัดและการติดตั้งใช้งาน

ท่อหลัก (Main Pipe)

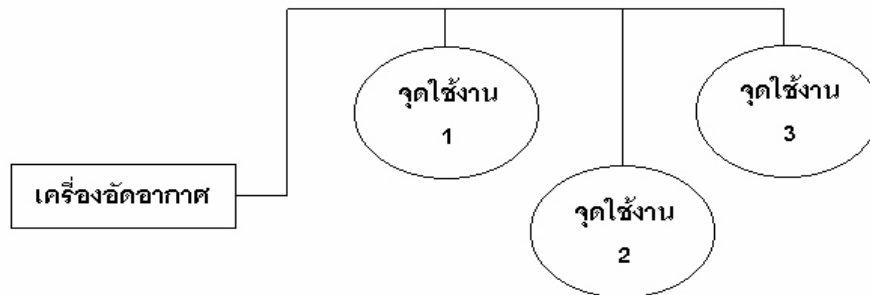
การต่อท่อหลักอาจต่อเป็นแบบท่อประธานเดี่ยว หรือต่อเป็นแบบวงแหวนก็ได้ ซึ่งการต่อแบบท่อประธานเดียวนิยมใช้สำหรับส่งจ่ายอากาศอัดในระยะใกล้ๆ หากต่อในระยะที่ไกลออกไปแล้วจะทำให้เกิดปัญหาความดันตกเป็นอย่างมาก ส่วนการต่อแบบวงแหวนเหมาะกับระบบที่มีขนาดใหญ่และมีอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้กับระบบอากาศอัดจำนวนมาก ระบบนี้จะช่วยลดความเร็วของอากาศอัดและลดการสูญเสียความดัน ส่วนสาเหตุสำคัญๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดันคือ

- แรงเสียดทานระหว่างอากาศอัดกับผนังท่อ
- การปรับทิศทางไหลของอากาศอัด
- การเปลี่ยนความเร็วของอากาศอัด เนื่องจากการเพิ่มหรือลดขนาดท่อ

โดยปกติการต่อท่อหลักส่งจ่ายอากาศอัดสามารถทำได้ 2 วิธี

- 1) การต่อท่อหลักส่งจ่ายอากาศอัดแบบท่อเดี่ยว หรือแบบก้างปลา

แสดงดังรูปที่ 3.5-1 การต่อท่อหลักลักษณะนี้ เหมาะสำหรับการใช้งานที่ระยะทางใกล้ๆ กับเครื่องผลิตอากาศอัด หากต่อไปใช้งานไกลออกไปเมื่อมีการใช้งานพร้อม ๆ กันแล้วจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องความดันอากาศอัดตก เครื่องจักรไม่สามารถทำงานได้ โรงงานทั่วไปนิยมต่อท่อหลักในลักษณะนี้ เนื่องจากการลงทุนน้อยประหยัดค่าใช้จ่าย

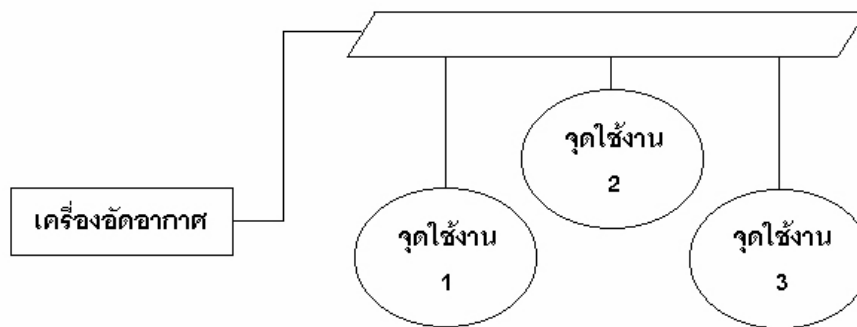


รูปที่ 3.5-1 ลักษณะการต่อท่อหลักแบบท่อเดี่ยว

- 2) การต่อท่อหลักส่งจ่ายอากาศอัดเป็นแบบวงแหวน

แสดงดังรูปที่ 3.5-2 การต่อท่อหลักลักษณะนี้เหมาะสมกับทุกระบบที่มีการใช้อากาศอัดปริมาณมากๆ เครื่องจักรหลายๆ ชุด เพราะการต่อท่อหลักแบบนี้จะช่วยลดปัญหาเรื่องความดันสูญเสียตกได้มาก ซึ่งการต่อท่อแบบวงแหวนนั้นความดันของอากาศอัดจะเท่ากันทุกๆ จุดที่ใช้งาน ดังนั้นจึงไม่ต้องผลิตความดันเผื่อการระบายทาง ปัจจุบันทางโรงงานได้เริ่มปรับปรุงมาเป็นการต่อท่อหลักแบบนี้เพิ่มขึ้น ถึงแม้การลงทุนจะสูงกว่าการต่อท่อหลักแบบท่อเดี่ยวมากก็ตาม เพราะการต่อท่อหลักแบบนี้สามารถลดการใช้พลังงานในระบบอัดอากาศลงได้อย่างมาก





รูปที่ 3.5-2 ลักษณะการต่อท่อหลักแบบวงแหวน

การประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศโดยการปรับปรุงท่อหลัก กล่าวคือการออกแบบท่อที่ดีนั้นจะช่วยลดปัญหาของความดันตกทำให้สามารถลดการผลิตความดันที่สูงเกินความต้องการของภาระได้ เพราะการผลิตความดันที่สูงย่อมทำให้เครื่องอัดอากาศต้องใช้พลังงานสูงตามไปด้วย และความดันที่สูงย่อมส่งผลให้มีการรั่วไหลมากกว่าความดันที่ต่ำกว่าที่ขนาดรูเท่ากัน เมื่อทำการปรับปรุงท่อหลักแล้ว ก็ให้พิจารณาลดความดันที่เครื่องอัดอากาศลง เพราะการลดความดันในการผลิตอากาศอัดลงทุกๆ 1 barg จะสามารถลดพลังงานลงได้ร้อยละ 7 - 11 หรือ 2 psig จะสามารถลดพลังงานลงได้ร้อยละ 1 สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบโรตารีเวนและสกรู

3.5.2 การออกแบบระบบท่อส่งจ่ายอากาศอัด

สำหรับการออกแบบระบบท่อส่งจ่ายนั้น ให้ยึดหลัก 3 ประการ คือ

1) ความดันสูญเสียต่ำสุด

การออกแบบควรให้เกิดการสูญเสียความดันในท่อจากเครื่องอัดอากาศถึงจุดใช้อากาศอัดให้ต่ำที่สุด โดยกำหนดความเร็วอากาศวิ่งในท่อประมาณ 6 m/s ถ้าสั้นๆ อาจสูงถึง 10 m/s การสูญเสียความดันในท่อไม่ควรเกิน 0.1 bar และควรระลึกไว้เสมอว่าทุกๆ ความดันสูญเสีย 0.1 bar ในระบบอากาศอัด 7 bar(g) จะทำให้พลังงานเครื่องขับเคลื่อนสิ้นเปลืองไป $0.1 / 7.0 \times 100 = 1.43\%$ หรือร้อยละ 43 ถ้าอากาศทั้งหมดถูกส่งไปถึงปลายทางที่ใช้งาน

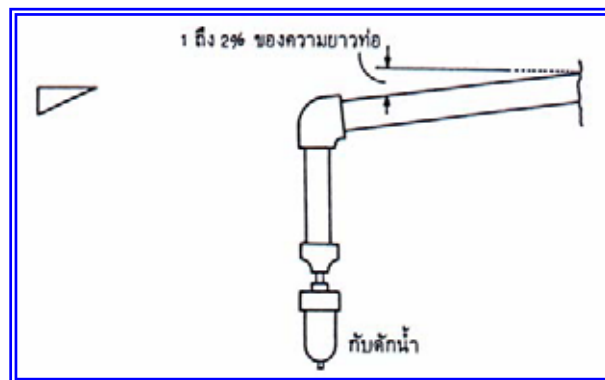
2) การรั่ว

การออกแบบต้องให้มีการรั่วในระบบให้น้อยที่สุด ท่อแบบขันเกลียวให้ระมัดระวังการใช้เทป เทฟลอน ให้พันรอบท่อตลอดความยาวของเกลียวประมาณ 20 รอบ เวลาเริ่มขันเกลียวเข้าหากันให้ปรับท่อให้อยู่ในแนวระนาบเดียวกัน ถ้าหักมุมเพียงเล็กน้อยเกลียวจะกัดเทฟลอนขาดกระจุย เมื่อขันแน่นแล้ว ระหว่างเกลียวจะมีเศษเทฟลอนเล็กน้อยซึ่งไม่สามารถทำหน้าที่ผนึกรอยต่อเกลียว ผลก็คือ รั่วนั่นเอง



3) ความลาดเอียง

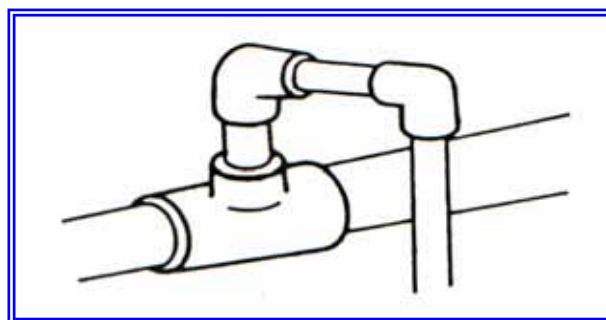
ให้ติดตั้งท่อให้เอียง 25 มิลลิเมตร ต่อท่อ 6 เมตร เพื่อระบายน้ำกลั่นตัวของอากาศอัด ถึงแม้ว่าจะมีอุปกรณ์ทำอากาศแห้งอย่างดีแล้ว การติดตั้งท่อภายในโรงงาน จะติดตั้งได้ 2 แบบ คือ ระดับสูง โดยติดยึดกับเสา แขนงกับข้อหรือแปรง หรือระดับต่ำ วางในคูรางวางท่อ อาจรวมกับท่อน้ำ ท่อไฟฟ้ามักไม่รวมกับระบบอื่น การวางในคูรางความนิยมน้อยลงเพราะการขยายท่อทำได้ลำบาก หารอยรั่วลำบาก เพราะคูรางมักมีฝาปิดที่แข็งแรงและหนัก เพราะต้องให้รถเข็น/ รถยกวิ่งผ่าน ปกติท่อส่งจ่ายควรจะต้องติดตั้งเป็นระบบวงจรปิด หรือแบบวงแหวนดีกว่า แบบปลายตันหรือแบบท่อเดี่ยวเพราะท่อวงแหวนอากาศสามารถวิ่งเข้าหาจุดใช้งานได้ทั้งสองทางทุกจุด ในขณะที่ท่อเดี่ยวต้องเดินทางเดียว



รูปที่ 3.5-3 การต่อท่อในแนวนอนให้มีมุมลาดเอียง

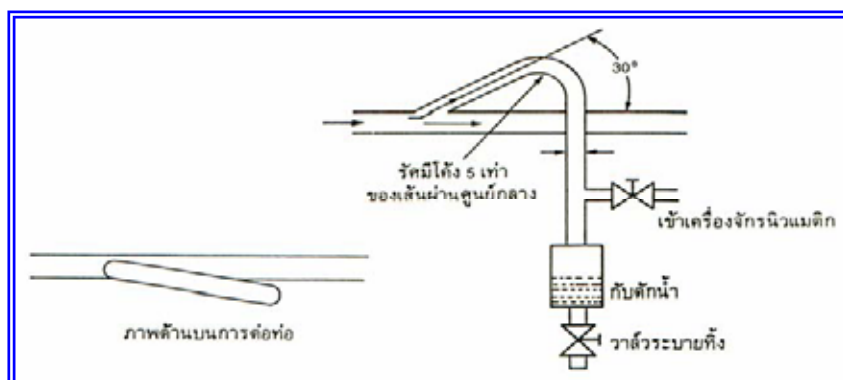


รูปที่ 3.5-4 การแยกท่อจ่ายจากท่อหลัก

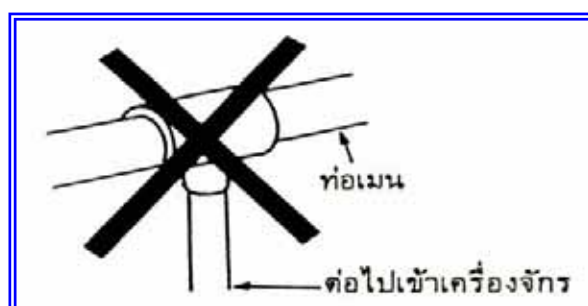


รูปที่ 3.5-5 การแยกท่อจ่ายจากท่อหลักอีกวิธีหนึ่ง





รูปที่ 3.5-6 การต่อท่อหลังงอโค้ง 90° ที่เหมาะสม



รูปที่ 3.5-7 การแยกท่อจ่ายอากาศออกจากท่อหลักที่ผิดวิธี

4) ท่อที่ใช้ในระบบส่งจ่ายอากาศอัด

- ถ้าชั้นเกลียว มักใช้ท่อเหล็กอบสังกะสี BS 1387 Class M หรือ API Schedule 40
- ถ้าท่อเชื่อมมักใช้ท่อดำ API Schedule 40
- ถ้าเป็นระบบอากาศอัดแห้งสะอาด (Clean Dry Air) ใช้ท่อทองแดงหรือท่อเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม (Stainless Steel) ในประเทศไทยสามารถหาท่อ API หรือ JIS Standard ได้ง่ายกว่า
- ถ้าเป็นท่ออ่อนจากท่อสาขาเข้าเครื่องมือที่ไม่อยู่กับที่ ใช้ท่อยืดหยุ่น ไนลอน หรือท่อพลาสติกเพราะมันเป็นชนิดลากยาวได้เวลาเก็บท่อพลาสติกจะหดมันเก็บเป็นขดเรียบร้อย ท่อยางเสริมผ้าใบจะเลิกใช้ในโรงงาน แต่ก่อสร้าง เหมือน ฟันทรายขัดผิวงานกลางแจ้งยัง เหมาะอยู่เพราะทนต่อการลากถูดีกว่า



3.5.3 การหาขนาดท่อ

การหาขนาดของท่อสำหรับอากาศอัดที่ความเร็ว 6 เมตรต่อวินาที สามารถคำนวณหาได้จากสูตรสำเร็จ ดังนี้

$$d = (3,536 Q/CR)^{1/2} \quad (3.5.1)$$

โดยที่ d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (มิลลิเมตร)

Q คือ อัตราการไหลของอากาศอัด (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)

CR คือ อัตราส่วนการอัดหรืออัตราส่วนระหว่างความดันใช้งานต่อความดันบรรยากาศ (Compression Ratio, P_d/P_s) เช่น ที่ความดัน 7 บาร์ (เกจ)

จะมีค่าอัตราส่วนการอัด $(7 + 1.013) / 1.013 = 7.91$

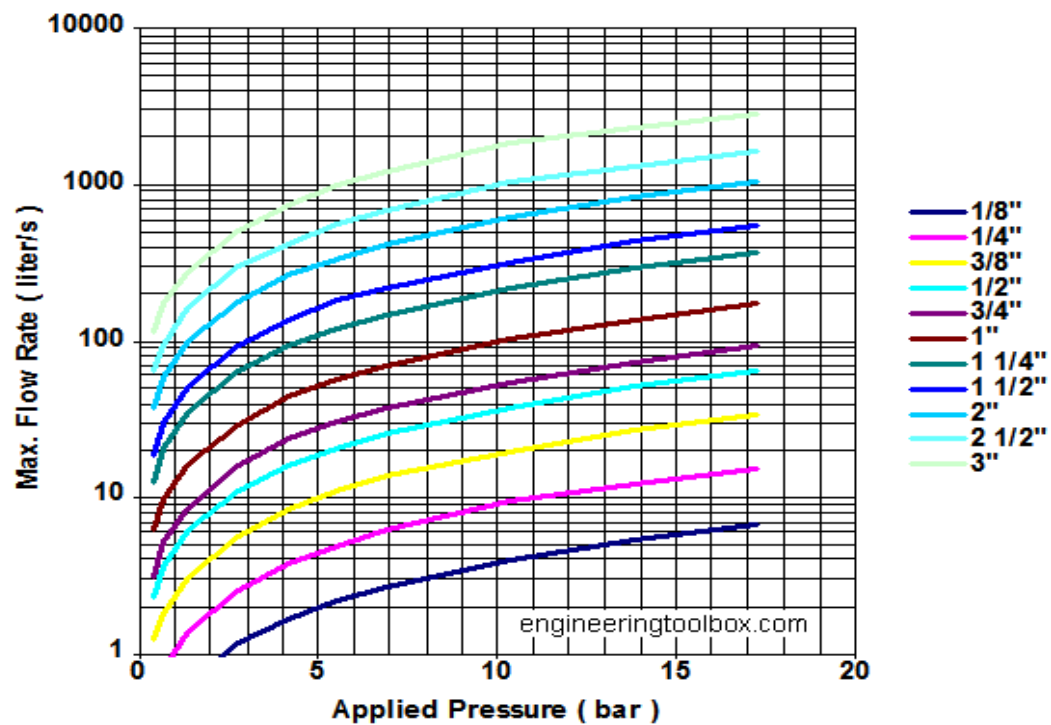
เมื่อได้ขนาดประมาณของท่อ ระบบท่อส่งจ่ายจะมีอุปกรณ์ท่อมากมายซึ่งความเสียหายภายในอุปกรณ์ท่อจะมีมากกว่าท่อตรง จึงมีตารางเทียบความเสียหายอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้งานมีความเสียหายเท่าท่อตรง เรียกว่า ความยาวเทียบเท่า (Equivalent Length) และกราฟหาความเสียหายท่อตรงต่อความยาวที่ใช้งานที่ความดันต่างๆ และที่ขนาดท่อต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.5-1 การหาค่าความเสียหายนั้นให้ตรวจสอบระบบท่อทั้งวงจรว่ามีอุปกรณ์ท่อชนิดใดบ้าง ให้ทำรายการไว้ทั้งหมด แล้วตรวจสอบตารางข้างล่างนี้ว่าแต่ละอุปกรณ์มีแรงเสียหายเทียบเท่าท่อขนาดเดียวกันเป็นความยาวของท่อตรงเท่าใด รวมทั้งหมดกับความยาวท่อตรงเป็นความยาวสุทธิที่สูญเสียความดัน เพื่อหาขนาดท่อที่แท้จริงเพื่อให้ระบบวงจรท่อสูญเสียความดันเกินกว่าที่กำหนดไว้ดังนี้ ให้ตั้งความดันที่เครื่องอัดอากาศอัดได้ลบออกด้วยผลรวมระหว่างความดันที่เครื่องใช้อากาศอัดต้องการกับความดันคร่อมของอุปกรณ์กรองอากาศทุกตัวบวกความดันคร่อมของอุปกรณ์ทำอากาศแห้งทุกตัว ผลต่างนี้คือแรงเสียหายภายในท่อที่จะต้องหาขนาดท่อที่เหมาะสมไม่ให้ความดันสูญเสียเกินผลต่างนี้ เพราะเครื่องจักรปลายทางจะทำงานไม่ปกติ หากเลือกท่อขนาดเล็กเกินไปที่สุดแล้วยังมีผลต่างของความดันเหลืออยู่อีก นั่นคือช่องทางที่สามารถลดความดันทำงานของเครื่องอัดอากาศให้ต่ำลงเพื่อผลการประหยัดพลังงานต่อไป



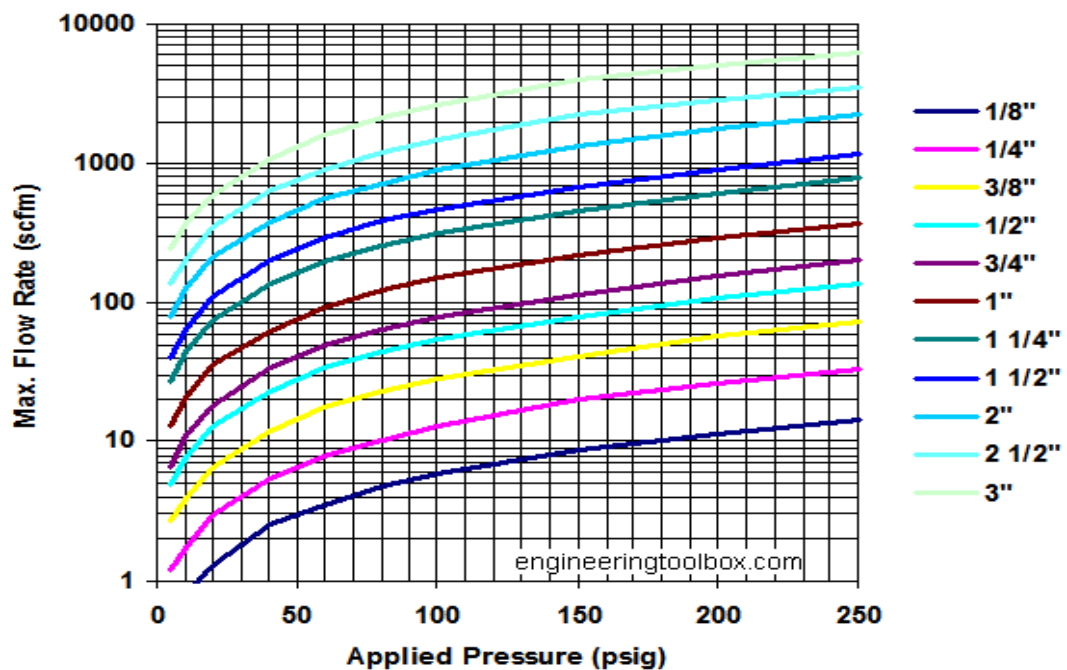
ตารางที่ 3.5-1 ค่าความเสียดทานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบท่อเทียบเท่ากับท่อตรง

อุปกรณ์ในท่อ	เทียบเท่าท่อตรง (เมตร)									
	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (มิลลิเมตร)									
	15	20	25	40	50	80	100	125	150	200
วาล์วประตูเปิดสุด (Fully open gate valve)	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	1.0	1.3	1.6	1.9	2.6
วาล์วประตูเปิดครึ่งหนึ่ง (Half Closed gate valve)		3.2	5	8	10	16	20	25	30	40
วาล์วไดอะแฟรมเปิดสุด (Fully open diaphragm valve)	0.6	1.0	1.5	2.5	3	4.5	6	8	10	
วาล์วต่อมุมเปิดสุด (Fully opened angle valve)	1.5	2.6	4	6	7	12	13	18	22	30
โกลบวาล์วเปิดสุด (Fully open globe valve)	2.7	4.8	7.5	12	15	24	30	38	45	60
บอลวาล์วโตเต็มท่อเปิดสุด (Fully open full bore ball valve)	0.5	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
บอลวาล์วลดขนาดลงเปิดสุด (Fully open Reduced bore Ball valve)	3.4	4.9	2.4	2.2	5	2.6	4.1	3.3	12.1	22.3
วาล์วกันย้อนนบานแกว่งเปิดสุด (Fully opened wing check valve)		1.3	2.0	3.2	4	6.4	8	10	12	16
ข้อโค้ง (Bend R= 2D)	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.4
ข้องอ (Bend R=D)	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2	2.4	3.2
ข้องอมุม 90° (Mitre bend 90°)	0.6	1.0	1.5	2.4	3	4.8	6	7.5	9	12
สามตาออกตรง (Straight run tee)	0.6	0.3	0.5	0.8	1.0	1.6	2	2.5	3	4
สามตาออกข้าง (Side out let tee)		1.0	1.5	2.4	3	4.8	6	7.5	9	12
ท่อลด (Reducer)		0.3	0.5	0.7	1.0	2	2.5	3.1	3.6	4.8



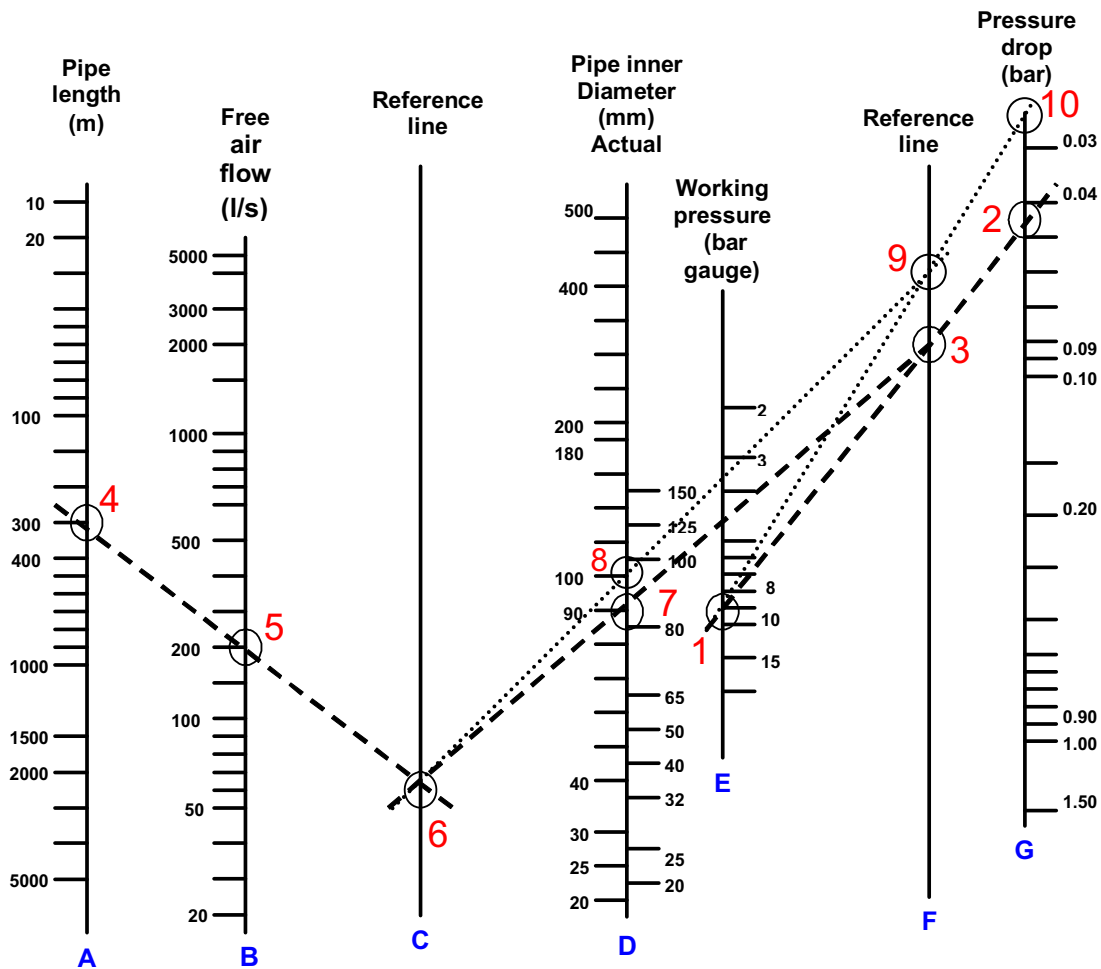


รูปที่ 3.5-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดท่อ อัตราการไหล และความดันอากาศในหน่วย bar



รูปที่ 3.5-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดท่อ อัตราการไหล และความดันอากาศในหน่วย psig





รูปที่ 3.5-10 กราฟการหาขนาดท่อที่เหมาะสม

- A: ความยาวท่อรวมข้อต่อ, เมตร
- B: อัตราการไหลของอากาศอิสระ, ลิตรต่อวินาที
- C และ F: เส้นอ้างอิง
- D: เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ, มิลลิเมตร
- E: ความดันใช้งาน, บาร์ (เกจ)
- G: ความดันตกคร่อมตามความยาวท่อ, บาร์ (เกจ)

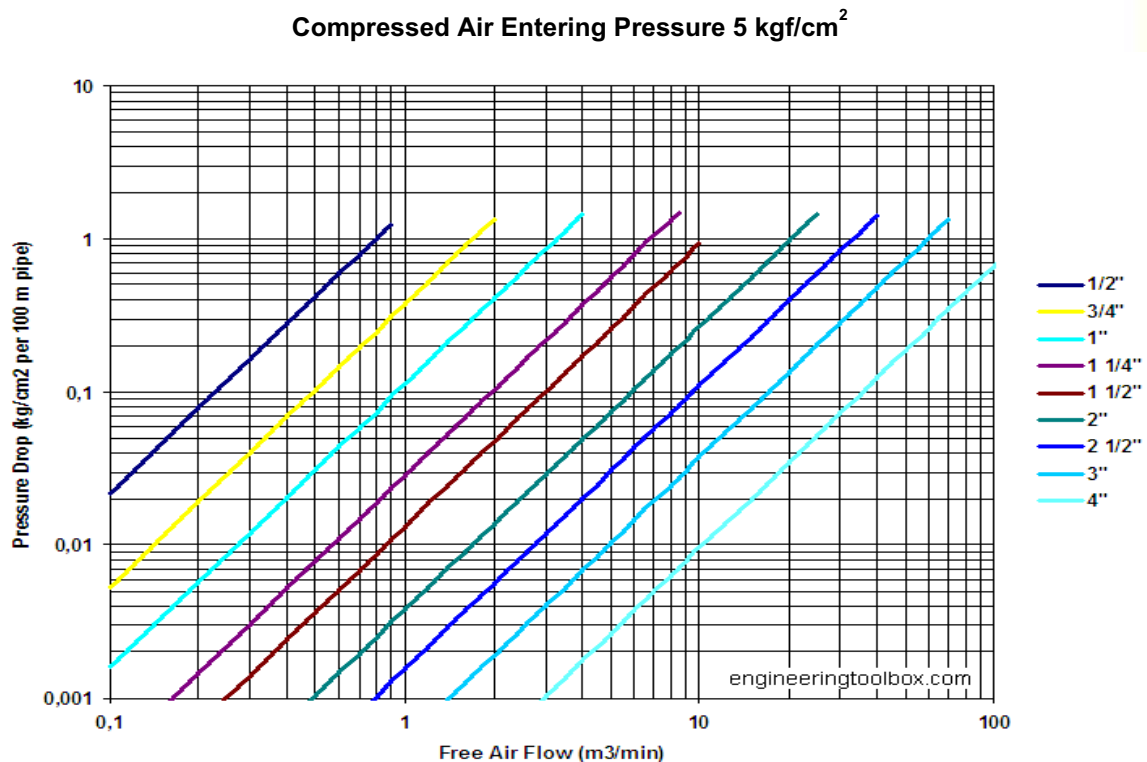
หากต้องการหาขนาดท่อที่เหมาะสมเพื่อการส่งอากาศอัดที่ความดัน 9 บาร์ (เกจ) ปริมาตร 200 ลิตรต่อวินาที ความยาวท่อเทียบเท่า 300 เมตร ความดันสูญเสียรวมไม่เกิน 0.045 บาร์ ก็สามารถทำได้ โดยการพิจารณา **รูปที่ 3.5-10** ดังนี้ ณ จุดที่ 1 ซึ่งมีความดัน 9 บาร์ (เกจ) บนเส้น Working pressure E ลากเส้นตรงไปตัดเส้น Pressure Drop G ณ จุดที่ 2 ที่มีค่าความดันสูญเสีย 0.045 บาร์ ซึ่งเส้นตรงนี้จะตัดกับเส้น Reference Line F ที่จุด 3 จากนั้นพิจารณาด้านซ้ายมือของกราฟที่เส้น Pipe length A ที่จุด 300 เมตร (จุด 4) ลากเส้นไปตัดกับเส้น Free Air Flow B ณ จุด 5 ที่อัตราการไหล 200 ลิตรต่อวินาที ซึ่งเส้นตรงนี้จะไปตัดเส้นอ้างอิง Reference Line C ที่จุด 6 จากนั้นลากเส้นตรงไปยังจุด 3 ที่เส้นอ้างอิงเส้น



Reference Line F เส้นตรงจะตัดเส้น Pipe inner diameter D ที่จุด 7 ซึ่งแสดงค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 90 มิลลิเมตร ในกรณีที่ไม่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด ควรเลือกท่อที่มีขนาดใหญ่กว่า ตัวอย่างเช่น ถ้าเลือกท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102.5 มิลลิเมตร ดังนั้นค่าความดันสูญเสียจะมีค่าน้อยกว่าเดิมซึ่งสามารถหาค่าได้ดังนี้ จากจุด 6 ลากเส้นตรงไปตัดเส้น Pipe inner diameter D ที่จุด 8 และลากผ่านไปตัดจุด 9 บนเส้น Reference Line F จากนั้นลากเส้นตรงจากจุด 1 ไปตัดเส้น Pressure Drop G ที่จุด 10 ซึ่งสามารถอ่านค่าความดันสูญเสียได้ประมาณ 0.02 บาร์

3.5.4 ความดันสูญเสีย (Pressure drop)

ความดันสูญเสียหรือความดันตกคร่อม ในระบบท่อของระบบอากาศอัดสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ข้อต่อท่อ ท่อลดขนาด ท่อเพิ่มขนาด ข้องอ ความขรุขระผิวท่อต้านใน และความยาวท่อ ความดันสูญเสียนี้สามารถหาได้จากรูปที่ 3.5-11



รูปที่ 3.5-11 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสีย อัตราการไหลอากาศอัด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ



บทที่ 4

การตรวจสอบและ
การเตรียมการก่อนเดินเครื่อง
ระบบอากาศอัด

บทที่ 4

การตรวจสอบและการเตรียมการก่อนเดินเครื่องระบบอัดอากาศ

4.1 การตรวจสอบและการเตรียมการก่อนการเดินเครื่องอัดอากาศ

ในการตรวจสอบและการเตรียมการก่อนเดินเครื่องระบบอัดอากาศมีขั้นตอนตรวจสอบ 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอน	รายละเอียด
1	ตรวจสอบว่ามีไฟฟ้า (โวลต์) เข้าหรือไม่ โดยดูที่แผงไฟฟ้า - โดยโวลต์สูงสุดอยู่ที่ 440 โวลต์ - โวลต์ต่ำสุดอยู่ที่ 360 โวลต์
2	ตรวจระดับน้ำมันหล่อลื่น
3	ถ้าเป็นเครื่องอัดอากาศแบบสายพาน ให้ตรวจความตึงของสายพาน
4	สภาพโดยรวมเครื่องอัดอากาศ ต้องไม่มีสิ่งกีดขวาง
5	ตรวจดูรอยรั่วซึมของน้ำมัน
6	ใส่กรองอากาศต้องอยู่ถูกที่และยึดติดแน่น

โดยมีภาพแสดงการตรวจสอบแต่ละขั้นตอน ดังรูปที่ 4.1-1 ดังนี้



รูปที่ 4.1-1 การตรวจสอบแผงไฟฟ้า





รูปที่ 4.1-2 ส่วนประกอบที่ควรตรวจเช็คก่อนการเดินเครื่อง

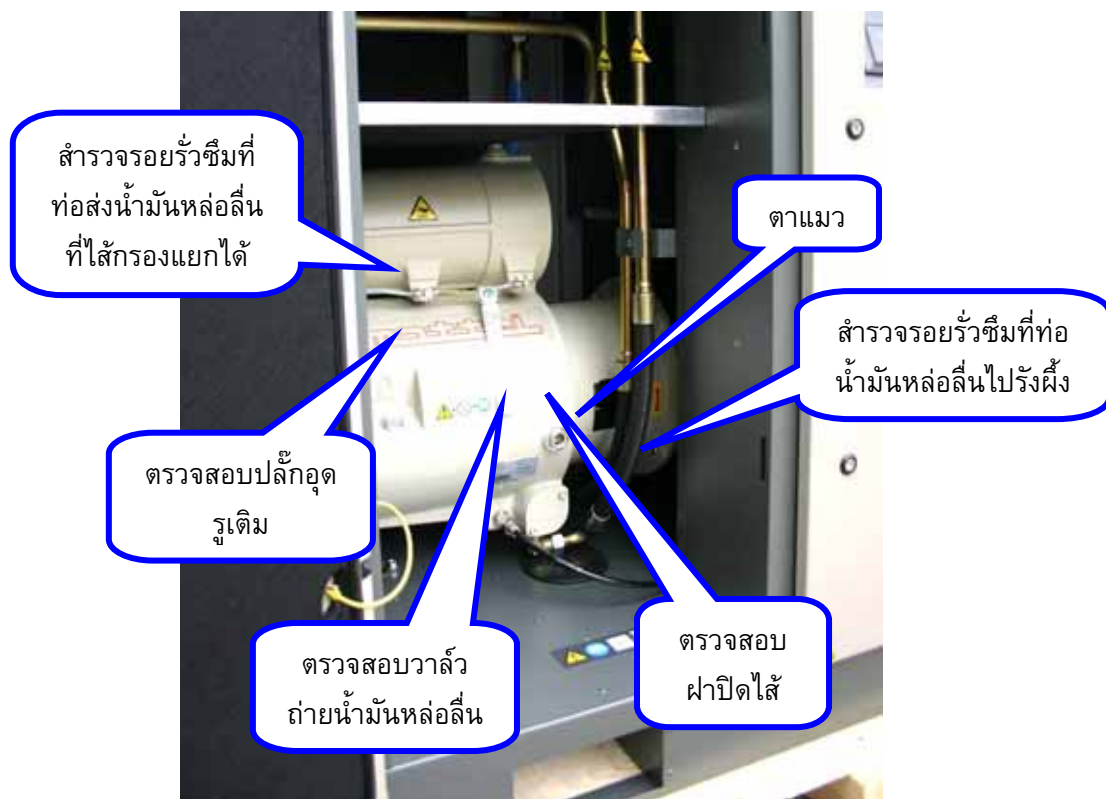


รูปที่ 4.1-3 การตรวจสอบบริเวณทางเข้าออกของอากาศ





รูปที่ 4.1-4 เส้นทางลมระบายความร้อน



รูปที่ 4.1-5 การตรวจเช็คระบบน้ำมันหล่อลื่นก่อนการเดินเครื่อง



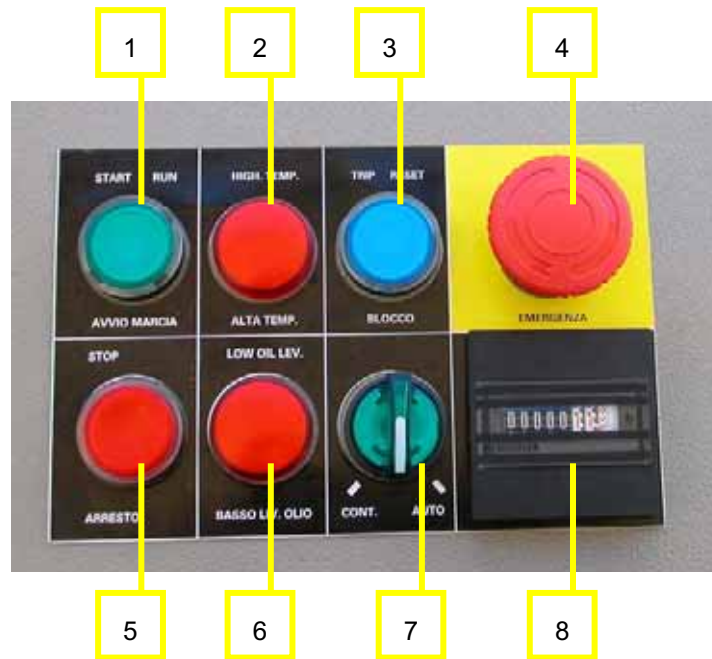
4.2 ขั้นตอนการเริ่มเดินเครื่องอัดอากาศ

การเริ่มเดินเครื่องระบบอากาศอัดโดยทั่วๆ ไปมีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอน	รายละเอียด	หมายเหตุ
1	ถ้าในระบบมีเครื่องทำอากาศแห้งให้เดินเครื่องทำอากาศแห้งก่อนประมาณ 10-20 นาที	ถ้าเครื่องใหญ่ให้เดินนานกว่าเดิม เพราะระบบทำความเย็นต้องใช้เวลาจนกว่าจะทำให้ระบบความเย็นเย็นได้ที่ ถ้าเครื่องเย็นจัดก่อนมีอากาศอัดมาถึงระบบทำความเย็นจะหยุดโดยอัตโนมัติ ถ้าเดินเครื่องอัดอากาศก่อนแล้วเดินเครื่องทำอากาศแห้งที่หลังอากาศอัดที่อัดออกมาช่วงแรกจะไม่แห้ง
2	กดสวิทช์เริ่มเดินเครื่องที่ปุ่มสีเขียว 	- ถ้าเครื่องไม่เริ่มเดิน ให้ตรวจสอบสาเหตุเครื่องไม่เดินในหัวข้อการวินิจฉัยความบกพร่องและแก้ไข - ถ้าเครื่องเดินให้จับเวลาหรือนับไปเรื่อยๆจนเครื่องสร้างแรงดันได้เต็มที่ ถ้าหากเวลายาวนานกว่าวันก่อนๆ ให้ตั้งข้อสังเกตว่ามีการรั่วเกิดขึ้น
3	ฟังเสียงเครื่อง หาสิ่งผิดปกติ ถ้าทุกอย่างปกติก็เดินเครื่องต่อไปได้	
4	สังเกตความร้อนของเครื่องโดยการใช้มือสัมผัสตัวเครื่อง	- ถ้าร้อนขึ้นในเวลาที่เหมาะสมทุกๆ วันแสดงว่าปกติ - ถ้าร้อนช้าอาจเป็นที่วาล์วปิดน้ำมันไประบายความร้อนที่อุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำมันเปิดค้างทั้งที่น้ำมันยังเย็น - ถ้าร้อนเร็วแสดงว่าวาล์วปิดตายไม่มีการหมุนถ่ายน้ำมันทั้งสองกรณีให้หยุดเครื่องถอดวาล์วออกมาตรวจสอบก่อนเครื่องจะเสียหายหนัก

ปุ่มควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ มีทั้งแบบเป็นปุ่มกด ระบบดิจิทัล และระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีหลักการทำงานคล้ายคลึงกัน ตัวอย่างของปุ่มกดแสดงดังรูปที่ 4.2-1

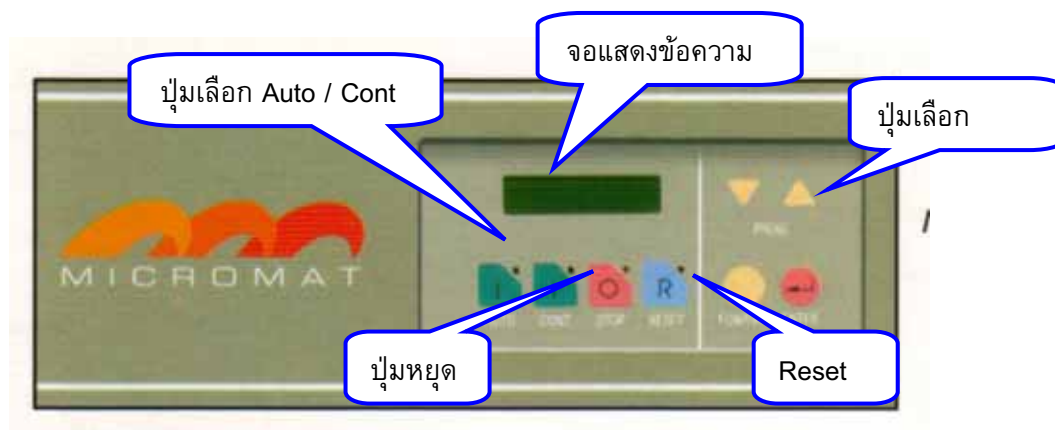




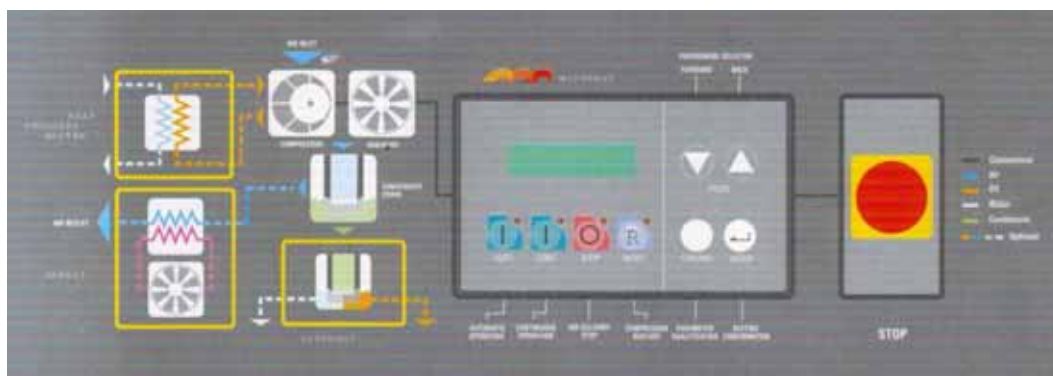
รูปที่ 4.2-1 ปุ่มกดแสดงสถานะการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

1. ไฟสัญญาณแสดงว่าไฟหลักเข้าเครื่อง
2. ไฟสัญญาณแสดงว่าเครื่องอัดอากาศกำลังทำงาน
3. ไฟสัญญาณแสดงเครื่องอัดอากาศหยุดในแบบการเดิน - หยุด พร้อมทั้งจะเดินเองเมื่อแรงดันลดลงถึงจุดที่เครื่องจะเดินโดยอัตโนมัติ
4. ปุ่มกดหยุดไฟฟ้าฉุกเฉิน
5. ปุ่มกดเดินเครื่อง
6. ปุ่มกดหยุดเครื่อง
7. ปุ่มเลือก เดิน - หยุด ต่อเนื่อง
8. นาฬิกาแสดงชั่วโมงการทำงานของเครื่อง





รูปที่ 4.2-2 ปุ่มกดอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4.2-3 แผงควบคุมแบบปุ่มกดอิเล็กทรอนิกส์แสดงอุปกรณ์ต่างๆ เมื่ออุปกรณ์นั้นมีปัญหา จะมีสัญญาณไฟแสดงที่รูปอุปกรณ์นั้นๆ



รูปที่ 4.2-4 รูปแบบปุ่มกดที่ควบคุมเครื่องอัดอากาศได้จำนวนหลายๆ เครื่อง





รูปที่ 4.2-5 แผงควบคุมแบบจอ LCD

1. ปุ่มเรียกรายการ
2. ปุ่มคำสั่งปกติ
3. ปุ่มคำสั่งพิเศษ อาจกำกับด้วยรหัส
4. ปุ่มเรียกรายการทำงานของเครื่อง
5. ปุ่มเรียกดูนาฬิกา
6. ปุ่มเรียกดูสาเหตุเมื่อเครื่องหยุดเอง
7. ปุ่มเลือกดูรายการที่ติดมากับเครื่อง
8. ปุ่มกดเดินเครื่อง
9. ปุ่มหยุดเครื่อง
10. ปุ่มรีเซ็ต สามารถเรียกดูสาเหตุเครื่องหยุดและยกเลิกการหยุดเครื่องเมื่อแก้ต้นเหตุแล้วเพื่อเดินเครื่องใหม่
11. ปุ่มเลื่อนแถบเลือกข้อความ
12. ปุ่มเปิดเมนู
13. ปุ่มเลื่อนขึ้นลงเลือกเมนูหรือเพิ่มลดค่าในการปรับค่า
14. ปุ่มเลื่อนขึ้นลงเลือกเมนูหรือเพิ่มลดค่าในการปรับค่า
15. ปุ่มยืนยัน



4.3 การตรวจสอบขณะเดินเครื่องอัดอากาศ

4.3.1 ใส่กรองอากาศ

ปกติใส่กรองอากาศใหม่แรงดันสูญเสียจะต่ำกว่า 10 มิลลิบาร์ อายุใช้งานประมาณ 2,000 ชั่วโมง และให้ตระหนักว่าทุกๆ 10 มิลลิบาร์ที่แรงดันสูญเสียเพิ่มขึ้น ปริมาณอากาศที่อัดได้จะหายไป 1 เปอร์เซ็นต์ จึงแนะนำให้ติดตั้งเกจวัดแรงดันสูญญากาศช่วงวัด -25 ถึง -30 มิลลิบาร์ เมื่อเดินผ่านเครื่อง จะเห็นได้ง่าย และจัดการถอดใส่กรองออกมาเป่าทำความสะอาดเพื่อรักษาประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศให้สูงตลอดเวลา

4.3.2 การระบายความร้อนของเครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศหรือน้ำ อุณหภูมิของผิวเครื่องอัดอากาศบริเวณอ่างน้ำมันควรอยู่ในช่วง 65-90 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไป ใช้น้ำในอากาศที่ถูกอัดให้มีแรงดัน 7 บาร์จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่ประมาณ 65 องศาเซลเซียส แล้วจะเป็นน้ำปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นภายในเครื่องอัดอากาศ แล้วทำลายคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น ถ้าน้ำมันอุณหภูมิสูงเกินไป เครื่องจะเสียหายเนื่องจากสูญเสียความสามารถในการหล่อลื่น เครื่องอัดอากาศจึงต้องติดตั้งเทอร์โมสแตท (Thermostat) เพื่อตัดหยุดเครื่องอัดอากาศเมื่อน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องอัดอากาศมีอุณหภูมิประมาณ 104 องศาเซลเซียส และน้ำมันหล่อลื่นถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่านี้จะถึงจุดวาบไฟ และจะเผาไหม้ตัวเอง ทำให้เกิดไฟไหม้ภายในเครื่องและเสียหายอย่างหนัก

4.3.3 อุปกรณ์แยกหยดน้ำมัน

ใช้หลักการแยกหยดน้ำมันเชิงกล เช่น เปลี่ยนทิศทาง หรือหมุนเหวี่ยงแยกหยดน้ำมันที่หนักกว่าออกจากอากาศอัด อุปกรณ์นี้ไม่ค่อยมีปัญหา

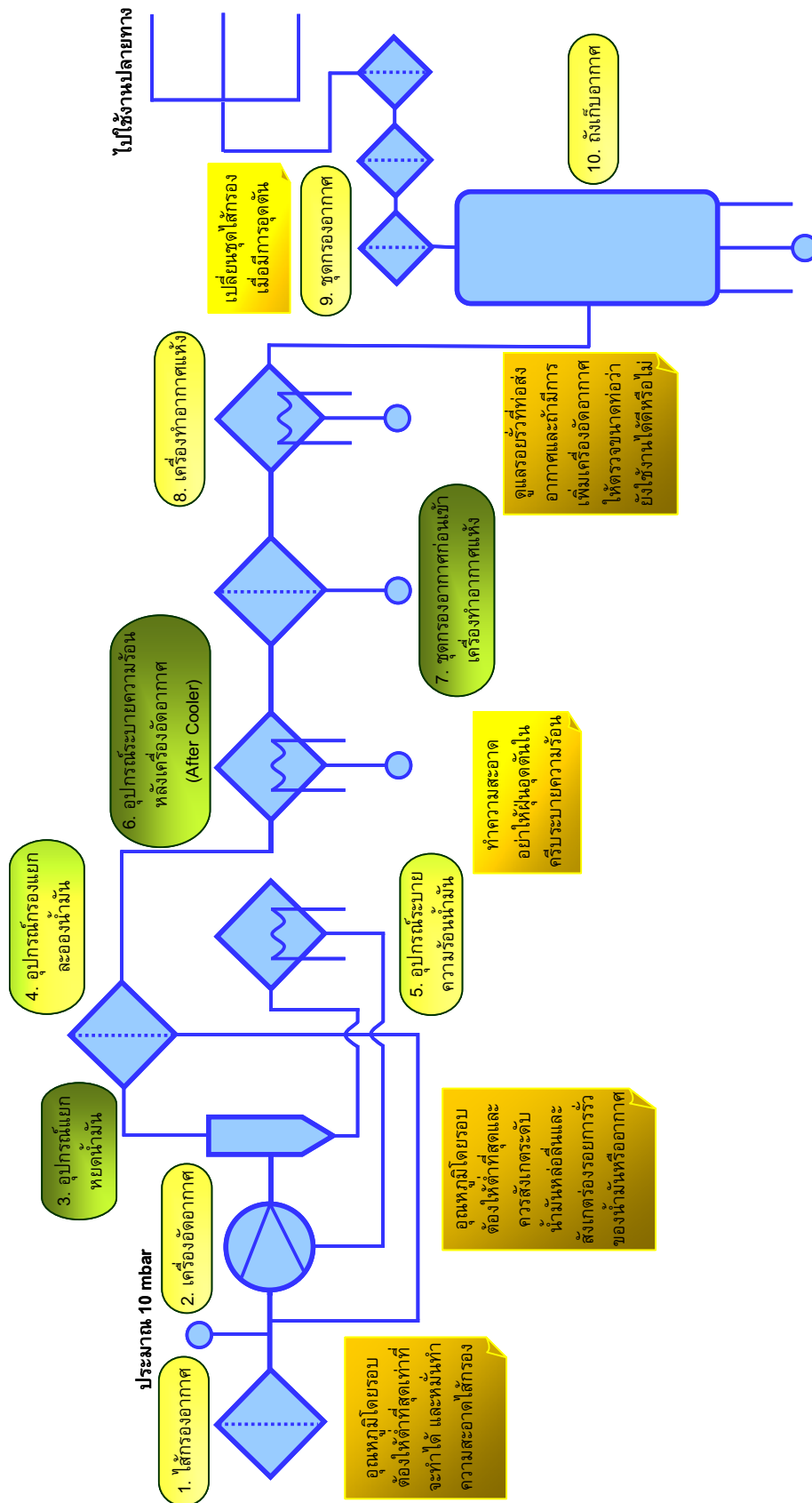
4.3.4 ใส่กรองแยกละอองน้ำมัน

ใส่กรองนี้มักจะติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์แยกหยดน้ำมัน อายุใช้งานประมาณหนึ่งปี แต่ถ้ามีฝุ่นละอองเข้าเครื่องมากหรือเครื่องร้อนเกินปกติบ่อยๆ ใส่กรองนี้อายุใช้งานจะสั้นลงมาก และถ้ามีฝุ่นละอองเข้าเครื่องอัดอากาศมาก ฝุ่นละอองที่เล็กมากๆ จะผ่านใส่กรองอากาศ แล้วไปรวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นกลายเป็นโคลนในน้ำมันหล่อลื่น ไปอุดตันในท่อหรือรูเล็กๆ ที่ส่งน้ำมันที่ดักได้กลับคืนเครื่องอัดอากาศและท่วมในใส่กรอง ทำให้อากาศอัดผ่านใส่กรองน้อยลง อากาศอัดไม่พอใช้งาน แรงดันอากาศอัดตกและน้ำมันในอ่างน้ำมันหล่อลื่นต่ำ ถ้ามีอุปกรณ์วัดระดับน้ำมันอาจตัดหยุดเครื่อง แต่ถ้าไม่มีอุปกรณ์วัดระดับน้ำมันและเครื่องทำงานต่อไป เครื่องขาดน้ำมันหล่อลื่นเครื่องจะเสียหายหนัก

4.3.5 อุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำมันหล่อลื่น

ถ้าเป็นการระบายความร้อนด้วยน้ำอุณหภูมิน้ำขาออกควรสูงกว่าน้ำขาเข้าประมาณ 10 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าแต่เครื่องร้อนกว่าแสดงว่าท่อน้ำหล่อเย็นไม่มีประสิทธิภาพ เช่น มีตะกอนเกาะมากไป ถ้าอุณหภูมิน้ำขาออกสูงเกินไปอาจเป็นเพราะน้ำหล่อเย็นไหลผ่านเครื่องน้อยไป ถ้าเป็นเครื่องระบายความร้อนด้วยอากาศ หมั่นสังเกตช่องว่างระหว่างครีบริ้งผึ้งและท่ออย่าให้มีฝุ่นอุดตัน ให้เป่าฝุ่นออกด้วยอากาศอัดและอย่าให้มีสิ่งกีดขวางทางลมหลังรี้งผึ้ง





รูปที่ 4.3-1 รายละเอียดการตรวจสอบของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบอากาศอัด



4.3.6 อุปกรณ์ระบายความร้อนหลังเครื่องอัดอากาศ (After Cooler)

การดูแลเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.2.5

4.3.7 ชุดกรองอากาศก่อนเข้าเครื่องทำอากาศแห้ง

มีไว้ดักฝุ่นและน้ำมันหล่อลื่นที่เข้าไปเกาะบนผิวท่อระบายความร้อนและทำให้ความสามารถการถ่ายเทความร้อนต่ำลง มักจะเลือกชุดกรองละเอียด 0.3 ไมครอน ถ้าแรงดันตกมากกว่า 0.1 บาร์ ให้เปลี่ยนไส้กรอง ผู้ผลิตมักทำเป็นแถบสีเขียวแสดงว่าใช้งานได้ แถบสีแดงให้เปลี่ยนไส้กรอง อุปกรณ์ทั้งน้ำอัดโนมิตีมักอุดตันได้ง่าย เพราะความเหนียวของน้ำมันรวมกับฝุ่นเป็นโคลนเหนียวๆ หมั่นสังเกตและล้างทำความสะอาด

4.3.8 เครื่องทำอากาศอัดแห้ง

เครื่องรุ่นใหม่จะติดตั้งชุดวัดอุณหภูมิ ถ้าไม่มีควรติดตั้งเอง อุณหภูมิอากาศแห้งจะลดลงถึง 2 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส ให้เป่าฝุ่นที่เกาะระหว่างครีบอก น้ำยาทำความเย็นต้องเติมดูได้ที่ตามวจะใส ถ้ามีฟองอากาศแสดงว่าน้ำยาพร่องให้เติมให้เต็ม

4.3.9 ชุดกรองอากาศ

สำหรับกรองอากาศให้สะอาดตามที่อุปกรณ์ปลายทางต้องการ ถ้าอุดตันแรงดันตกมากกว่า 0.1 บาร์ (1.45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ให้เปลี่ยนไส้กรอง

4.3.10 ถังเก็บอากาศ

ตัวถังมักไม่ค่อยมีปัญหา จะมีปัญหาที่วาล์วทึ่งน้ำอัดโนมิตี (Automatic Drain Valve) ควรติดตั้งวาล์วปิดเปิดไว้ได้ก่อนวาล์วทึ่งน้ำ เมื่อมีปัญหาให้ปิดวาล์วกันอากาศอัดรั่วออก แล้วถอดวาล์วทึ่งน้ำออกมาซ่อม

4.4 ขั้นตอนการหยุดเดินเครื่องอัดอากาศ

ขั้นตอนการหยุดเดินเครื่องอัดอากาศโดยทั่วไป มีดังนี้

ขั้นตอน	รายละเอียด
1	กดสวิตช์หยุดเครื่อง
2	ปิดวาล์วระหว่างเครื่องและถัง ป้องกันอากาศอัดไหลย้อนเข้าเครื่องและไหลออกจากเครื่องทางดูดอากาศเข้า
3	ยกสวิตช์ตัดตอนออก



บทที่ 5

การติดตั้งและการบำรุงรักษา
ระบบอากาศอัด

บทที่ 5

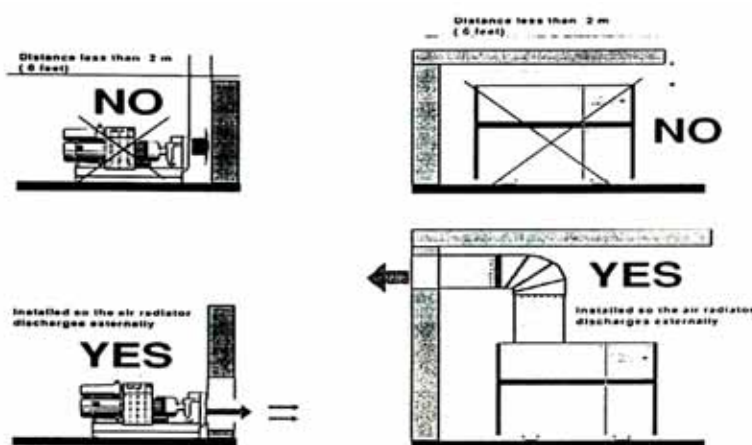
การติดตั้งและการบำรุงรักษาระบบอากาศอัด

5.1 กวาวด์ล้อมที่ติดตั้งเครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศสมัยก่อนมักจะเป็นแบบลูกสูบ จนถึงต้นปี พ.ศ. 2490 จึงเริ่มมีเครื่องอัดอากาศแบบโรตารีเวน (Vane Compressor) และสกรู (Screw Compressor) ออกสู่ตลาด แต่ไม่เป็นที่แพร่หลายเพราะราคาสูง ในอุตสาหกรรมจึงใช้แบบลูกสูบมานานเกือบ 200 ปี จากประสบการณ์ยาวนานที่รู้จักแต่เครื่องแบบลูกสูบและมีถึงพักอากาศ จนมีความรู้สึกว่ถ้าไม่มีถึงพักอากาศจะไม่ใช้เครื่องอัดอากาศ ยิ่งเครื่องใหญ่เสียงรบกวนยิ่งดังและแรงสั่นสะเทือนยิ่งมาก จึงมักสร้างห้องเครื่องแยกห่างออกจากบริเวณที่มีผู้ทำงานและปิดมิดชิดอีกต่างหาก ป้องกันเสียงอาจเล็ดลอดไปรบกวนเพื่อนบ้าน และเพราะแรงสะเทือนสูงจึงต้องทำแท่นอาจจะต้องตอกเสาเข็มรับน้ำหนักและแรงกระแทก ปัจจุบันเครื่องอัดอากาศมีการหุ้มเก็บเสียงอย่างดี น้ำหนักเบา ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย และเครื่องเหล่านี้ไม่สั่นสะเทือน ยิ่งเครื่องอัดอากาศทุ่่นหมุนขนาดเล็กเสียงเงียบและนึ่ง จึงเหมาะที่จะติดตั้งรวมในบริเวณที่มีผู้ทำงาน เพราะจะได้อาศัยการระบายความร้อนจากเครื่องอัดอากาศระบายถ่ายเทอากาศในบริเวณทำงานโดยไม่ต้องติดตั้งพัดลมระบายอากาศอีกเพราะเครื่องอัดอากาศมีพัดลมระบายอากาศในตัวแล้วควรใช้พัดลมตัวนี้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด

การติดตั้งเครื่องอัดอากาศควรติดตั้งให้ใกล้ที่ใช้งานอากาศอัดให้มากที่สุด ถ้าไม่กีดขวางการทำงาน ยังมีคนมาเห็นเครื่องยิ่งดี หันหน้าปัดวัดความดัน โวลท์ แอมป์แอมป์ วัดอุณหภูมิ วัดการอุดตันของไส้กรองอากาศเข้าเครื่องให้เห็นได้ง่ายๆ จะได้เห็นความผิดปกติแต่เนิ่นๆ ดีกว่าที่เอาเครื่องวัดเหล่านี้ซึ่งติดอยู่กับเครื่องไปซ่อนไว้ในห้องห่างไกลผู้ร่วมงาน และไม่รู้ว่เมื่อไหร่จะมีคนเข้าห้องนี้และเข้าไปแล้วจะดูตัวเลขที่แสดงไว้หรือเปล่า **ปัจจุบันกฎหมายอาคารโรงงานบังคับพื้นที่โรงงานรับน้ำหนักอย่างต่ำ 500 กิโลกรัมต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตร** ซึ่งมากพอติดตั้งเครื่องอัดอากาศได้อย่างปลอดภัย เคยมีการเอาเครื่องไปติดตั้งบนกันสาดรวมกับชุดคอยล์ร้อนของชุดปรับอากาศจึงทำให้ไปพ่นลมร้อนใส่กันไปมาจนเครื่องร้อน จนต้องดูแลจัดระเบียบทางลม หันเครื่องอัดอากาศและชุดปรับอากาศระบายความร้อนออกโดยไม่รบกวนซึ่งกันและกัน ถึงเครื่องสมัยใหม่จะติดตั้งง่ายเพียงใด แต่หลักการการติดตั้งเครื่องจักรที่ดีต้องปฏิบัติตามเพราะเป็นกฎแห่งความปลอดภัยที่ถือปฏิบัติมา 200 ปีแล้วค่อยๆเพิ่มเติมสิ่งที่คนรุ่นต่อมาประสบพบมากขึ้น ประสบการณ์ของรุ่นก่อนจึงเป็นประโยชน์ของคนรุ่นปัจจุบัน





รูปที่ 5.1.1 การระบายความร้อนของเครื่องอัดอากาศ

5.2 หลักการติดตั้งเครื่องอัดอากาศ

หลักในการติดตั้งเครื่องอัดอากาศที่ดีมีดังนี้

1) ถ้าเป็นเครื่องอัดอากาศลูกสูบตัวใหญ่ๆ ผู้ผลิตจะมีรายละเอียดการทำแทนติดตั้งมาให้ แต่ถ้าซื้อเครื่องเก่ามาใช้งาน ให้หาหน้าหนักรวมของทั้งชุด แล้วหาความกว้าง ยาว เพื่อคำนวณการใช้พื้นที่ ให้เอาน้ำหนักตั้งหารด้วยพื้นที่ติดตั้ง ถ้าไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะปลอดภัยในการติดตั้งในพื้นที่นั้น แต่ถ้าเกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ให้ใช้เหล็กตัว H มาทำแทนให้กินพื้นที่มากขึ้น (ใช้หลักการฐานแผ่) โดยให้เฉลี่ยน้ำหนักไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และใช้ยางแท่นเครื่องรองรับเครื่องกับแท่นเหล็ก H หายางที่รับน้ำหนักเครื่องให้เพียงพอ อาจใช้หลายตัวถ้าจำเป็น ทำการยึดแท่นเหล็ก H กับพื้นให้แน่นหนาป้องกันเครื่องเคลื่อนที่ เตรียมท่อน้ำถ้าเครื่องระบายความร้อนด้วยน้ำ และอย่าลืมเตรียมท่อระบายน้ำที่มีขนาดเพียงพอ ในกรณียกเครื่องออกซ่อมต้องทิ้งน้ำจำนวนมากออกจากเครื่อง ไม่ใช่เพียงทิ้งน้ำจากการล้างตัวของเครื่องเท่านั้น ต้องเตรียมที่แขวนรอกเพื่อยกเครื่องออกซ่อมด้วย และถ้าเครื่องอัดอากาศเป็นระบายความร้อนด้วยน้ำ คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนต้องมีดังแสดงในตารางที่ 5.2-1



ตารางที่ 5.2-1 คุณภาพของน้ำสำหรับระบายความร้อนเครื่องอัดอากาศ

สารละลายในน้ำ	ระบบปิด หอผึ่งเย็น (หนึ่งในล้านส่วน)	ระบบเปิด น้ำทิ้ง (หนึ่งในล้านส่วน)	น้ำเติม หอผึ่งเย็น (หนึ่งในล้านส่วน)
Chloride (Cl^-)	< 600	< 150	< 50
Sulphate (SO_4^-)	< 400	< 250	< 50
Total solids	< 2000	< 1000	< 1000
Suspended solids (as SiO_2)	< 50	< 10	< 10
Free Chlorine (Cl_2)	< 4	< 4	< 2
Ammonia (NH_4^-)	< 0.5	< 0.5	< 0.2
Cooper	< 0.5	< 0.5	< 0.2
Iron	< 0.2	< 0.2	< 0.1
Manganese	< 0.1	< 0.1	< 0.05
Oxygen	3	3	3
Carbonate hardness (as CaCO_3)	< 1000	< 1000	< 500
Organic (KMnO_4 Consumption)	< 25	< 25	< 10
pH at 25 °C	6.5-8.0	6.5 - 8.0	6.5 - 8.0
Conductivity at 25 °C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 800	< 200	< 200

2) ระดับแนวราบ (สำหรับเมืองไทยต้องเพิ่มระดับสูงขึ้นกันน้ำท่วมด้วย ประสบการณ์สอนให้รู้ว่า วันหนึ่งพื้นที่ข้างๆ โรงงานที่ว่างเปล่ามานานมีเพื่อนโรงงานมาอยู่ด้วย แล้วก็ถมที่ให้สูงกว่าโรงงานเก่า เอาไว้เพื่อความปลอดภัยของโรงงานใหม่ โรงงานเก่าจึงถูกแปรสภาพอยู่กันกระตะโดยไม่รู้ตัว เพราะเคยอยู่ขอบกระตะมานาน เมื่อฝนตกเราก็อยู่ใต้บาดาลโดยภาระจำยอม)

- ถ้าวางในแนวระดับที่เอียงต่ำนั้น ชิ้นส่วนจะเทไปด้านหนึ่งทำให้เกิดการเสียดสีสึกหรอโดยไม่จำเป็น
- ระดับเอียงที่สูงขึ้น ถ้าน้ำมันหล่อลื่นเทพ้นช่องดูดน้ำมัน ก็จะทำให้ขาดการหล่อลื่นกะทันหัน เครื่องจะเกิดการเสียหายโดยไม่จำเป็น
- ถ้าไม่ยึดติดเครื่องให้แน่นหนา เครื่องอาจวิ่งหนีทำให้ท่อแตกหักได้
- ถ้าพื้นไม่แข็งแรงพอ ให้เสริมพื้นให้รับน้ำหนักโดยสร้างแท่นเหล็ก H ซึ่งแข็งแรงและใช้ยาวนาน



3) ติดตั้งในที่ที่มีการถ่ายเทอากาศเพียงพอ เพื่อระบายความร้อนของเครื่องอัดอากาศ เพราะเครื่องจะแผ่ความร้อนออกมาตามชนิดของเครื่อง ดังนี้

- มอเตอร์ไฟฟ้า จะระบายความร้อนประมาณ 8 – 9 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ใช้ไป
- เครื่องอัดอากาศระบายความร้อนด้วยน้ำจะระบายความร้อน 2 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ใช้
- เครื่องอัดอากาศระบายความร้อนด้วยอากาศแต่มีที่ระบายความร้อนระหว่างชั้นการอัดด้วยน้ำจะระบายความร้อน 3% ของพลังงานที่ใช้ไป
- เครื่องอัดอากาศระบายความร้อนด้วยอากาศระบายความร้อน 5 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ใช้ไป
- ออฟเตอร์คูลเลอร์ประเภทระบายร้อนด้วยอากาศของเครื่องอัดอากาศจะระบายความร้อน 45 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ใช้ไป

4) ทำที่ระบายน้ำทิ้งจาก After Cooler

5) เลือกที่ร่ม มิให้เครื่องและอุปกรณ์โดนแดด ฝน เพราะไม่ต้องการดุดน้ำฝนเข้าเครื่องและให้แดดเผาจนเครื่องร้อน แล้วสารพัดปัญหาเครื่องร้อนจะตามมามากกว่านั้นทุกอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้น ปริมาตรจะลดลง 1 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5.2-2 การประหยัดพลังงานเมื่อลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	3 องศาเซลเซียส		6 องศาเซลเซียส	
	กิโลวัตต์-ชั่วโมง ที่ประหยัด	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัด (บาทต่อปี)	กิโลวัตต์-ชั่วโมง ที่ประหยัด	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัด (บาทต่อปี)
4	80	240	160	480
7.5	150	450	300	900
11	220	660	440	1,320
15	300	900	600	1,800
22	440	1,320	880	1,760
30	600	1,800	1,200	2,640
37	740	2,220	1,480	4,440
55	1,100	3,300	2,200	6,600
75	1,500	4,500	3,000	9,000
110	2,200	6,600	4,400	13,200
160	3,200	9,600	6,400	19,200

หมายเหตุ : คำนวณที่ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.00 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง



6) หลีกเลียงบริเวณที่มีความชื้นสูง เพราะความชื้นในอากาศคือน้ำที่ระเหยอยู่ในอากาศ ที่ 30 องศาเซลเซียส น้ำ 1 กิโลกรัมระเหยเป็นความชื้นในอากาศจะมีปริมาตรประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร เมื่อความชื้นนี้ถูกดูดเข้าเครื่องอัดอากาศ ก็จะเป็นความชื้นปนในอากาศอัดที่มีความดัน 7 บาร์ ถ้าเครื่องอัดอากาศที่ 7 บาร์ เมื่ออากาศและความชื้นผ่านอุปกรณ์ผลิตความร้อนหลังเครื่องอัดอากาศ ความชื้นก็กลั่นตัวเป็นหยดน้ำประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อผ่านไปเครื่องทำอากาศแห้งโดยเครื่องทำความเย็น และหรือใช้สารดูดความชื้น ความชื้นที่เหลือ 30 เปอร์เซ็นต์ ก็กลั่นตัวเป็นน้ำหมดทั้ง 1 กิโลกรัม ปริมาตรอากาศที่อัดโดยเครื่องอัดอากาศก็หายไป 1 ลูกบาศก์เมตร คิดดูว่าสิ้นเปลืองมากเพียงใด เพราะถ้าอัดอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีให้ได้ความดัน 7 บาร์ เครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงต้องใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 7.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าก็ 225 บาทต่อชั่วโมง

7) อย่าหันเครื่องอัดอากาศให้ลมระบายความร้อนออกจากเครื่องไปทางทิศใต้ เพราะพัดลมในเครื่องอัดอากาศเป่าลมสู่ลมธรรมชาติไม่ได้ เพราะช่วงเดือนมีนาคม เมษายน พฤษภาคม เป็นหน้าร้อน ลมว่าพัดแรงมาก พัดลมในเครื่องเป่าลมได้ความดันประมาณ 30 ปาสคาล หรือความเร็วลม 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถ้าความเร็วลมธรรมชาติถึงระดับนี้ พัดลมก็จะหยุดเป่าเพราะสู่ลมธรรมชาติไม่ไหว แต่ก่อนจะหยุดเป่าการเป่าอากาศจะต่ำลงๆ เนื่องจากลมธรรมชาติจะบั่นทอนความสามารถของพัดลมของเครื่อง การระบายถ่ายเทความร้อนก็จะต่ำลงๆ จนเครื่องร้อนแล้วเกิดการเสียหาย

8) หลีกเลียงที่มีฝุ่นละอองมาก ในบรรยากาศปกติความเข้มข้นของฝุ่นประมาณ 12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถ้ามากกว่านี้ให้ย้ายที่หรือเพิ่มจำนวนไส้กรองให้มีพื้นที่กรองมากขึ้นป้องกันการอุดตันกะทันหัน ต้องหมั่นตรวจสอบสภาพไส้กรอง ทางที่ดีควรติดเครื่องวัดสูญญากาศที่ทางดูดอากาศเข้า

9) เพื่อที่บริเวณรอบเครื่อง 1 เมตร เพื่อการซ่อมบำรุง

10) ห่างไกลจากที่มีกรด - ด่าง สารระเหยไวไฟ เพราะไอรกด - ด่างจะกัดชิ้นส่วนภายในให้ผุกร่อน ไอระเหยอาจจะก่อให้เกิดการระเบิด

11) ถ้าเป็นเครื่องที่ใช้น้ำระบายความร้อนให้จัดท่อน้ำเย็น และท่อน้ำที่มีขนาดใหญ่เพียงพอในการ ทิ้งน้ำจากเครื่อง ถ้าท่อเล็ก กว่าน้ำจะหมดจากเครื่อง ใช้เวลานาน หรือน้ำล้นท่อ น้ำท่วม

12) ติดตั้งวาล์วคัดตอน (Isolate Valve) แต่ละเครื่องหลังวาล์วปลอดภัยและห่างจากเครื่องให้มากที่สุดหรือก่อนเข้าท่อร่วม (Header)

13) ควรใช้ท่ออ่อน (Flexible Coupling or Hose) จากเครื่องเข้าระบบท่อ



5.3 การตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ

5.3.1 การตรวจสอบรายวันสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและแบบกันหอย (Scroll)

รายการ	ระยะเวลาในการตรวจเช็ค (ชั่วโมง)				
	200	1,000	2,000	4,000	10,000
ระดับน้ำมันหล่อลื่น/ความหนืด	X				
ถ้าเป็นเครื่องที่ฉีดน้ำมันหล่อลื่นเข้ากระบอกสูบ ให้เติมน้ำมันทุกวันและตั้งปรับหยดต่อนาทีถ้าผิดปกติ					
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น	แล้วแต่ยี่ห้อ/ ชนิดน้ำมัน				
เปลี่ยนไส้กรองน้ำมันหรือล้างตามกำหนดผู้ผลิต บางผู้ผลิตให้ล้างทำความสะอาด					
เปลี่ยนไส้กรองอากาศ			X		
ตรวจสอบสายพานความตึง/สึกหรอ			X		
สภาพรังผึ้งระบายความร้อนให้ตรวจรายวันโดยใช้มือขวาทงลมเปรียบเทียบความแรงวันต่อวัน					
สภาพหินปูนในท่อน้ำหล่อเย็น		ขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำ			
สภาพวาล์วดูด/จ่ายอากาศ		X			
ตรวจสอบสภาพลูกสูบ/แหวน/เสื่อ				X	
ตรวจสอบสภาพกันสูบ/อุปกรณ์กันรั่ว	x เครื่องอัดสองด้านจะสามารถเห็นและสามารถขันบีบปะเก็นให้แน่น				

5.3.2 การตรวจสอบรายวันสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบสกรู

รายการ	ระยะเวลาในการตรวจเช็ค (ชั่วโมง)				
	200	1,000	2,000	4,000	10,000
ระดับน้ำมันหล่อลื่น / ความหนืด	X				
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น	แล้วแต่ยี่ห้อ / ชนิดน้ำมัน				
เปลี่ยนไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น			X		
เปลี่ยนไส้กรองอากาศ			X		
ตรวจสอบสายพานความตึง / สึกหรอ			X		
สภาพรังผึ้งระบายความร้อนด้วยอากาศหมั่นตรวจบ่อยๆใช้อากาศอัดเป่าฝุ่นในครีบอก					
สภาพหินปูนในท่อน้ำหล่อเย็น	ขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำ				
สภาพวาล์วระบายอากาศช่วงปลดภาระถ้ามี ทำความสะอาดทุก 200 ชั่วโมง					
ตรวจสอบลูกกลอยระบายน้ำกลั่นตัวที่อุปกรณ์ผลิตความร้อนอาจอุดตันหรือเปิดตลอดให้ทำความสะอาดลูกกลอย					
เปลี่ยนไส้กรองแยกน้ำมันออกจากอากาศก่อนจากเครื่องถ้าเป็นแบบน้ำมันหล่อลื่นท่วมทัน					X



5.3.3 การตรวจสอบรายวันสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบโรตารีเวน

รายการ	ระยะเวลาในการตรวจเช็ค (ชั่วโมง)					
	200	500	1,000	2,000	5,000	10,000
ตรวจทำความสะอาดไส้กรองอากาศ	X					
เปลี่ยนไส้กรองอากาศ				X		
เป่าฝุ่นรังผึ้งระบายความร้อนด้วยอากาศ	X					
เปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น	แล้วแต่ชนิดของน้ำมันหล่อลื่น					
เปลี่ยนวาล์วน้ำมันไหลกลับจากห้องแยกน้ำมัน				X		
เปลี่ยนไส้กรองแยกน้ำมันออกจากอากาศก่อนออกจากเครื่องอัดอากาศ						X
ตรวจล้างลูกกลยระบายน้ำกลั่นตัวจากอุปกรณ์ผลิตความร้อนทุก 200 ชั่วโมง						



5.4 วิธีการตรวจอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องอัดอากาศ

5.4.1 วิธีการตรวจอุปกรณ์

การตรวจอุปกรณ์ต่าง ๆ และการซ่อมบำรุง เป็นสิ่งจำเป็นยิ่งยวดในการทำให้เครื่องยนต์กลไกทุกชนิดไม่ว่าเครื่องอัดอากาศให้มีอายุการใช้งานยาวนานและมีประสิทธิภาพสูงตลอดเวลาการใช้งาน

การซ่อมบำรุงที่ดีที่สุดคือ “**ซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน**” (Preventive Maintenance) ไม่ใช่เสียแล้วค่อยซ่อมเพราะบางครั้งก็สุดวิสัยที่จะซ่อม เพราะว่าซื้อเปลี่ยนใหม่ถูกกว่า เครื่องทุกชนิดที่มีการหล่อลื่นเมื่อเริ่มใช้เครื่องใหม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานระยะสั้นๆ ตั้งแต่ 100, 200 ชั่วโมงใช้งาน เหตุผลก็เพราะว่า ในขบวนการผลิตตั้งแต่หล่อขึ้นส่วนต่างๆ ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยการกลึง ใส เจาะรู ทำเกลียว ประกอบเป็นเครื่องสำเร็จรูป อาจมีเศษโลหะ เศษทรายทำแบบหล่อ อื่นๆ ติดตามซอกมุมไม่หลุดออก ต้องเดินเครื่องและมีน้ำมันหล่อลื่นไปชะล้างหลุดออกจากที่ซ่อนมาอยู่กับน้ำมันหล่อลื่น อาจติดอยู่กับไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น หรือตกอยู่ในอ่างน้ำมัน จึงถือโอกาสเปลี่ยนถ่ายน้ำมันล้างสิ่งไม่พึงปรารถนาออกจากเครื่องแต่เนิ่นๆ เพื่อความปลอดภัย

ทุกวัน เมื่อกดสวิทช์เดินเครื่องแล้วให้ยืนรอจนเครื่องหมุนได้รอบแล้ว ใช้ ตา-หู, ทุ-ฟัง, จมูก-ดม, มือ-สัมผัสตรวจดูเปรียบเทียบกับเมื่อวานมีอะไรผิดปกติหรือเปล่า ถ้าเครื่องสร้างความดันช้ากว่าทุกวัน ให้ตั้งข้อสงสัยว่า ระบบท่อรั่วหรือเปล่า สายพานหย่อนหรือเปล่า อุปกรณ์วัดความดันผิดปกติหรือเปล่า ฯลฯ ถ้าทุกอย่างถูกต้องให้สงสัยเครื่องมีปัญหาห้องอัดอากาศสักหรือก็จะกินกระแสหน่อยลงถ้ามีส่วนเสียดสีกันจะกินกระแสมากขึ้น ตามด้วยบริเวณเสียดสีร้อน ถ้าเป็นที่ลูกปืนจะมีเสียงขีดตามมาด้วย ถ้าทุกอย่างปกติให้บันทึกรายการต่างๆ เหล่านี้

- ☒ ความดันและอุณหภูมิของ อากาศอัด/ น้ำมันหล่อลื่น/ ความดันน้ำหล่อเย็น
- ☒ ความร้อนตัวเครื่องอัดอากาศไม่ควรเกิน 90 องศาเซลเซียส
- ☒ ถ้าระบายความร้อนด้วยอากาศให้อาสิ่งกีดขวางทางลมระบายความร้อนออก
- ☒ วัดหรืออ่านการกินกำลังไฟฟ้า (Volt, Amp)
- ☒ สภาพไส้กรองอากาศ ความต้านทาน (ผีด) < 35 มิลลิบาร์ เป่าทำความสะอาดบ่อยๆ ถ้าบริเวณโดยรอบมีฝุ่นมาก
- ☒ ระดับน้ำมันในตาแมว และรอยรั่วของน้ำมัน
- ☒ เสียง/ แรงสั่นสะเทือนผิดปกติ
- ☒ ระยะเวลาในการสร้างความดัน



5.4.2 การวินิจฉัยข้อบกพร่องและแก้ไขการเดินเครื่องอัดอากาศ

การวินิจฉัยและหาสาเหตุที่อาจเป็นต้นเหตุ และการแก้ไขข้อบกพร่อง สาเหตุแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

1) การเดินเครื่อง

อาการ	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
เครื่องไม่ยอมเดินเมื่อกดปุ่มเดิน	ไม่มีกระแสไฟฟ้า	ตรวจระบบไฟฟ้า ปิดปุ่มเลือกคู่วอลท์ทุกสาย
กดปุ่มแล้วเครื่องไม่ตอบสนอง	ถ้าอยู่ในการเลือกเดินอัตโนมัติแสดงว่าความดันอากาศยังสูงอยู่ในเครื่อง	วาล์วทิ้งน้ำ ระบายลม และแก้วัดความดันบกพร่อง
กดปุ่มเดินเครื่องแล้วเครื่องไม่หมุน	ความดันวอลท์ผิดปกติ	ตรวจสอบสายเมนหรืออาจต้องตั้งปรับหม้อแปลง
กดปุ่มเดินเครื่องแล้วเครื่องขยับเดินแล้วหยุด	ความดันวอลท์ผิดปกติ	ใช้วอลท์มิเตอร์ตรวจวัดหาสายที่ไฟไม่มา

2) น้ำมันหล่อลื่น

อาการ	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
เครื่องกินน้ำมันมาก หรือระดับน้ำมันเครื่องลดลงอย่างรวดเร็ว	1. วาล์วส่งน้ำมันกลับคืนอาจอุดตัน 2. ไส้กรองแยกละอองน้ำมันอุดตันหรือแตกรั่ว 3. อาจตั้งปรับความดันใช้งานต่ำจนอากาศที่มีปริมาตรโตขึ้นผ่านออกจากเครื่องจะมีความเร็วสูงพอที่จะพาละอองน้ำมันไปกับลม	1. เปลี่ยนวาล์ว 2. เปลี่ยนไส้กรอง 3. ตั้งปรับความดันทำงานให้สูงขึ้นจนไม่พาละอองน้ำมันออกจากเครื่อง

3) อุณหภูมิ

อาการ	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
เครื่องหยุดเนื่องจากสวิตช์ตรวจจับอุณหภูมิสูงทำงาน	1. ระดับน้ำมันหล่อลื่นต่ำ 2. ริงฝั้ระบายลมร้อนอุดตัน 3. หินปูนเกาะในท่อน้ำหล่อเย็น 4. อุณหภูมิอากาศรอบเครื่องสูง	1. เติมน้ำมันให้ระดับ 2. ใช้อากาศอัดเป่าฝุ่นที่เกาะในครีบริบายลมร้อนออก 3. ทำการล้างหินปูนออกจากท่อ 4. ตรวจสอบที่ตั้งเครื่องและหาทางระบายอากาศร้อนออกจากห้องเครื่อง



4) ความดัน

อาการ	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
ความดันใช้งานไม่สามารถขึ้นถึงจุดที่ใช้งาน	วาล์วตั้งปรับความดันตั้งไม่ถึงจุดที่ต้องการ	ตั้งปรับใหม่
ความดันตก	ไส้กรองอากาศเข้าอุดตัน	เปลี่ยนไส้กรองอากาศ
	ไส้กรองแยกละอองน้ำมันอุดตัน	เปลี่ยนไส้กรองแยกน้ำมัน
	เกิดการอุดตันในไส้กรองแยกน้ำออกจากอากาศอัดหลังอุปกรณ์ผลิตความร้อน น้ำท่วมในระบบท่อส่งอากาศ	เปลี่ยนไส้กรองแยกน้ำ
ความดันตก	วาล์วตั้งปรับความดันต่ำสุดในเครื่องเพื่อให้แน่ใจว่าน้ำมันหล่อลื่นจะไหลหมุนเวียนในเครื่องโดยอาศัยความดันต่างระหว่างน้ำมันและภายในช่องอัดอากาศ	ตรวจตั้งปรับความดันใหม่ให้ถูกต้อง
	วาล์วกันน้ำมันไหลย้อนกลับห้องแยกละอองน้ำมันไปช่องอัดอากาศ	เปลี่ยนหรือปรับสภาพใหม่
	ตั้งปรับใหม่ หรือซื้อเครื่องมาเพิ่มในชุดอัดอากาศ	ตั้งปรับใหม่ หรือซื้อเครื่องมาเพิ่มในชุดอัดอากาศ
ความดันตกถาวร	อากาศอัดจากเครื่องอัดไม่พอใช้งาน	เพิ่มเครื่อง
	มีการรั่วในระบบ	หารอยรั่ว
	ถ้าท่อยาวมาก ความดันจะตกถาวรเฉพาะปลายทาง	หาถังเก็บอากาศไว้ปลายทาง หรือหาแนวทางเดินท่อเพิ่มเติม
ความดันตกไม่แน่นอน	มีเครื่องใช้อากาศอัดครั้งละมากๆ เป็นครั้งคราว	หาถังเก็บอากาศสำรองไว้ใกล้เครื่องนี้
	มีการใช้อากาศอัดพร้อมๆกันหลายเครื่อง	หาถังเก็บอากาศสำรองอากาศไว้กลางหมู่เครื่องใช้อากาศอัด
	ท่อส่งอากาศยาวและอาจจะเล็ก	ขยายท่อและหาถังเก็บอากาศไว้ปลายทาง



บทที่ 6

การอนุรักษ์พลังงาน
ในระบบอากาศอัด

บทที่ 6

การอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด

กรรมวิธีการประหยัดพลังงานของระบบอากาศอัด ในภาคอุตสาหกรรมหลายๆ แห่ง พอจะสรุปมาตรการการอนุรักษ์พลังงานเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

6.1 เครื่องอัดอากาศ

ซึ่งรายละเอียดของแต่ละมาตรการมีดังนี้

6.1.1 การปรับลดความดันในการผลิตอากาศอัดให้เหมาะสม

โดยทั่วไปแล้วโรงงานมักจะเข้าใจผิดว่า การผลิตความดันอากาศอัดที่ความดันสูงๆ แล้วให้เครื่องหยุดพักในลักษณะแบบไร้ภาระ (Unload) จะทำให้เครื่องได้หยุดพัก เครื่องก็จะใช้พลังงานน้อยลง ซึ่งก็เป็นความจริงแต่หากคิดทบทวนสักนิดว่า เครื่องอัดอากาศที่ทำงานในลักษณะไร้ภาระ (Unload) เป็นการที่มอเตอร์ใช้ไฟแต่ไม่ได้จ่ายอากาศอัดออกมา ซึ่งอาจคิดได้ว่าเป็นการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดมีความต้องการอากาศอัดที่ความดันประมาณ 4-5 bar เท่านั้น หากอุปกรณ์ใดมีการใช้อากาศอัดที่ความดันสูงกว่านี้จะถูกจัดไว้เป็นอุปกรณ์พิเศษ ควรจะแยกระบบออกไปหรือใช้เครื่องเพิ่มความดันเพื่อเพิ่มความดันอากาศอัดเฉพาะเป็นจุดๆ ไม่ควรผลิตอากาศอัดที่ความดันสูง เพื่อรองรับอุปกรณ์ที่ใช้ความดันพิเศษเพียงบางจุด เนื่องจากการผลิตอากาศอัดที่ความดันสูงกว่าการใช้งานหากมีการรั่วไหลย่อมมีการรั่วไหลได้มากกว่าเช่นกัน ประกอบกับเครื่องอัดอากาศจะต้องใช้กำลังในการผลิตอากาศอัดที่สูงตามไปด้วย

สำหรับประโยชน์ของการลดความดัน มีดังต่อไปนี้

- 1) ช่วยลดการใช้พลังงานในการผลิตอากาศอัด เนื่องจากการผลิตอากาศอัดที่ความดันสูง ย่อมต้องใช้พลังงานสูงตาม โดยทั่วไปแล้วการลดความดันในการผลิตอากาศอัดลง 1 บาร์ จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 7.2 หรือลดความดันอากาศอัดจากเครื่องผลิตลงทุกๆ 0.138 บาร์ จะประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 1 สำหรับเครื่องอัดอากาศชนิดโรตารี และเทอร์โบ
- 2) ช่วยลดการสูญเสียเนื่องจากการรั่วไหลของอากาศอัด เนื่องจากความดันอากาศอัดสูง ย่อมรั่วไหลในปริมาณที่สูงตามไปด้วย
- 3) ช่วยลดการใช้อุปกรณ์ปรับลดความดันก่อนการใช้งาน กรณีความดันสูงกว่าความต้องการ
- 4) เมื่อลดความดันในการผลิตลงส่งผลให้เครื่องอัดอากาศสามารถผลิตอากาศอัดได้มากขึ้น นั่นคือปริมาณอากาศได้เพิ่มมากขึ้น ณ ที่เวลาทำงานเท่ากันในส่วน of ขั้นตอนการลดความดันในการผลิต มีดังต่อไปนี้



- ตรวจสอบการใช้ความดันอากาศอัดทุกๆ จุดที่มักเกิดปัญหา เมื่อความดันตก เพื่อทำการแก้ไข
- ตรวจสอบความต้องการความดันอากาศอัดของเครื่องจักรว่า ต้องการความดันเท่าไร เพื่อใช้เทียบกับการผลิต
- ตรวจสอบรอยรั่วไหลของอากาศอัด แล้วทำการอุดรอยรั่วไหลทั้งหมด เพื่อลดปัญหาความดันตก
- การปรับลดความดันควรเป็นแบบลักษณะค่อยๆ ลด เช่น ลดจาก 7.5 บาร์ มาที่ 7 บาร์ โดยพยายามลดลงครั้งละประมาณ 0.5 บาร์ หรือน้อยกว่านี้ถ้าเครื่องอัดอากาศสามารถปรับได้

สมการผลประหยัดที่ได้จากการลดความดันในการผลิตอากาศอัด ดังสมการ (6.1-1)

สมการ พลังไฟฟ้าในการอัดอากาศที่ความดันต่างๆ โดยวิธีการเปลี่ยนค่าความดันที่ P_2 ก่อนและหลังลดความดัน

$$P_{PP} = \frac{(i \cdot k)}{(k - 1)} \cdot \frac{P_1 Q_1}{10} \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k-1)}{(i \cdot k)}} - 1 \right\} \cdot \frac{100}{\eta_{isen} \eta_M} \quad (6.1-1)$$

ตัวอย่างที่ 6.1-1 การปรับลดความดันในการผลิตอากาศอัดให้เหมาะสม

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการติดตั้งเครื่องอัดอากาศ จำนวน 3 เครื่อง ขนาด 37 กิโลวัตต์ ประเภทสกรู ระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังรูปที่ 6.1-1 ใช้งานวันละ 2 เครื่อง และทำงาน 21 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี และ 16 ชั่วโมงต่อวัน 48 วันต่อปีจ่ายอากาศอัดให้ระบบนิวเมติกส์ กระบอกสูบ และการส่งจ่ายถุงพลาสติก



รูปที่ 6.1-1 เครื่องอัดอากาศ



2) ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

เครื่องอัดอากาศมีการตั้งความดันไว้ที่ 7.2 บาร์ ในขณะที่ในกระบวนการผลิตมีความต้องการอากาศอัดที่ความดันสูงสุด 6 บาร์ ดังรูปที่ 6.1-2 จากการสำรวจความดันใช้งานที่อุปกรณ์ที่จุดสูงสุดก่อนปรับลดความดันด้วย Air Regulator พบว่า มีค่าความดันประมาณ 6.8 - 7 บาร์ ยังเกินความจำเป็นการใช้งานของอุปกรณ์ประมาณ 0.8 – 1 บาร์ ทำให้เครื่องอัดอากาศต้องสูญเสียการใช้พลังงานในการอัดอากาศที่ความดันสูงๆ โดยมีผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ ตามรูปที่ 6.1.3 ดังนี้

- เครื่องอัดอากาศ No.4 มีกำลังไฟฟ้าในช่วงมีโหลด 43.8 กิโลวัตต์ เปอร์เซ็นต์การใช้งาน 100 เปอร์เซ็นต์ มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 43.8 กิโลวัตต์
- เครื่องอัดอากาศ No.5 มีกำลังไฟฟ้าในช่วงมีโหลด 44.7 กิโลวัตต์ เปอร์เซ็นต์การใช้งาน 63 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงไม่มีโหลด 20.5 กิโลวัตต์ เปอร์เซ็นต์การใช้งาน 37 เปอร์เซ็นต์ มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 35.75 กิโลวัตต์
- กำลังไฟฟารวมทั้งสองเครื่อง 79.55 กิโลวัตต์



รูปที่ 6.1-2 การตั้งความดันที่เครื่องและความดันใช้งานสูงสุดในกระบวนการผลิตก่อนปรับปรุง





กำลังไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยของเครื่องอัดอากาศ No.4



กำลังไฟฟ้าในช่วงมีโหลดของเครื่องอัดอากาศ No.5



กำลังไฟฟ้าในช่วงไม่มีโหลดของเครื่องอัดอากาศ No.4

รูปที่ 6.1-3 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศก่อนปรับปรุง

3) แนวคิดและขั้นตอนดำเนินการ

เพื่อใช้ความดันอากาศอัดให้เหมาะสมกับความต้องการ และลดความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในการอัดอากาศ อันเนื่องมาจากการผลิตความดันที่สูงเกินความจำเป็น ทางโรงงานจะดำเนินการลดความดันที่ผลิตให้เหมาะสมกับความต้องการโดยมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

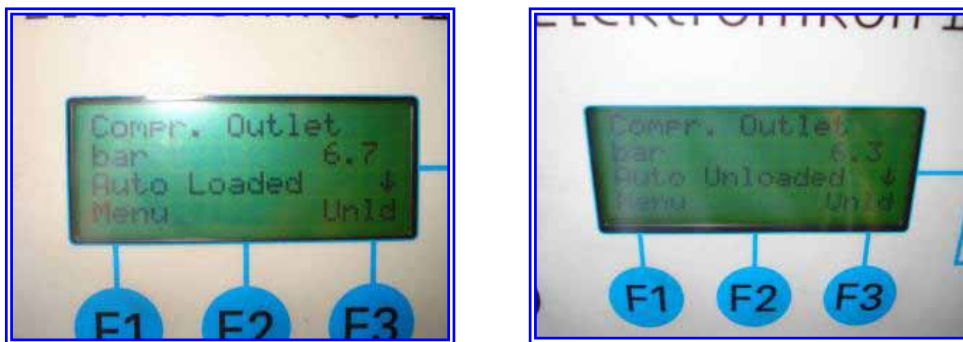
- (1) สืบราชการตั้งความดันที่ผลิตที่ตัวเครื่องอัดอากาศ การตั้งความดันใช้งานสูงสุดในไลน์การผลิต และความดันใช้งานก่อนปรับลดด้วย Air Regulator ที่จุดใช้งานความดันสูงสุด
- (2) สืบหาความดันตกคร่อมระหว่างจากเครื่องอัดอากาศจนถึงจุดใช้งานความดันสูงสุด
- (3) ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศและบันทึกเวลาการใช้งานก่อนปรับปรุง
- (4) ทดลองลดความดันที่ตัวเครื่องอัดอากาศจาก 7.2 บาร์ มาที่ 6.7 บาร์
- (5) ตรวจสอบอุปกรณ์การใช้อากาศ สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพหรือไม่ มีผลกระทบหรือไม่
- (6) ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศและบันทึกเวลาการใช้งานหลังปรับปรุง
- (7) ประเมินผลประหยัดพลังงาน



4) สภาพหลังการปรับปรุง

หลังจากโรงงานตั้งความดันที่ตัวเครื่องอัดอากาศมาที่ 6.7 บาร์ ระบบอากาศอัดสามารถทำงานได้ปกติไม่มีผลกระทบต่อการทำงาน โดยมีผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าใช้งาน ตามรูปที่ 6.1.4 ดังนี้

- เครื่องอัดอากาศ No.4 มีกำลังไฟฟ้าในช่วงมีโหลด 44.7 กิโลวัตต์ เปอร์เซ็นต์การใช้งาน 63 เปอร์เซ็นต์
- เครื่องอัดอากาศ No.4 มีกำลังไฟฟ้าในช่วงไม่มีโหลด 20.5 กิโลวัตต์ เปอร์เซ็นต์การใช้งาน 37 เปอร์เซ็นต์
- เครื่องอัดอากาศ No.4 มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 32.6 กิโลวัตต์
- เครื่องอัดอากาศ No.5 มีกำลังไฟฟ้าในช่วงมีโหลด 43.8 กิโลวัตต์ เปอร์เซ็นต์การใช้งาน 100 เปอร์เซ็นต์
- เครื่องอัดอากาศ No.5 มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 43.8 กิโลวัตต์
- กำลังไฟฟารวมทั้ง 2 เครื่อง 76.4 กิโลวัตต์



รูปที่ 6.1-4 การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศหลังปรับปรุง

ระยะเวลาดำเนินการ	0.5	เดือน
เงินลงทุน	ไม่มี	บาท
ผลประโยชน์ที่ได้	110,965	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	-	ปี

5) ข้อเสนอแนะ

ควรทำการปรับความดันที่จุดใช้งานทุกจุดให้ต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยใช้ตัวปรับที่มีคุณภาพดี ให้แน่ใจว่าใช้ตัวปรับความดันที่มีคุณภาพดีจริง เพราะตัวปรับที่คุณภาพไม่ดี มักจะคลายเคลื่อนไปได้ ถ้าตัวปรับความดันคลาดเคลื่อนไปได้เพียง 5 psig การใช้งานก็ต้องเปลืองอากาศอัดมากขึ้น

6) แนวทางการขยายผล

ทำการตรวจสอบตัวปรับความดันอากาศอัด และการรั่วไหลของอากาศอัดอยู่เสมอ



7) วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ก่อนปรับปรุง

ปรับตั้งความดันอากาศอัดไว้	7.2	บาร์
เครื่องอัดอากาศแบบสกรู No.4 ขนาด	37	กิโวลต์
พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงมีโหลด (kW _{Load NO.4})	44.7	กิโวลต์
พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงไม่มีโหลด (kW _{Unload NO.4})	20.5	กิโวลต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงมีโหลด	63	เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงไม่มีโหลด	37	เปอร์เซ็นต์
เครื่องอัดอากาศแบบสกรู No.5 ขนาด	37	กิโวลต์
พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงมีโหลด (kW _{Load NO.5})	43.8	กิโวลต์
พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงไม่มีโหลด (kW _{Unload NO.5})	0	กิโวลต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงมีโหลด	100	เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงไม่มีโหลด	0	เปอร์เซ็นต์
จำนวนชั่วโมงการทำงาน	23.56	ชั่วโมงต่อวัน
จำนวนวันทำงาน	300	วันต่อปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	2.94	บาทต่อหน่วย

หมายเหตุ : 23.56 ชม./ วัน 300 วัน/ปี เป็นชม.เฉลี่ยมาจาก 21 ชม./วัน300 วัน/ปี รวมกับ 16 ชม./วัน 48 วัน/ปี

พลังไฟฟ้าวัดได้เฉลี่ยก่อนปรับปรุง

$$\begin{aligned}
 &= [(พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงมีโหลด \times เปอร์เซนต์การทำงานในช่วงมีโหลด) + (พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงไม่มีโหลด \times เปอร์เซนต์การทำงานในช่วงไม่มีโหลด)]_{NO.4} + [(พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงมีโหลด \times เปอร์เซนต์การทำงานในช่วงมีโหลด) + (พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงไม่มีโหลด \times เปอร์เซนต์การทำงานในช่วงไม่มีโหลด)]_{NO.5} \\
 &= [44.7 \text{ กิโวลต์} \times (63/100) + 20.5 \text{ กิโวลต์} \times (37/100)]_{NO.4} + [43.8 \text{ kW} \times (100/100)]_{NO.5} \\
 &= 35.75 + 43.8 \\
 &= 79.55 \quad \text{กิโวลต์}
 \end{aligned}$$

หลังปรับปรุง

ปรับตั้งความดันอากาศอัดไว้	6.7	บาร์
เครื่องอัดอากาศแบบสกรู No.4 ขนาด	37	กิโวลต์
พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงมีโหลด (kW _{Load NO.4})	43.3	กิโวลต์
พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงไม่มีโหลด (kW _{Unload NO.4})	18	กิโวลต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงมีโหลด	51.8	เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงไม่มีโหลด	48.2	เปอร์เซ็นต์
เครื่องอัดอากาศแบบสกรู No.5 ขนาด	37	กิโวลต์
พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงมีโหลด (kW _{Load NO.5})	43.1	กิโวลต์



พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงไม่มีโหลด ($kW_{\text{Unload NO.5}}$)	0	กิโลวัตต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงมีโหลด	100	เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงไม่มีโหลด	0	เปอร์เซ็นต์

พลังไฟฟ้าวัดได้เฉลี่ยหลังปรับปรุง

$$\begin{aligned}
 &= [\text{พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงมีโหลด} \times \% \text{การทำงานในช่วงมีโหลด} + \text{พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงไม่มีโหลด} \times \% \text{การทำงานในช่วงไม่มีโหลด}]_{\text{NO.4}} + [\text{พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงมีโหลด} \times \% \text{การทำงานในช่วงมีโหลด} + \text{พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงไม่มีโหลด} \times \% \text{การทำงานในช่วงไม่มีโหลด}]_{\text{NO.5}} \\
 &= [43.3 \text{ กิโลวัตต์} \times (51.8/100) + 18 \text{ กิโลวัตต์} \times (48.2/100)]_{\text{NO.4}} + [43.1 \text{ kW} \times (100/100)]_{\text{NO.5}} \\
 &= 31.11 + 43.1 \\
 &= 74.21 \quad \text{กิโลวัตต์}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้} &= \text{พลังไฟฟ้าวัดได้เฉลี่ยก่อนปรับปรุง} - \text{พลังไฟฟ้าวัดได้เฉลี่ยหลังปรับปรุง} \\
 &= 79.55 - 74.21 \\
 &= 5.34 \quad \text{กิโลวัตต์}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้} &= \text{พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้} \times \text{ชั่วโมงทำงานใน 1 ปี} \\
 &= 5.34 \text{ กิโลวัตต์} \times 23.56 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \times 300 \text{ วันต่อปี} \\
 &= 37,390 \quad \text{หน่วยต่อปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{คิดเป็นจำนวนที่ประหยัดได้} &= 37,743 \text{ หน่วยต่อปี} \times 2.94 \text{ บาทต่อหน่วย} \\
 &= 110,965 \quad \text{บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$



6.1.2 การลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

โดยทั่วไปแล้วทางโรงงานจะติดตั้งเครื่องอัดอากาศเป็นศูนย์รวมในห้องหลายๆ ชุด โดยบางชุดมีการต่อท่อ Duct ระบายความร้อนทั้งออกนอกอาคาร บางชุดก็ไม่ได้ต่อท่อออกนอกอาคาร ประกอบกับเครื่องอัดอากาศมีจุดระบายความร้อนที่ต่างกัน เช่น ระบายความร้อนออกด้านบนเครื่องบ้าง ด้านข้างเครื่องบ้าง กรณีที่มีเครื่องอัดอากาศหลายชุด หลายยี่ห้อที่ใช้ร่วมกัน ประกอบกับข้อจำกัดเรื่องของพื้นที่ ทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับการระบายความร้อนของระบบอากาศอัดตามมา

ดังนั้นทางโรงงานควรพิจารณาในการปรับปรุงระบบระบายความร้อนอาจเป็นการแก้ไขท่อระบายความร้อน เพื่อนำความร้อนออกนอกห้องเครื่องอัดอากาศกรณีที่ยังไม่ได้ติดตั้งท่อระบายความร้อนหรือติดตั้งท่ออากาศเพิ่มเติมเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศที่เข้า หรือไม่ก็กลับทิศทางของเครื่องอัดอากาศให้หันไปในทิศทางเดียวกัน แล้วแต่กรณี การระบายความร้อนทั้งออกไปนอกอาคารจะช่วยลดการใช้พลังงานได้ โดยทั่วไปแล้วหากสามารถลดอุณหภูมิลงได้ทุกๆ 3 องศาเซลเซียส จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณร้อยละ 1 ดังสมการ (6.1-2)

สมการแสดงผลประหยัดพลังงานที่ได้จากการลดอุณหภูมิของอากาศขาเข้า คือ

$$W_{isen} = \frac{ikRT}{k-1} \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{ik}} - 1 \right\} \quad \text{และ} \quad \Delta W_{isen} = \frac{ikR(T_1 - T_2)}{k-1} \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{ik}} - 1 \right\} \quad (6.1-2)$$

กำลังไฟฟ้าลดลง = พลังงานในการอัดอากาศที่แตกต่างก่อนและหลัง (กิโลจูลต่อกิโลกรัม) x
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงมีโหลด (On load) ในรอบการทำงาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด = กำลังไฟฟ้าลดลง x จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อปี

โดยที่

i จำนวนขั้นตอนการอัดอากาศของเครื่องอัดอากาศ

k อัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศ = 1.4

T_1 อุณหภูมิอากาศขาเข้าก่อนการปรับปรุง = องศาเซลเซียส + 273.15 เคลวิน

T_2 อุณหภูมิอากาศขาเข้าหลังการปรับปรุง = องศาเซลเซียส + 273.15 เคลวิน

R_a ค่าคงที่ของก๊าซที่อากาศแห้ง (Dry Air) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
= 0.287 กิโลจูลต่อกิโลกรัมเคลวิน

R_w ค่าคงของก๊าซที่เปียก (Wet Air) ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า

= $\{R_a / 1 - [0.378 \times RH \times (p_v/p_1)]\} / 1,000$ กิโลจูลต่อกิโลกรัมเคลวิน

RH ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าก่อนและหลังปรับปรุง, เปอร์เซ็นต์

p_1 ความดันอากาศขาเข้าสัมบูรณ์ = 1.013 บาร์(a)

p_2 ความดันอากาศขาออกสัมบูรณ์, บาร์(a)

= ความดันอากาศขาออกเกจ + ความดันบรรยากาศ (1 atm)

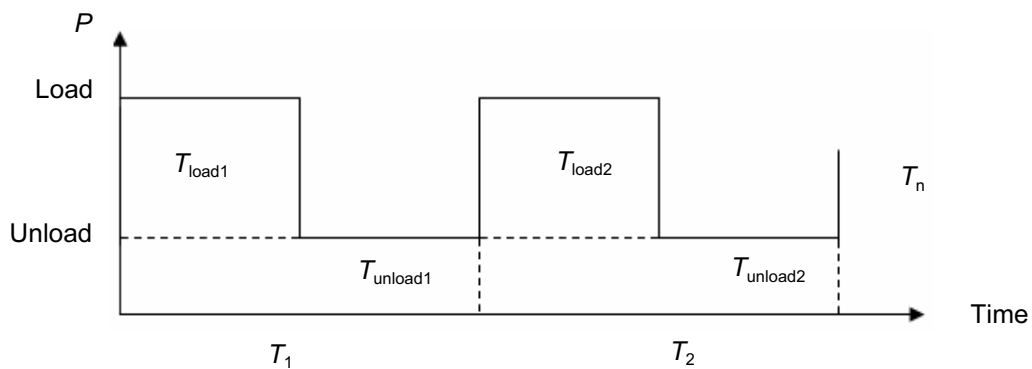


พิจารณาจากสมการการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ ดังสมการ (6.1-2) จะพบว่า การลดอุณหภูมิจะมีผลกับความชื้นที่เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย (อุณหภูมิ $\propto$ ความชื้นสัมพัทธ์) ซึ่งทั้งหมดก็มีผลกับค่าคงที่ของก๊าซ (Gas Constant: R) ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิตามความชื้น เพื่อให้ง่ายต่อการคิดผลประหยัดพลังงาน กำหนดให้ค่าคงที่ของก๊าซมีค่าคงที่ในทุกๆ สภาวะของการคำนวณ และพบว่าค่าความชื้นของอากาศก่อนเข้ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดสภาวะ ดังนั้นการกำหนดให้ค่าคงที่ของอากาศมีค่าคงที่จึงเป็นวิธีที่ง่ายต่อการคำนวณ ซึ่งผลประหยัดที่ได้ก็จะไม่แตกต่างกันมากนัก

สิ่งที่เกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิอีกส่วนหนึ่งก็คือ เปอร์เซ็นต์การทำงานของเครื่องอัดอากาศ ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การทำงานของเครื่องอัดอากาศ เพื่อที่จะได้คำนวณผลประหยัดที่ใกล้เคียงผลประหยัดจริง เพราะผลประหยัดจะเกิดขึ้นเฉพาะขั้นตอนการอัดเพียงเท่านั้น ในที่นี่ได้ยกตัวอย่างสภาวะการทำงานเป็น 3 กรณี

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การมีโหลด (On load) ใน 1 รอบการทำงาน (L_{DU})

1) กรณีการทำงานของเครื่องอัดอากาศเป็นแบบ Load/Unload หรือ On Line/Off Line

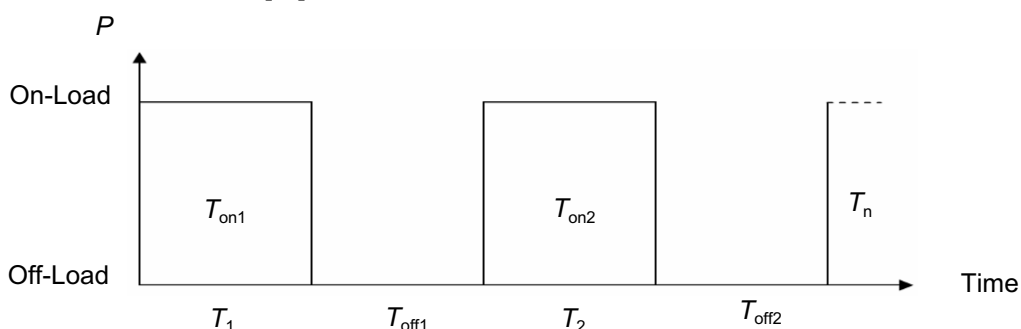


$$L_{DU} = \frac{T_{load}}{(T_{load} + T_{unload})} \times 100\% \quad (6.1-3)$$

เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการหาค่า L_{DU} ควรหาคาบการทำงานอย่างน้อย 5 ครั้ง แล้วนำมาเฉลี่ยกัน

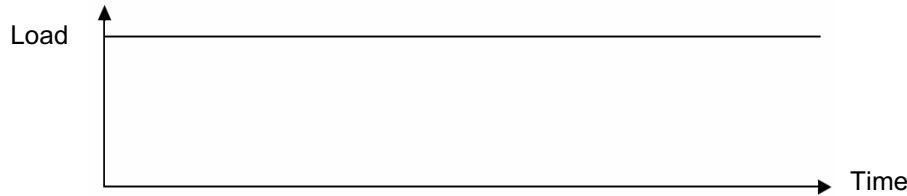
2) กรณีการควบคุมเครื่องอัดอากาศเป็นแบบ Start/Stop

เช่น ลูกสูบลูกเล็กและเวน วิธีการหาใช้แบบเดียวกับกรณีที่ 1



3) กรณีการควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบ Modulating

กลุ่มเวน สกรู และเทอร์โบ



สำหรับเครื่องอัดอากาศที่มีลักษณะการทำงานแบบ Modulating ที่ใช้หลักการหีวาล์วนั้น การหาค่าร้อยละของภาระนั้นกระทำได้ค่อนข้างยาก อย่างไรก็ตามหากมีการติดตั้ง Air Flow Meter แล้วจะทำให้การคำนวณทำได้โดยง่ายเพราะสามารถคำนวณอัตราการผลิตอากาศอัด ซึ่งสามารถเทียบกลับไปหาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของการผลิตได้ แต่ถ้าทางโรงงานมีการติดตั้งเครื่องอัดอากาศแบบสกรูหรือลูกสูบที่ทำงานแบบ Load/Unload และแบบ Start/Stop ร่วมอยู่ในระบบด้วย ก็จะทำให้ยุ่งขึ้นมามีอีกระดับหนึ่ง กล่าวคือ กำหนดให้เครื่องอัดอากาศที่ทำงานแบบ Modulating ทำงานเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วให้เครื่องอัดอากาศที่ทำงานแบบอื่นๆ เป็นตัวเสริมภาระ จากนั้นก็คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของผลการลดอุณหภูมิจากเครื่องอัดอากาศแบบ Modulating เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ก็จะได้ผลประหยัดจากการลดอุณหภูมิได้เช่นกัน

เมื่อทราบหลักการทำงานของเครื่องอัดอากาศทั้งหมดแล้ว ต่อไปก็มาถึงขั้นตอนการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาทำการคำนวณผลประหยัด ขั้นตอนการเก็บข้อมูลที่สำคัญ ดังนี้

(1) ข้อมูลขนาดเครื่องอัดอากาศ

- กำลังไฟฟ้า _____ แรงม้า/ กิโลวัตต์
- อัตราการผลิตอากาศ(FAD) _____ ลิตรต่อวินาที
- ความดันที่ตัดโหลด _____ บาร์
- ความดันที่ต่อโหลด _____ บาร์

(2) ข้อมูลสภาวะการทำงาน

- กำลังไฟฟ้า _____ กิโลวัตต์ (ช่วง Load และ Unload)
- เวลาที่มีโหลด _____ วินาที (ช่วง Load)
เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของ L_{DU}
- เวลาไม่มีโหลด _____ วินาที (ช่วง Unload)

(3) ข้อมูลสภาวะแวดล้อม

- อุณหภูมิบริเวณโดยรอบเครื่องอัดอากาศ _____ องศาเซลเซียส
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรอบเครื่องอัดอากาศ _____ เปอร์เซ็นต์



ตัวอย่างที่ 6.1-2 การลดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการติดตั้งเครื่องอัดอากาศ จำนวน 3 เครื่อง ขนาด 37 กิโลวัตต์ ประเภทสกรูระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังรูปที่ 6.1-5 ใช้งานวันละ 2 เครื่อง และทำงาน 21 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี และ 16 ชั่วโมงต่อวัน 48 วันต่อปี จ่ายอากาศอัดให้ระบบนิวเมติกส์ กระบอกลูกสูบ การส่งจ่ายถุงพลาสติก



รูปที่ 6.1-5 เครื่องอัดอากาศสกรู ขนาด 37 กิโลวัตต์

2) ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

อากาศขาเข้าของเครื่องอัดอากาศ No.5 มีอุณหภูมิสูงถึง 45.6 องศาเซลเซียส/ ความชื้นสัมพัทธ์ 31.3 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแอร์ดรายเออร์ที่ติดตั้งระบายอากาศร้อนจากเครื่องตรงกับทางอากาศขาเข้าของเครื่องอัดอากาศ และอีกทั้ง Exhaust Duct ที่นำอากาศร้อนทั้งจาก เครื่องอัดอากาศอุณหภูมิ 55 – 58 องศาเซลเซียส ปิดไม่สนิท ทำให้อากาศไหลหมุนเวียนเข้าตัวเครื่องอัดอากาศ และมีการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงมีโหลด 44.7 กิโลวัตต์ ส่วนเครื่องอัดอากาศ No.4 มีอุณหภูมิ อากาศขาเข้า 39.1 องศาเซลเซียส/ ความชื้นสัมพัทธ์ 43.8 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากผนังด้านข้างมีการติดตั้งกระเบื้องเพื่อป้องกันน้ำฝน เป็นเหตุให้อากาศไหลเวียนไม่สะดวกมีผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นสูงขึ้น มีการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงมีโหลด 43.8 กิโลวัตต์ ดังรูปที่ 6.1-6 สำหรับอากาศที่เข้าเครื่องมีอุณหภูมิสูงจะทำให้เครื่องอัดอากาศต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในการอัดอากาศ



ตำแหน่งอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ No. 5



Exhaust Duct ปิดไม่สนิท





อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ No. 5
มีค่า 45.6 องศาเซลเซียส



อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ No. 4
มีค่า 39.1 องศาเซลเซียส



กำลังไฟฟ้าช่วงมีโหลดของเครื่องอัดอากาศ No. 5



กำลังไฟฟ้าช่วงมีโหลดของเครื่องอัดอากาศ No. 4

รูปที่ 6.1-6 ปัญหาของอุปกรณ์/ ระบบก่อนปรับปรุง

3) แนวคิดและขั้นตอนดำเนินการ

จากที่กล่าวมาในข้างต้นสูงขึ้นอากาศที่เข้าเครื่องที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้เครื่องอัดอากาศต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในการอัดอากาศ เพราะอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ใช้พลังงานในอัดอากาศต่อมวลอากาศ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม) มากกว่าอุณหภูมิอากาศอัด (Discharge Temperature) ที่ออกจากเครื่องก็สูงกว่าทำให้บรรยากาศในการทำงานไม่น่ารื่นรมย์ และยังส่งผลกระทบต่อน้ำมันหล่อลื่น จะทำให้เสื่อมเร็วขึ้นเพิ่มค่าใช้จ่ายในถ่านน้ำมัน เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในการอัดอากาศและเหตุผลที่กล่าวมา ทางโรงงานจะปรับปรุงโดยการนำอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำมาอัดอากาศ โดยดำเนินการมีขั้นตอนดังนี้

- สำรวจสถานที่ติดตั้งเครื่องอัดอากาศ แอร์ทรายเออร์ ถังลม และท่อส่งจ่าย
- สำรวจสภาพการระบายอากาศหมุนเวียนบริเวณที่ตั้งเครื่องอัดอากาศและแอร์ทรายเออร์
- ตรวจวัดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่อง อุณหภูมิอากาศอัด และความดันอากาศอัดก่อนปรับปรุง
- ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเครื่องอัดอากาศก่อนปรับปรุง
- มอบหมายให้ฝ่ายซ่อมบำรุงขยับแอร์ทรายเออร์ไม่ให้ตรงกับเครื่องอัดอากาศ No.5



- มอบหมายให้ฝ่ายซ่อมบำรุงซีลท่อ Exhaust duct ให้สนิทกับตัวเครื่องอัดอากาศทุกเครื่อง
- มอบหมายให้ฝ่ายซ่อมบำรุงถอดกระเบื้องป้องกันน้ำฝนบริเวณผนังด้านข้างออกบางส่วน เพื่อให้อากาศไหลเวียนสะดวกยิ่งขึ้น
- ตรวจวัดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่อง และอุณหภูมิอากาศอัดหลังปรับปรุง
- ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเครื่องอัดอากาศหลังปรับปรุง
- ประเมินผลกระทบต่อการทำงานและผลประหยัดพลังงาน

4) สภาพหลังการปรับปรุง

หลังจากดำเนินการทำให้อากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ No.5 มีอุณหภูมิอากาศลดลงจาก 45.6 องศาเซลเซียส เหลือ 36.6 องศาเซลเซียส/ความชื้นสัมพัทธ์ 50.4 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เปอร์เซ็นต์อัตราการไหลของอากาศเชิงมวลเพิ่มขึ้น 1.04 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเครื่องอัดอากาศ No.4 มีอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องลดลงจาก 39.1 องศาเซลเซียส เหลือ 35.8 องศาเซลเซียส/ความชื้นสัมพัทธ์ 53.6 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เปอร์เซ็นต์อัตราการไหลของอากาศเชิงมวลเพิ่มขึ้น 2.94 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 6.1-7





อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ No. 5
หลังปรับปรุง



อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ No. 4
หลังปรับปรุง

รูปที่ 6.1-7 อุปกรณ์/ ระบบหลังปรับปรุง

5) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

ระยะเวลาดำเนินการ	0.5	เดือน
เงินลงทุน	ไม่มี	บาท
ผลประโยชน์ที่ได้	32,572	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	-	ปี

6) ข้อเสนอแนะ

ทำการตรวจสอบ Exhaust Duct อยู่เสมอเพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศร้อนย้อนกลับเข้าเครื่องอัดอากาศ

7) วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

เครื่องอัดอากาศแบบสกรู No.4

ขนาด	37	กิโลวัตต์
พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงมีโหลด (kW ₁)	44.7	กิโลวัตต์
พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงไม่มีโหลด (kW ₂)	20.5	กิโลวัตต์
อัตราการผลิตอากาศจากการตรวจวัด (qv1)	111	ลิตรต่อวินาที
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงมีโหลด	63	เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงไม่มีโหลด	37	เปอร์เซ็นต์
อุณหภูมิอากาศขาเข้าก่อนปรับปรุง (T1)	39.1	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศขาเข้าหลังปรับปรุง (T2)	35.8	องศาเซลเซียส
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาเข้าก่อนปรับปรุง (RH1)	43.8	เปอร์เซ็นต์
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาเข้าหลังปรับปรุง (RH2)	53.6	เปอร์เซ็นต์



ความดันอากาศอัดขาออก (p_2)	7.2	บาร์
ความดันอากาศเข้าสัมบูรณ์(p_1)	1.013	บาร์(a)
ความดันอากาศบรรยากาศ (Pa)	1	atm
ความดันไอน้ำของอากาศที่ 39 °C (p_{v1})	0.0700	บาร์(s)*
ความดันไอน้ำของอากาศที่ 35.8 °C (p_{v2})	0.0591	บาร์(s)*
(* จากตารางความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ ภาคผนวก ก.2)		
จำนวนชั่วโมงการทำงาน	23.56	ชั่วโมงต่อวัน
จำนวนวันทำงาน	300	วันต่อปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	2.94	บาทต่อหน่วย

หมายเหตุ : 23.56 ชั่วโมงต่อวัน 300 วัน/ปี เป็นชม.เฉลี่ยมาจาก 21 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี รวมกับ 16 ชั่วโมงต่อวัน 48 วันต่อปี

ก่อนปรับปรุง : เครื่องอัดอากาศแบบสกรู No. 4

ค่าความหนาแน่นของอากาศก่อนปรับปรุง = $p_1 \times 10^5 / R_{w1} \times T_1$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

R_{w1} = ค่าคงที่ของก๊าซที่อากาศเปียกที่อุณหภูมิอากาศ 39.1 องศาเซลเซียส

$$= 287.1 / 1 - [0.378 \times RH1 \times (p_{v1}/p_1)]$$

$$= 287.1 / 1 - [0.378 \times 0.447 \times (0.07/1.013)]$$

$$= 290.49 \quad \text{จุลต่อกิโลกรัมเคลวิน}$$

ค่าความหนาแน่นของอากาศ = $1.013 \times 10^5 / 290.49 \times (39.1 + 273.15)$

$$= 1.117 \quad \text{กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

อัตราการไหลเชิงมวลที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้

= (อัตราการผลิตอากาศจากการตรวจวัด/1000) x ความหนาแน่นของอากาศ

$$= (111 / 1,000) \times 1.117$$

$$= 0.124 \quad \text{กิโลกรัมต่อวินาที}$$

$$= 446.3 \quad \text{กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

หลังปรับปรุง : เครื่องอัดอากาศแบบสกรู No. 4

ค่าความหนาแน่นของอากาศหลังปรับปรุง = $p_1 \times 10^5 / R_{w2} \times T_2$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

R_{w2} = ค่าคงที่ของก๊าซที่อากาศเปียกที่อุณหภูมิอากาศ 35.8 องศาเซลเซียส

$$= 287.1 / 1 - [0.378 \times RH2 \times (p_{v2}/p_1)]$$

$$= 287.1 / 1 - [0.378 \times 0.536 \times (0.0591/1.013)]$$

$$= 290.53 \quad \text{จุลต่อกิโลกรัมเคลวิน}$$

ค่าความหนาแน่นของอากาศหลังปรับปรุง = $1.013 \times 10^5 / 290.53 \times (35.8 + 273.15)$

$$= 1.129 \quad \text{กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

อัตราการไหลเชิงมวลที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้หลังปรับปรุง

= (อัตราการผลิตอากาศจากการตรวจวัด/1000) x ความหนาแน่นของอากาศ กิโลกรัมต่อวินาที



$$\begin{aligned}
 &= (111 / 1000) \times 1.129 \\
 &= 0.1253 && \text{กิโลกรัมต่อวินาที} \\
 &= 450.98 && \text{กิโลกรัมต่อชั่วโมง} \\
 \text{อัตราการไหลเชิงมวลที่ได้เพิ่มขึ้น} &= 450.98 - 446.35 \\
 &= 4.63 && \text{กิโลกรัมต่อชั่วโมง} \\
 \text{เปอร์เซ็นต์อัตราการไหลของอากาศเชิงมวลที่ได้เพิ่มขึ้น} &= 4.63 \times 100 / 446.35 \\
 &= 1.04 && \text{เปอร์เซ็นต์} \\
 \text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้} &= \text{พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงมีโหลด} \times \text{เปอร์เซ็นต์การทำงาน} \\
 &\quad \text{ในช่วงมีโหลด} \times \text{เปอร์เซ็นต์อัตราการไหลอากาศเชิงมวลที่ได้เพิ่มขึ้น} \times \text{ชั่วโมงทำงานใน 1 ปี} \\
 &= 44.7 \times (63/100) \times (1.04/100) \times 23.56 \times 300 \\
 &= 2,070 && \text{หน่วยต่อปี} \\
 \text{คิดเป็นจำนวนที่ประหยัดได้} &= 2,070 \times 2.94 \\
 &= 6,086 && \text{บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

เครื่องอัดอากาศแบบสกรู No.5

ขนาด	37	กิโลวัตต์
พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงมีโหลด (kW ₁)	43.8	กิโลวัตต์
อัตราการผลิตอากาศจากการตรวจวัด (qv ₁)	115	ลิตรต่อวินาที
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงมีโหลด	100	เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงไม่มีโหลด	0	เปอร์เซ็นต์
อุณหภูมิอากาศขาเข้าก่อนปรับปรุง (T ₁)	45.6	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศขาเข้าหลังปรับปรุง (T ₂)	36.6	องศาเซลเซียส
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาเข้าก่อนปรับปรุง (RH ₁)	31.3	เปอร์เซ็นต์
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาเข้าหลังปรับปรุง (RH ₂)	50.4	เปอร์เซ็นต์
ความดันอากาศอัดขาออก (p ₂)	7.2	บาร์
ความดันอากาศขาเข้าสัมบูรณ์ (p ₁)	1.013	บาร์(a)
ความดันอากาศบรรยากาศ (P _a)	1	atm
ความดันไอน้ำของอากาศที่ 45.6 °C (p _{v1})	0.0989	บาร์(s)
ความดันไอน้ำของอากาศที่ 36.6 °C (p _{v2})	0.0615	บาร์(s)
ตามตารางความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ ภาคผนวก ก.2		
จำนวนชั่วโมงการทำงาน	23.56	ชั่วโมงต่อวัน
จำนวนวันทำงาน	300	วันต่อปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	2.94	บาทต่อหน่วย

หมายเหตุ : 23.56 ชั่วโมงต่อวัน 300 วัน/ปี เป็นชม.เฉลี่ยมาจาก 21 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี รวมกับ 16 ชั่วโมงต่อวัน 48 วันต่อปี



ก่อนปรับปรุง : เครื่องอัดอากาศแบบสกรู No.5

$$\text{ค่าความหนาแน่นของอากาศก่อนปรับปรุง} = p_1 \times 10^5 / R_{w1} \times T_1 \quad \text{กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$R_{w1} = \text{ค่าคงที่ของก๊าซที่อากาศเปียกที่อุณหภูมิอากาศ 45.6 องศาเซลเซียส}$$

$$= 287.1 / 1 - [0.378 \times RH_1 \times (p_v/p_1)]$$

$$= 287.1 / 1 - [0.378 \times 0.313 \times (0.0989/1.013)]$$

$$= 290.46 \quad \text{จูลต่อกิโลกรัมเคลวิน}$$

$$\text{ค่าความหนาแน่นของอากาศ} = 1.013 \times 10^5 / 290.46 \times (45.6 + 273.15)$$

$$= 1.094 \quad \text{กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

อัตราการไหลเชิงมวลที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้

$$= (\text{อัตราการผลิตอากาศจากการตรวจวัด}/1000) \times \text{ความหนาแน่นของอากาศ}$$

$$= (115/1000) \times 1.094$$

$$= 0.1258 \quad \text{กิโลกรัมต่อวินาที}$$

$$= 452.97 \quad \text{กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

หลังปรับปรุง : เครื่องอัดอากาศแบบสกรู No. 5

$$\text{ค่าความหนาแน่นของอากาศหลังปรับปรุง} = p_1 \times 10^5 / R_{w2} \times T_2 \quad \text{กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$R_{w2} = \text{ค่าคงที่ของก๊าซที่อากาศเปียกที่อุณหภูมิอากาศ 36.6 องศาเซลเซียส}$$

$$= 287.1 / 1 - [0.378 \times RH_2 \times (p_v/p_1)]$$

$$= 287.1 / 1 - [0.378 \times 0.504 \times (0.0615/1.013)]$$

$$= 290.45 \quad \text{จูลต่อกิโลกรัมเคลวิน}$$

$$\text{ค่าความหนาแน่นของอากาศหลังปรับปรุง} = 1.013 \times 10^5 / 290.45 \times (36.6 + 273.15)$$

$$= 1.1296 \quad \text{กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

อัตราการไหลเชิงมวลที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้หลังปรับปรุง

$$= (\text{อัตราการผลิตอากาศจากการตรวจวัด}/1000) \times \text{ความหนาแน่นของอากาศ}$$

$$= (115/1000) \times 1.126$$

$$= 0.1295 \quad \text{กิโลกรัมต่อวินาที}$$

$$= 466.16 \quad \text{กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

$$\text{อัตราการไหลเชิงมวลที่ได้เพิ่มขึ้น} = 466.16 - 452.97$$

$$= 13.19 \quad \text{กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์อัตราการไหลของอากาศเชิงมวลที่ได้เพิ่มขึ้น} = 13.19 \times 100 / 452.97$$

$$= 2.91 \quad \text{เปอร์เซ็นต์}$$

$$\begin{aligned} \text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้} &= \text{พลังไฟฟ้าวัดได้ในช่วงมีโหลด} \times \text{เปอร์เซ็นต์การทำงาน} \\ &\quad \text{ในช่วงมีโหลด} \times \text{เปอร์เซ็นต์อัตราการไหลอากาศเชิงมวลที่} \\ &\quad \text{ได้เพิ่มขึ้น} \times \text{ชั่วโมงทำงานใน 1 ปี} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= 43.8 \times (100/100) \times (2.91/100) \times 23.56 \times 300 \\
 &= 9,009 \quad \text{หน่วยต่อปี} \\
 \text{คิดเป็นจำนวนที่ประหยัดได้} &= 9,009 \times 2.94 \\
 &= 26,486 \quad \text{บาทต่อปี} \\
 \text{รวมพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ทั้งหมด} &= \text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากเครื่อง No.4} + \\
 &\quad \text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากเครื่อง No.5} \\
 &= 2,070 + 9,009 \\
 &= 11,079 \quad \text{หน่วยต่อปี} \\
 \text{คิดเป็นจำนวนที่ประหยัดได้} &= 11,079 \text{ หน่วยต่อปี} \times 2.94 \text{ บาทต่อหน่วย} \\
 &= 32,572 \quad \text{บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$



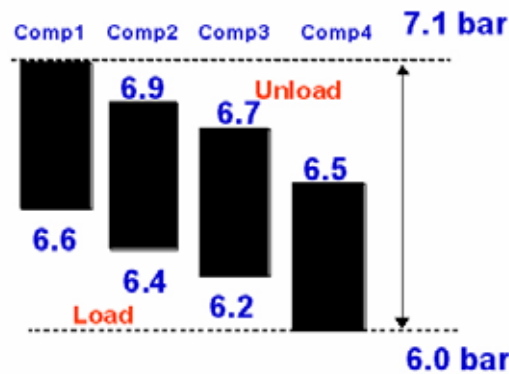
6.1.3 การจัดการใช้เครื่องอัดอากาศให้เหมาะสม

สำหรับการประหยัดพลังงานในการจัดการนี้ ต้องมีเครื่องอัดอากาศมากกว่าสองชุดที่ต่ออยู่ในระบบเดียวกัน การจัดการก็คือการวางแผนการใช้งานเครื่องอัดอากาศ การวางแผนความหมายจะรวมไปถึงการเลือกเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพเป็นตัวหลักในการผลิตอากาศอัดส่วนตัวที่มีประสิทธิภาพต่อยกว่าก็ไว้เป็นตัวเสริมภาระ การจัดการเครื่องอัดอากาศจะต้องประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

- ควรจะต้องให้เครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่ (มีกำลังการผลิตมากกว่า) เป็นตัวหลักในการผลิตอากาศอัด ส่วนเครื่องอัดอากาศขนาดรองลงมาก็ให้เป็นตัวเสริมภาระ
- เลือกเดินเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเป็นตัวหลัก เพราะเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพดีย่อมใช้พลังงานน้อยกว่าเสมอ
- ใช้เครื่องควบคุมอัตโนมัติควบคุมการทำงานให้เกิดความแม่นยำในการจัดการภาระ
- ควรทราบปริมาณอากาศอัดในแต่ละช่วงเวลาเพื่อวางแผนการเดินเครื่องอัดอากาศ เช่น โรงงานเดินเครื่อง 24 ชั่วโมง/วัน ในช่วงเวลากลางคืนความต้องการปริมาณอากาศอาจลดลงซึ่งจะช่วยให้การวางแผนการเดินเครื่องอัดอากาศในช่วงเวลากลางคืนได้เหมาะสม



ตัวอย่าง การจัดการเครื่องอัดอากาศโดยการตั้งค่าความดันตัด-ต่อ

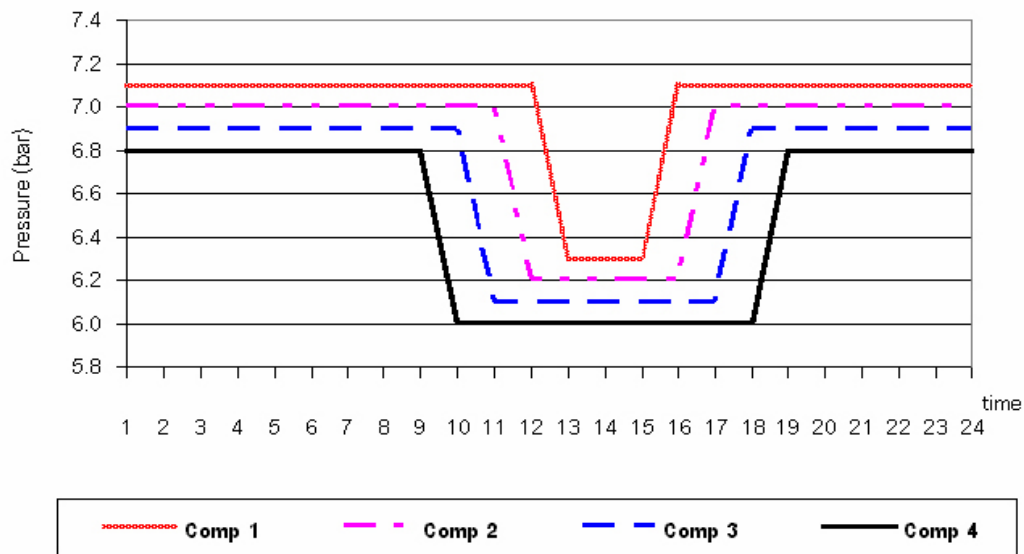


รูปที่ 6.1-8 การปรับตั้งความดันตัด-ต่อ

จากรูปที่ 6.1-8 กรณีที่โรงงานมีเครื่องอัดอากาศ 4 ชุดต่ออยู่ในระบบเดียวกัน เครื่องอัดอากาศ Comp1 - Comp3 จะมีขนาดเท่ากัน ส่วนเครื่องอัดอากาศ Comp4 จะมีขนาดเล็กกว่าตัวอื่นๆ ซึ่งจะเป็นตัวเสริมภาระ จะเห็นได้ว่าการปรับตั้งความดันในการทำงานของเครื่องอัดอากาศจะเป็นลักษณะตัวต่อตัว และช่วงการตัดต่อของเครื่องอัดอากาศจะกว้าง (ช่วงความดันจะกว้าง) ประกอบกับการปรับตั้งความดันเป็นลักษณะของการจำกัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ไม่มีการลำดับการทำงาน จากรูปเครื่องอัดอากาศ Comp1 ต้องทำงานตลอดส่วนเครื่องอัดอากาศลำดับอื่นๆ ก็เช่นกัน หากเป็นเช่นนี้ในบางช่วงเวลาที่มีความต้องการปริมาณอากาศอัดลดลง สมมติที่ประมาณร้อยละ 70 ของกำลังการผลิต Comp1 – Comp3 ทางโรงงานก็จะต้องสูญเสียพลังงานในส่วนของ Comp3 ที่มีสถานะ Unload มากขึ้น แต่หากจัดการหรือควบคุมได้ดีขึ้น อาจเลือกเอา Comp4 มาทำงานแทน Comp3 ก็จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ เนื่องจาก Comp4 มีขนาดเล็กกว่าตัวอื่นๆ เมื่อช่วง Unload ย่อมใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าตัวอื่นๆ ตามไปด้วย

อย่างไรก็ตาม การปรับตั้งค่าความดันตัดต่อแบบนี้ก็มีความเหมาะสมอยู่บ้าง หากเครื่องอัดอากาศในระบบมีหลากหลายยี่ห้อรวมกัน ซึ่งมันก็เป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยาก สำหรับโรงงานบางแห่งที่มีเครื่องอัดอากาศต่อรวมอยู่ในระบบ แต่ติดตั้งแยกตามพื้นที่ ทุกๆ พื้นที่ก็จะปรับตั้งความดันตัดต่อภาระเท่ากัน มองกลับไปก็จะเห็นว่าเครื่องอัดอากาศทำงาน Load พร้อมกันแล้วก็ Unload พร้อมกัน ซึ่งมันก็นับว่าแย่ที่สุด เพราะการ Unload เมื่อใดนั้นก็หมายความว่ากำลังสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ และที่โชคร้ายตามมาอีกก็คือ เครื่องอัดอากาศซื้อเพิ่มเติมทีหลัง ขนาดมักจะใหญ่เพิ่มชิ้นการทำงานก็มักเป็นแบบ Load/Unload เพราะอุปกรณ์ควบคุมยังเที่ยงตรงกว่าตัวอื่นๆ ส่วนเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กจะเป็นตัวหลักในการผลิตอากาศอัดบางแห่ง พบว่าเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่ในช่วงไม่มีโหลดใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กที่ทำงานในช่วง Load ที่ต่ออยู่ในระบบเดียวกัน ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานอย่างที่ไม่ควรจะเสีย

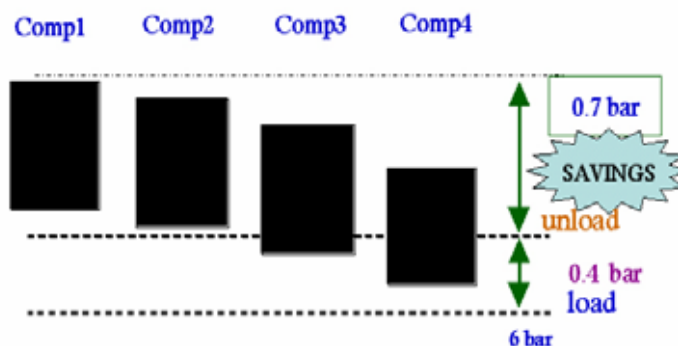




รูปที่ 6.1-9 กราฟแสดงการปรับตั้งความดันตามแกนเวลา

ควรสำรวจการทำงานของเครื่องอัดอากาศในโรงงานดูว่ามีลักษณะเช่นนี้หรือไม่เพื่อจะได้ทำการแก้ไขเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งผู้อ่านสามารถทำให้เกิดความเข้าใจยิ่งขึ้นสำหรับการปรับค่าความดันในการตัดต่อภาระโดยดูจากรูปกราฟ Timing Line

จากรูปที่ 6.1-9 จะกำหนดให้เครื่องอัดอากาศ Comp1 ถึง Comp3 เป็นตัวหลัก ส่วนเครื่องอัดอากาศ Comp4 จะเป็นตัวเสริมภาระ จากรูปกราฟ เครื่องอัดอากาศ Comp1 จะต้องต่อภาระก่อนตัวอื่น และเครื่องอัดอากาศ Comp2, Comp3 และ Comp4 จะต่อภาระตามลำดับต่อมา หากในระบบมีความต้องการปริมาณอากาศลดลง เครื่องอัดอากาศ Comp4 จะต้องตัดภาระก่อนแล้วไล่ลำดับย้อนลงมาสรุปได้ว่า เครื่องอัดอากาศตัวหลักจะตัดภาระหลังตัวอื่น แต่จะต้องต่อภาระก่อนตัวอื่น (ตัดทีหลัง ต่อก่อน) ส่วนเครื่องอัดอากาศตัวเสริมภาระจะต้องตัดภาระก่อน แต่ต้องต่อทีหลัง (ตัดก่อน ต่อทีหลัง)



รูปที่ 6.1-10 การปรับตั้งความดันตัดต่อโดยใช้ชุดควบคุมอัตโนมัติ



รูปที่ 6.1-10 นี้การจัดการเครื่องอัดอากาศโดยใช้ชุดควบคุมแบบอัตโนมัติ การจัดการแบบนี้จะช่วยควบคุมช่วงความกว้างของความดันได้ละเอียดมากขึ้น จะเห็นได้ว่า หากใช้ชุดควบคุมแบบนี้แล้ว สามารถที่จะลดความดันในการผลิตอากาศลงได้ประมาณ 0.7 บาร์ เทียบกับรูปที่ 6.1-9 ระบบนี้ค่อนข้างสมบูรณ์ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่เหมือนกัน เช่น ระบบการผลิตอากาศจะต้องเป็นเครื่องรุ่นเดียวกัน หรือยี่ห้อเดียวกัน ซึ่งไม่ค่อยเหมาะสมกับอุตสาหกรรมที่กำลังขยายการผลิต แต่ถ้าหากเป็นการขยายโรงงานใหม่แล้วการนำระบบนี้เข้าไปใช้จะประหยัดได้ค่อนข้างสูง และสามารถควบคุมได้เกือบทั้งหมด อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของระบบดังกล่าวก็คือว่ามีราคาค่อนข้างสูงเพราะต้องใช้กับยี่ห้อใดยี่ห้อหนึ่งเท่านั้น ปัจจุบันมีบริษัทที่คิดค้นระบบการจัดการเครื่องอัดอากาศได้ทุกยี่ห้อและทุกระบบโดยสามารถควบคุมได้ร่วมกันได้โดยไม่มีเงื่อนไขและไม่มีผลกระทบต่อเครื่องอัดอากาศซึ่งเป็นที่น่าสนใจกับกลุ่มอุตสาหกรรมในประเทศอย่างมาก

ตัวอย่างที่ 6.1-3 การลดจำนวนการใช้เครื่องอัดอากาศให้เหมาะสม

ทำการปรับปรุงโดยการนำระบบอากาศอัดที่ต่ออยู่มารวมกันจ่ายภาระเป็นแบบ Center และต่อท่อกลุ่มที่ใช้ความดัน 9 และ 6 บาร์ เข้าด้วยกัน โดยใช้วาล์วลดความดันอากาศอัด เนื่องจากสัดส่วนการทำงานของแต่ละระบบไม่เหมาะสมเป็นสัดส่วนประมาณ 60:40 แต่ภายหลังการปรับปรุงแล้ว เปอร์เซ็นต์การเดินภาระดีขึ้นเป็น 75:25 ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 1,453,267 หน่วยต่อเดือน หรือมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 17,439,200 หน่วยต่อปี สายการผลิตทำงานตลอด 24 ชั่วโมงต่อวันและ 344 วันต่อปี โดยสาเหตุการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงก็เนื่องจากโรงงานมีการใช้เครื่องอัดอากาศ ขนาด 255 กิโลวัตต์ จำนวน 1 เครื่อง ผลิตความดันอากาศอัดที่ 9 บาร์ และขนาด 110 กิโลวัตต์ จำนวน 1 เครื่อง ใช้ในสายผลิต Extrusion เพื่อใช้ในการผลิตเส้นใย ซึ่งมีความต้องการอากาศอัดที่ใช้ความดัน 6 บาร์

จากการตรวจสอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศทั้ง 2 เครื่อง พบว่า สัดส่วนการตัดต่อยังไม่เหมาะสม โรงงานควรทำการลดการใช้เครื่องอัดอากาศขนาด 110 กิโลวัตต์มาต่อการใช้ร่วมกับเครื่องขนาด 255 กิโลวัตต์ เพียงตัวเดียว แล้วใช้วาล์วปรับความดันอากาศอัดให้เหมาะสมกับความต้องการการใช้งานจริง เนื่องจากเครื่องอัดอากาศขนาด 255 กิโลวัตต์ เดิมมีการเปิดและตัดการทำงานในสัดส่วน 60:40 ซึ่งพิจารณาแล้วควรที่จะทำงานที่สัดส่วน 75:25 ซึ่งการเดินแบบเดิมจะสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็นในขณะที่เครื่องตัดการทำงาน

2) ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากสัดส่วนการทำงานดังกล่าวที่ 60:40 นั้น การที่เครื่องอัดอากาศมีการตัดภาระนั้นหมายความว่าไม่มีการผลิตอากาศอัดออกมา แต่เครื่องอัดอากาศยังใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่เหมือนเดิม ประมาณร้อยละ 30 ของพิกัดการใช้งานจริงในการเดินภาระ ดังนั้นหากจัดการและให้เครื่องอัดอากาศทำงานเต็ม



ประสิทธิภาพมากเท่าใด ก็จะเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากเท่านั้น ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์เดินภาระไม่ควรเกินร้อยละ 85 เพราะจะทำให้เครื่องอัดอากาศทำงานหนักเกินไป ซึ่งจากผลการพิจารณาแล้วควรที่จะทำงานที่สัดส่วน 75:25 ซึ่งการเดินแบบเดิมจะสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็นในขณะที่เครื่องตัดการทำงาน เมื่อโรงงานได้ทำการหยุดการใช้เครื่องอัดอากาศขนาด 110 กิโลวัตต์ แล้วจะช่วยให้เครื่องอัดอากาศขนาด 255 กิโลวัตต์ ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้นเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบอากาศอัดได้มากขึ้น



เครื่องอัดอากาศขนาด 255 กิโลวัตต์



เครื่องอัดอากาศขนาด 110 กิโลวัตต์

รูปที่ 6.1-11 ระบบอากาศอัดก่อนการปรับปรุง

ซึ่งการทำงานของเครื่องอัดอากาศทั้งสองนี้ จะแยกส่วนกันเป็นอิสระแต่ภาระเครื่องอัดอากาศนั้นมีน้อย ไม่เต็มประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศทั้งสอง ประกอบกับ ความดันอากาศอัดที่ใช้ไม่แตกต่างกันมาก สามารถนำมารวมภาระทั้งสองเข้าด้วยกันแล้วใช้เครื่องตัวใหญ่เดินเพียงตัวเดียวก็เพียงพอ

3) แนวคิดและขั้นตอนดำเนินการ

โรงงานได้ทำการเชื่อมระบบอากาศอัดเข้าด้วยกันและเดินเครื่องอัดอากาศขนาด 255 กิโลวัตต์ เพียงตัวเดียว แทนการใช้เครื่องอัดอากาศขนาด 110 กิโลวัตต์ และปรับระดับความดันให้เหมาะสมกับความต้องการในแต่ละจุดการใช้งาน

4) สภาพหลังการปรับปรุง

หลังจากปรับปรุง มีการเปิดและตัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศในสัดส่วน 75:25 (ค่าเฉลี่ย) ใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน และ 344 วันต่อปี

5) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

คิดเป็นพลังงานที่ลดลงรวม	578,415	หน่วยต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดที่ได้	1,446,038	บาทต่อปี
เงินลงทุน	-	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	-	ปี



6) ข้อเสนอแนะ

ควรติดตามการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยการตรวจวัดเปอร์เซ็นต์การเดินภาระ และคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เทียบก่อนการปรับปรุง พร้อมกำหนดให้มีผู้รับผิดชอบในพื้นที่ที่ใช้งานอยู่นั้นเป็นผู้ที่ตรวจสอบ และหาแนวทางการปรับปรุงเพิ่มเติม กำหนดแผนในการดำเนินการโดยขอความร่วมมือกับทุกฝ่าย เพื่อนำมาเป็นฐานข้อมูลการผลิต และวางแผนการอนุรักษ์พลังงานด้วย

7) วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ก่อนปรับปรุง

ข้อมูลจากการตรวจวัดเครื่องจักรมีการทำงานก่อนการปรับปรุง มีการเปิดและตัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศในสัดส่วน 60:40 (เป็นการคิดค่าเฉลี่ย) ถูกใช้งาน 24 ชั่วโมง/วัน หรือ 344 วันต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศขนาด	=	255	กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าในช่วง Load	=	$255 \times 24 \times 0.6 \times 344$	
	=	1,263,168	หน่วยต่อปี
พลังงานไฟฟ้าในช่วง Unload	=	$255 \times 0.6 \times 0.4 \times 24 \times 344$	
	=	505,267.20	หน่วยต่อปี
รวมพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศทั้งสิ้น	=	1,768,435.20	หน่วยต่อปี

หลังปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศขนาด	=	255	กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าในช่วง Load	=	$255 \times 24 \times 0.75 \times 344$	
	=	1,578,960	หน่วยต่อปี
พลังงานไฟฟ้าในช่วง Unload	=	$255 \times 0.6 \times 0.25 \times 24 \times 344$	
	=	315,792	หน่วยต่อปี
รวมพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศทั้งสิ้น	=	1,894,752	หน่วยต่อปี
ดังนั้นผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องอัดอากาศขนาด 255 กิโลวัตต์			
	=	$1,894,752 - 1,768,435.20$	
	=	126,319.80	หน่วยต่อปี

ข้อมูลจากการลดการใช้เครื่องอัดอากาศขนาด 110 กิโลวัตต์ ซึ่งเดิมมีการเปิดและตัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศในสัดส่วน 44:56 (เป็นการคิดค่าเฉลี่ย) ถูกใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน และ 344 วันต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศขนาด	=	110	กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าในช่วง Load	=	$110 \times 24 \times 0.44 \times 344$	
	=	399,590.40	หน่วยต่อปี
พลังงานไฟฟ้าในช่วง Unload	=	$110 \times 0.6 \times 0.56 \times 24 \times 344$	
	=	305,141.76	หน่วยต่อปี
รวมพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศทั้งสิ้น	=	704,732.16	หน่วยต่อปี



ผลประหยัด

เมื่อหยุดการใช้เครื่องอัดอากาศขนาด 110 กิโลวัตต์ และใช้เครื่องขนาด 255 กิโลวัตต์ เครื่องเดียว

$$= 704,732.16 - 126,319.8$$

$$= 578,415 \quad \text{หน่วยต่อปี}$$

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้

$$= 578,415 \times 2.50$$

$$= 1,446,038 \quad \text{บาทต่อปี}$$



6.1.4 การใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (VSD) เครื่องอัดอากาศ

โดยปกติแล้วการทำงานของเครื่องอัดอากาศจะมี 2 สภาวะคือ Load และ Unload ช่วงที่ Load คือ ช่วงเวลาที่ใช้พลังงานเต็มพิกัดตามสเปคเครื่อง ซึ่งสภาวะไร้ภาระมอเตอร์เครื่องอัดอากาศจะไม่ผลิตอากาศอัดออกมา แต่มอเตอร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณร้อยละ 25-35 ของพิกัดมอเตอร์ในการหมุนตัวเปล่า ดังนั้นจึงมีการนำอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศ (Variable Speed Drive on Air Compressor) มาควบคุม เพื่อลดการใช้พลังงานในการผลิตอากาศของเครื่องอัดอากาศ (นิยมใช้กับเครื่องอัดอากาศสกรู)

ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศจะถูกต่อเข้ากับตัววัด (Sensor) เพื่อวัดความดันในระบบ ถ้าความดันลดลงต่ำกว่าระดับที่กำหนด เครื่องควบคุมความเร็วรอบจะเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศ ในทางกลับกันความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศจะถูกลดลง เมื่อความดันเพิ่มถึงระดับที่กำหนด ทำให้สามารถให้ผลการประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 10-30 นอกจากนี้การติดตั้ง VSD ยังช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการ Load และช่วยลดค่า Peak ขณะเปิดเครื่องด้วย ด้วยนี้เครื่องอัดอากาศรุ่นใหม่ ๆ มีระบบนี้ติดตั้งมาด้วยแล้ว



รูปที่ 6.1-12 การติดตั้ง VSD ควบคุมความเร็วรอบเครื่องอัดอากาศ



ความเหมาะสมในการใช้ตัวควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เครื่องอัดอากาศ ควรพิจารณาหัวข้อหลักๆ ดังนี้

- ค่าใช้จ่ายในการลงทุน
- พลังงานที่สามารถประหยัดได้
- ควรจะติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบไว้ที่เครื่องอัดอากาศตัวเสริมภาระเท่านั้น เพราะตัวเดินภาระหลักไม่มีโอกาสทำงานในลักษณะไ้ภาระ
- ควรจะเป็นเครื่องอัดอากาศที่ทำงานในลักษณะภาระและไ้ภาระ (Load – Unload)
- ต้องมีเปอร์เซ็นต์ภาระอยู่ในช่วงร้อยละ 30 – 75 และค่าเฉลี่ยของการผลิตสะสม (Accumulated Production: AP) 10 – 60 วินาที
- ชั่วโมงการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ถ้าค่า %RO ต่ำ ชั่วโมงทำงานก็น้อย ถ้าช่วง %RO สูง ชั่วโมงทำงานก็ต้องมากหน่อย การลงทุนติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบถึงจะคุ้มทุน

$$\text{Output สัมพัทธ์ (\%RO)} = \left(\frac{\text{Load}}{\text{Load} + \text{Unload}} \right) \times 100\% \quad (6.1-3)$$

* การผลิตสะสม คือ ช่วงของการใช้อากาศอัดที่ทำให้ความดันอากาศลดลงจากระดับปลดภาระหรือตัดโหลด (Cut out pressure) ไปสู่ระดับมีภาระ หรือต่อโหลด (Cut in pressure) โดยปกติผู้ผลิตจะแนะนำอยู่ในช่วง 15 วินาที

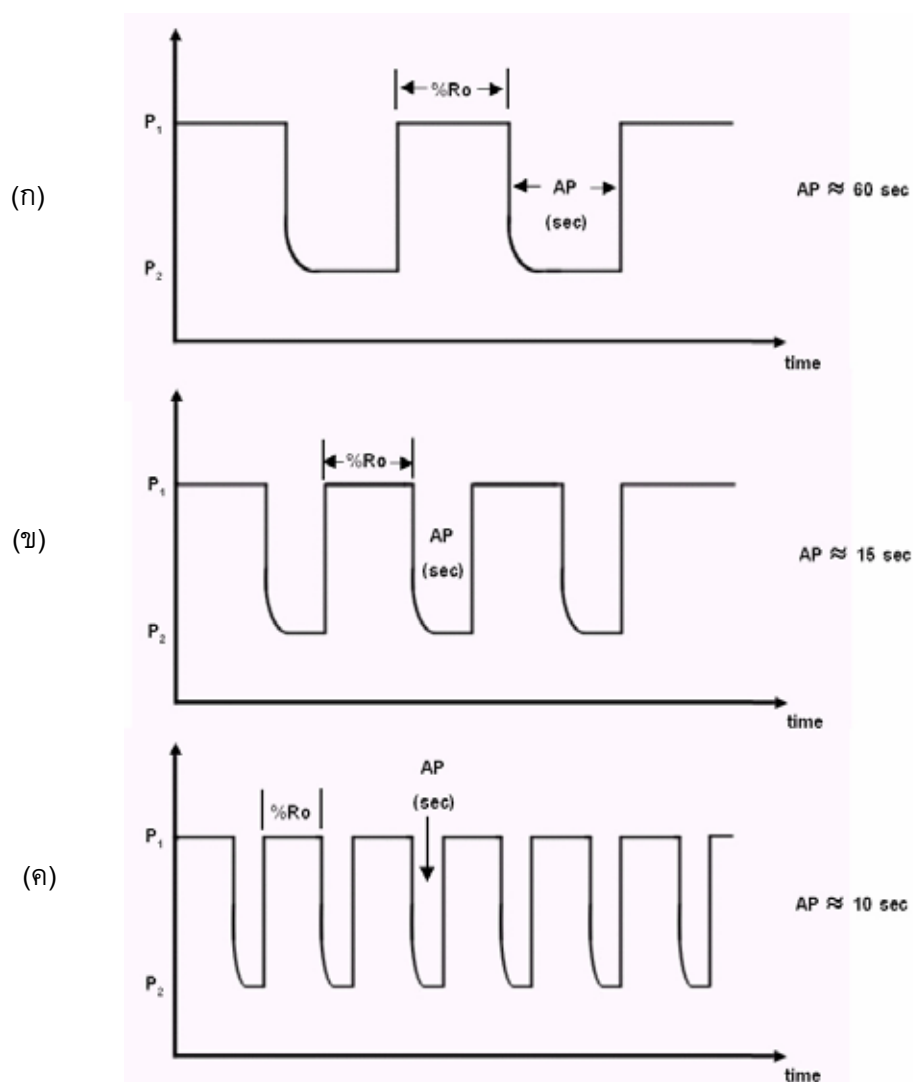
จากรูปที่ 6.1-13 ก. เครื่องอัดอากาศทำงานภาระเป็นเวลานาน และก็ทำงานในช่วงไ้ภาระเป็นเวลานานเช่นกัน ถ้าเป็นในลักษณะนี้ไม่เหมาะสมในการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ เพราะไม่คุ้มต่อการลงทุน ทางโรงงานควรพิจารณาติดตั้งเครื่องอัดอากาศตัวเล็กแทนจะดีกว่า และทำการลดความดันลงด้วยจากกราฟคาดว่าจะช่วงความดันตัดต่อภาระไ้สูง และเครื่องอัดอากาศมีขนาดใหญ่กว่าความต้องการ

จากรูปที่ 6.1-13 ข. เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วงเปอร์เซ็นต์ภาระ (ร้อยละ 30 - 75) ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบกล่าวคือเครื่องอัดอากาศมีช่วงที่จะประหยัดพลังงานในช่วงไ้ภาระซึ่งจะประหยัดพลังงานได้ และสามารถคืนทุนในการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ

จากรูปที่ 6.1-13 ค. เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วงภาระมากกว่าช่วงไ้ภาระ มีเปอร์เซ็นต์ช่วงภาระมากกว่าร้อยละ 75 ซึ่งการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบก็จะไม่เหมาะสม เพราะเครื่องอัดอากาศเข้าใกล้สภาวะ Onload เครื่องควบคุมความเร็วรอบก็จะช่วยประหยัดได้น้อย และทราบได้ที่เครื่องอัดทำงานที่ Onload เครื่องควบคุมความเร็วรอบก็จะ Unload โดยตรง ส่งผลทำให้ไม่เกิดการประหยัด การลงทุนในการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบก็ไม่คืนทุนหรือใช้เวลานาน

สำหรับการใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบพอจะสรุปได้เพียงเท่านี้ การจะติดตั้งจริงแล้วทางโรงงานจะต้องมีการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องอัดอากาศให้ละเอียด มิฉะนั้นการติดตั้ง เครื่องควบคุมความเร็วรอบอาจจะหาจุดคุ้มทุนไม่ได้ นั่นก็คือเกิดการประหยัดขึ้นจริงแต่ได้น้อยมาก ราคาของเครื่องควบคุมความเร็วรอบค่อนข้างสูง





รูปที่ 6.1-13 การทำงานของเครื่องอัดอากาศในลักษณะต่าง ๆ

ตัวอย่างที่ 6.1-4 การติดตั้ง VSD ควบคุมเครื่องอัดอากาศ

โรงงานอุตสาหกรรมเท็กสไทล์แห่งหนึ่ง ติดตั้งเครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 22 กิโลวัตต์ การทำงานของเครื่องจักรเป็นแบบ Load/Unload ผลิตความดันอากาศอัดที่ความดัน 6 บาร์

ก่อนปรับปรุง

- เครื่องอัดอากาศทำงาน Load ใช้กำลังไฟฟ้า	=	18.61	กิโลวัตต์
- เครื่องอัดอากาศทำงาน Unload ใช้กำลังไฟฟ้า	=	9.89	กิโลวัตต์
- %RO	=	65	เปอร์เซ็นต์
- ค่าการผลิตสะสม (AP) (5 ช่อง x 1.2 = 60 วินาที)	=	60	วินาที
- ชั่วโมงทำงานใน 1 ปี 24 x 300	=	7,200	ชั่วโมงต่อปี



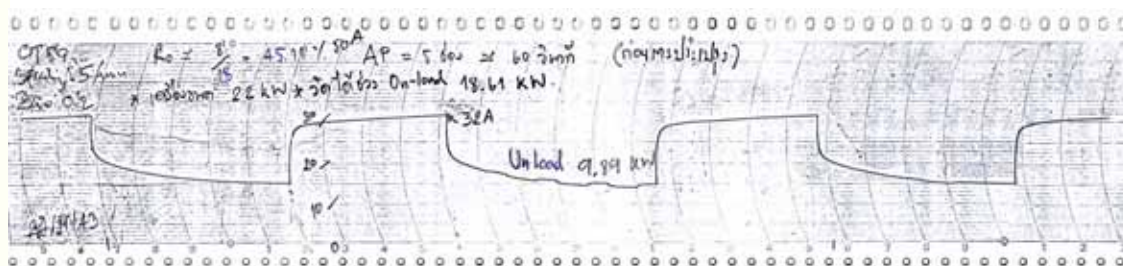
เมื่อได้ค่า %RO และได้ค่า AP ในสภาวะปัจจุบันแล้วนำมาคำนวณผลประหยัดพลังงานโดยใช้ตารางที่ 6.1-3

ตารางที่ 6.1-1 ปริมาณการใช้พลังงานสัมพัทธ์ในการทำงานแบบต่าง ๆ

ปริมาณการใช้พลังงานสัมพัทธ์ในการทำงานแบบต่าง ๆ						
	ค่าคงที่ในการจำลอง : Load ร้อยละ 13			กำลังที่ปลดภาระ : Unload ร้อยละ 20		
Output สัมพัทธ์	15	30	45	60	75	90
มีภาระ/ปลดภาระ AP = 10 วินาที	52	67	77	85	91	97
มีภาระ/ปลดภาระ AP = 15 วินาที	48	63	74	83	90	96
มีภาระ/ปลดภาระ AP = 60 วินาที	38	52	64	75	85	94
การทำงานแบบ Modulating	63	67	74	82	90	97
ไม่ใช้น้ำมันมีภาระ/ปลดภาระ > 4 บาร์	32	44	56	68	80	92
VSD เครื่องอัดอากาศที่ใช้น้ำมันหล่อลื่น	28	38	48	63	78	93
VSD ภายใน	18	33	48	63	78	93
VSD เครื่องอัดอากาศที่ไม่ใช้น้ำมัน	18	33	48	63	78	93

$$\begin{aligned}
 \text{ผลประหยัด} &= (P \text{ สัมพัทธ์ก่อน} - P \text{ สัมพัทธ์หลัง}) \times \text{ชั่วโมงทำงาน} \times \text{พิกัดเครื่องอัดอากาศ} \\
 &= (0.64 - 0.48) \times 7,200 \times 22 \\
 &= 25,344 \quad \text{หน่วยต่อปี} \\
 \text{คิดเป็นเงิน} &= 25,344 \times 2.5 \quad \text{บาทต่อปี} \\
 &= 63,360 \quad \text{บาทต่อปี} \\
 \text{ลงทุนติดตั้งรวมเป็นเงิน} &93,500 \text{ บาท สามารถคืนทุนได้ 1.48 ปี}
 \end{aligned}$$





รูปที่ 6.1-14 กราฟแสดงก่อนการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ



รูปที่ 6.1-15 กราฟแสดงหลังการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ



6.1.5 การเลือกเดินเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงแทนเครื่องประสิทธิภาพต่ำ

ในกรณีที่โรงงานมีการใช้เครื่องอัดอากาศหลายเครื่อง มีการสลับหมุนเวียนการใช้งาน หรือมีเครื่องสำรองไว้ (Stand by) แนวทางการเลือกเดินเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงแทนเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพต่ำ ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่ดี แต่การที่ทราบว่าเครื่องใดมีประสิทธิภาพสูงนั้น ก็ต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพเสียก่อน

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ

เทคนิคการทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศอย่างง่ายสามารถทำได้โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือมากมายนัก สิ่งจำเป็นในการทดสอบมีดังนี้

- ขนาดถังเก็บอากาศอัด, (ลิตร)
- มาตรวัดความดันอากาศอัด
- นาฬิกาจับเวลา
- ขนาดกำลังการผลิตของเครื่อง, ลิตร/วินาที (ที่ความดันกำหนดไว้)
- ขนาดของท่อหลักจากเครื่องเข้าถังเก็บอากาศอัด, (ลิตร)



- เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า (Clip on powermeter) หรือถ้าไม่มีใช้ Clip Volt/Ampmeter

โดยการคำนวณนั้นจะอาศัยสมการก๊าซ ดังนี้

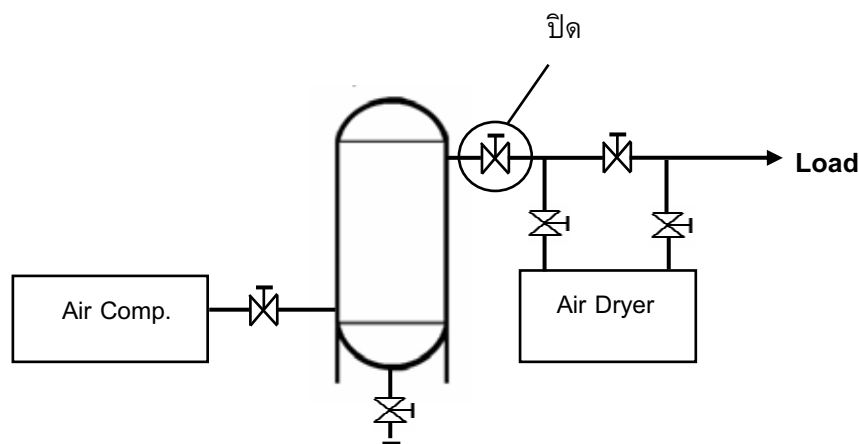
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

(6.1-4)

- โดยที่
- P_1 ความดันอากาศขาเข้าสัมบูรณ์ = 1.013 บาร์(a)
 - P_2 ความดันพิกัดของเครื่องอัดอากาศ ซึ่งโดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 7 บาร์
 - V_1 ปริมาตรอากาศอิสระ (FAD), ลูกบาศก์เมตร
 - V_2 ปริมาตรอากาศอัด, ลูกบาศก์เมตร
 - $T_1 = T_2$ อุณหภูมิอากาศอัด (อัดอากาศเข้าถังคิตที่อุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง)

ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศกระทำดังต่อไปนี้

- 1) ให้ทำการหาขนาดความจุของถังเก็บอากาศอัด และความจุที่ออกจากเครื่องอัดอากาศถึงถังเก็บ (ระยะไม่ควรไกลมากนัก)
- 2) ปรับตั้งความดันที่จะทำการทดสอบ ให้ตรงตามพิกัดเครื่อง เช่น ขนาดพิกัดเครื่องสามารถผลิตอากาศอัดได้ 200 ลิตรต่อวินาที ที่ความดันอากาศอัด 7 บาร์
- 3) เปิดวาล์วถังเก็บอากาศอัดปล่อยให้อากาศอัดหมดถึงแล้วทำการปิดวาล์วด้านจ่ายภาระไว้ดังเดิม
- 4) ปิดวาล์วด้านจ่ายภาระให้สนิทแล้วทำการเริ่มเดินเครื่องอัดอากาศจับเวลาจนเครื่องอัดอากาศตัดภาระที่ความดันตั้งไว้บันทึกค่าเวลาไว้ พร้อมกับวัดค่าทางไฟฟ้า
- 5) ให้ทำการเปิดวาล์วปล่อยอากาศอัดให้หมดถึง แล้วทำการทดสอบ 3-5 ครั้ง เพื่อความแม่นยำ
- 6) หาค่าเฉลี่ยเวลาเพื่อใช้ในการคำนวณ



ตัวอย่างที่ 6.1-5 การหาค่าประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ

โรงงานแห่งหนึ่งติดตั้งเครื่องอัดอากาศขนาด 100 แรงม้า (75 กิโลวัตต์) มีอัตราการผลิตอากาศอัด 200 ลิตรต่อวินาที ที่ความดัน 7 บาร์ มีค่าประสิทธิภาพตามพิกัดหรือเรียกว่าพลังไฟฟ้าเฉพาะของเครื่องอัดอากาศ (SPC) 0.375 กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที อัตราความดันเข้าถังเก็บอากาศขนาด 2,500 ลิตร ระยะถังเก็บอากาศอัดใกล้กับเครื่องอัดอากาศ จากการทดสอบหาค่าการผลิตอากาศอัดของเครื่อง พบว่าเครื่องอัดอากาศใช้เวลาในการอัดอากาศที่ความดัน 7 บาร์ ไป 100 วินาที และวัดค่ากำลังไฟฟ้าได้ 73.8 กิโลวัตต์ จงหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

$$\begin{aligned} \text{จากสมการก๊าซ} \quad (1.013)V_1 &= (7 + 1.013) V_2 \\ V_1 &= \frac{(7+1.013)V_2}{1.013} \\ V_1 &= 7.91 V_2 \end{aligned}$$

หมายความว่า อากาศอิสระหากถูกอัดไปที่ความดัน 7 บาร์ ในภาชนะเดียวกันจะมีค่าความหนาแน่นเป็น 7.91 เท่าของอากาศปกติ ดังนั้นหากความจุของถังเก็บอากาศอัด คือ 2,500 ลิตร จะสามารถบรรจุอากาศอัดได้เท่ากับ $2,500 \times 7.91$ ลิตร = 19,775 ลิตร (สถานะอากาศปกติ)

หากเครื่องมีความสามารถในการผลิตอากาศอัดได้ 200 ลิตรต่อวินาที

$$\begin{aligned} \text{เครื่องจะใช้เวลาในการอัดอากาศเข้าถัง} &= 19,775 / 200 && \text{วินาที} \\ &= 81.39 && \text{วินาที} \end{aligned}$$

และจากการทดสอบเครื่องอัดอากาศ ใช้เวลาไป 100 วินาที แสดงว่า

$$\begin{aligned} \text{ความสามารถในการผลิตอากาศ} &= \left\{ 1 - \frac{(100 - 81.39)}{100} \right\} \times 100\% \\ &= 81.39 && \text{เปอร์เซ็นต์} \\ \text{คิดเป็นอากาศอัดที่ผลิตได้ตามพิกัด} &= 200 \times 0.8139 \\ &= 162.78 && \text{ลิตรต่อวินาที} \\ \text{ผลต่างของอากาศอัด} &= 200 - 162.78 \\ &= 37.22 && \text{ลิตรต่อวินาที} \\ \text{ค่าพลังไฟฟ้าที่วัดได้} &= 73.8 && \text{กิโลวัตต์} \\ \text{ค่าพลังไฟฟ้าในการอัดอากาศ} &= 73.8 / 162.78 \\ &= 0.453 && \text{กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที} \end{aligned}$$

ดังนั้นประสิทธิภาพเครื่องเมื่อเทียบกับ Spec. ตอนที่จัดซื้อใหม่ จะมีค่าเพียง 82.8 เปอร์เซ็นต์ $[(0.375/0.453) \times 100]$ ลดลง 17.2 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่าต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นถ้าให้ได้ปริมาณอากาศอัดที่ต้องการ เพราะฉะนั้นในขณะที่ทำการผลิตเกิดการสูญเสียพลังงานไป 12.7 กิโลวัตต์ หากทาง



โรงงานทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน และ 300 วันต่อปี ค่าเฉลี่ยของการทำงานเครื่องอัดอากาศอยู่ที่ประมาณร้อยละ 85 คิดเป็นเงินที่สูญเสียไปดังนี้ (ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.00 บาทต่อหน่วย)

$$\begin{aligned}
 &= 12.7 \times 24 \times 300 \times 85 \\
 &= 77,724 \quad \text{หน่วยต่อปี} \\
 \text{คิดเป็นมูลค่าเงินที่สูญเสีย} &= 77,724 \times 3.00 \\
 &= 233,172 \quad \text{บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 6.1-6 การเลือกเดินเครื่องอัดอากาศแบบสกรูแทนการเดินเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ปัจจุบันมีการติดตั้งใช้งานเครื่องอัดอากาศทั้งสิ้น จำนวน 4 ชุด เป็นประเภทลูกสูบ 2 ชุด และสกรู 2 ชุด ต่อวงจรท่ออากาศอัดร่วมกันทั้งหมด โดยแบ่งตามชนิดของเครื่องอัดอากาศได้ดังนี้

- เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ขนาด 22 กิโลวัตต์ มีอัตราการผลิตอากาศอัด 2.58 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
- เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 37 กิโลวัตต์ มีอัตราการผลิตอากาศอัด 5.81 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

ปัจจุบันโรงงานเดินเครื่องอัดอากาศแบบสกรูจำนวน 1 ชุด และแบบลูกสูบ จำนวน 2 ชุด โดยปรับตั้งความดันไว้ 7.0 บาร์ เครื่องจักรในกระบวนการผลิตมีความต้องการความดันไม่ต่ำกว่า 7 บาร์ โดยเครื่องอัดอากาศใช้ระบบควบคุมการทำงานแบบรับ-ปลดภาระ (Load/Unload) ซึ่งในสภาวะการทำงานเครื่องอัดอากาศทั้ง 3 ชุดดังกล่าว มีการรับ-ปลดภาระอยู่เป็นช่วงๆ อย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาที่กระบวนการผลิตทำงาน

2) ปัญหาของอุปกรณ์ระบบก่อนปรับปรุง

จากสภาพการเปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศครั้งละ 3 ชุด เป็นลูกสูบ 2 ชุด และสกรู 1 ชุด คิดเป็นอัตราการผลิตอากาศอัดจากพิกัดติดตั้ง 10.97 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที โดยมีพิกัดพลังไฟฟ้าของมอเตอร์ติดตั้งรวม 81 กิโลวัตต์ คิดเป็นค่าพลังไฟฟ้าเฉพาะในการอัดอากาศ 7.475 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อนาที จากการตรวจสอบพบว่าเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบสกรู เพราะมีอายุการใช้งานมากกว่าและรวมถึงสถานที่การติดตั้งอยู่ที่มีความชื้นสูง ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตอากาศอัดลดลง โดยสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศจากพิกัดเครื่องได้ดังนี้

ชนิดเครื่องอัดอากาศ	พิกัดมอเตอร์ (kW)	พิกัดผลิตอากาศอัด (m ³ /min)	(kW/m ³ /min)
ลูกสูบ	22 (30HP)	2.58	8.527
สกรู	37 (50HP)	5.81	6.368



3) แนวทางและขั้นตอนการดำเนินการ

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจะเห็นว่าประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศสูงกว่าลูกสูบ จึงควรปรับปรุงโดยการเปลี่ยนชุดการเดินเครื่องอัดอากาศใหม่ โดยเปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศแบบสกรู 2 ชุดแทนแบบเดิม โดยมีพิกัดพลังไฟฟ้าของมอเตอร์ติดตั้งรวม 74 กิโลวัตต์ มีค่าพลังไฟฟ้าเฉพาะในการอัดอากาศ 6.368 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อนาที จะเห็นว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าการเดินเครื่องแบบเดิมเป็นอย่างมาก ซึ่งเมื่อสามารถดำเนินการในแนวทางได้ดังนี้ จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตอากาศอัดลงได้อย่างมาก

4) สภาพหลังปรับปรุง

ปรับเปลี่ยนชุดการเดินเครื่องอัดอากาศใหม่ตามแนวคิดข้างต้น โดยยังใช้ประโยชน์จากถังอากาศอัดของเครื่องชุดลูกสูบ โดยเปิดวาล์วให้อากาศอัดเข้าไปเก็บเพื่อเพิ่มปริมาตรการกักเก็บอากาศอัดของระบบด้วย จากการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ ยังสามารถทำงานได้เป็นปกติ โดยปริมาณลมและความดันที่ผลิตได้ยังเพียงพอกับความต้องการของระบบ

5) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

ระยะเวลาดำเนินการ	1 เดือน
เงินลงทุน	ไม่มี บาท
ผลประโยชน์ที่ได้	78,732 บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	- ปี

6) วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

- การเดินเครื่องแบบเดิม สกรู 1 ชุด ลูกสูบ 2 ชุด
ค่าพลังไฟฟ้าในการอัดอากาศ = 7.475 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อนาที
- การเดินเครื่องแบบใหม่ที่แนะนำ การเดินเครื่องอัดอากาศแบบสกรู 2 ชุด
ค่าพลังไฟฟ้าในการอัดอากาศ = 6.368 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อนาที
- คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การใชัพลังไฟฟ้าที่ลดลง = $[(7.475 - 6.368) / 7.475] \times 100 \%$
= 14.81 เปอร์เซ็นต์
- เปอร์เซนต์สัดส่วนการรับภาระต่อเวลาการทำงานทั้งหมด = 70 เปอร์เซ็นต์

พลังไฟฟ้าจากการตรวจวัด มีดังนี้

- แบบลูกสูบ (เฉลี่ย 2 ชุด) รับภาระ = 19.40 กิโลวัตต์ x 2 ชุด = 34.8 กิโลวัตต์
ปลดภาระ = 6.48 กิโลวัตต์ x 2 ชุด = 12.96 กิโลวัตต์
- แบบสกรู รับภาระ = 39.27 กิโลวัตต์ต่อชุด
ปลดภาระ = 15.71 กิโลวัตต์ต่อชุด
- ชั่วโมงทำงาน = 16 ชั่วโมงต่อวัน
- วันทำงาน = 300 วันต่อปี



$$\begin{aligned}\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเดิมแบบเดิม} &= \{[(34.8+39.27) \times 0.70] + [(12.96+15.71) \times 0.30]\} \times 16 \times 300 \\ &= 290,160 \quad \text{หน่วยต่อปี}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเดิมแบบใหม่} &= \{[(39.27+39.27) \times 0.70] + [(15.71+15.71) \times 0.30]\} \times 6 \times \\ &\quad 300 \times (100-14.81)/100 \\ &= 263,380.22 \quad \text{หน่วยต่อปี}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง} &= 290,160 - 263,380.22 \\ &= 26,779.78 \quad \text{หน่วยต่อปี}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{มูลค่าประหยัดได้} &= 26,779.78 \times 2.94 \\ &= 78,732 \quad \text{บาทต่อปี}\end{aligned}$$

หมายเหตุ : พิกัดอากาศอัดของแบบเดิมและแบบใหม่มีค่าใกล้เคียงกัน



6.1.6 การเปลี่ยนมาใช้เครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง

เทคนิคการปรับปรุงเริ่มจากตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศที่ติดตั้งและใช้งานอยู่เดิม เทียบกับเครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูงในปัจจุบัน โดยตรวจวัดทางไฟฟ้า และประสิทธิภาพการอัดอากาศ เนื่องจากเครื่องอัดอากาศที่ติดตั้งอยู่เดิมมีอายุการใช้งานนานมาก จึงปรับปรุงโดยการเปลี่ยนมาใช้เครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง

ตัวอย่างที่ 6.1-7 การเปลี่ยนมาใช้เครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

เครื่องอัดอากาศที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน มีอายุการใช้งานมาแล้วประมาณ 10 ปี ประสิทธิภาพในการอัดอากาศค่อนข้างต่ำ ทางโรงงานจึงวิเคราะห์ข้อมูลและนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง พบว่า เครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า ในขณะที่ได้ปริมาณอากาศอัดใกล้เคียงกัน



2) ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ข้อมูลการใช้พลังงานของบริษัท ฯ พบว่า ส่วนหนึ่งประมาณร้อยละ 10-15 เป็นการใช้พลังงานของระบบอากาศอัด โดยภายในโรงงานมีการใช้อากาศอัดเป็นจำนวนมากในกระบวนการผลิตตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีเครื่องอัดอากาศขนาด 37 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัว

3) การสำรวจตรวจวัด

โรงงานติดตั้งและใช้งานเครื่องอัดอากาศขนาด 37 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัว โดยเครื่องอัดอากาศดังกล่าวทำงานตลอดไม่มีการตัด-ต่อเลย และเครื่องอัดอากาศทั้งสองเครื่องนี้ ติดตั้งและใช้งานมานานถึง 10 ปี จากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการอัดอากาศของเครื่องอัดอากาศ พบว่า เครื่องอัดอากาศมีประสิทธิภาพต่ำ ควรทำการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศจากเดิม 37 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัว ไปเป็นขนาด 75 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ตัวแทน โดยเมื่อทำการตรวจสอบพบว่า มีการตัด-ต่อของช่วง On load และ Unload ที่ร้อยละ 50 เครื่องอัดอากาศ 1 ตัว จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ที่ใช้หลายตัวเพราะหลายตัวจะมีการสูญเสียมากขึ้น

4) การวิเคราะห์ผล

ภายหลังการเก็บข้อมูลการตรวจวัดด้านประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ เทียบกับเครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง มีความแตกต่างกันได้ด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าในการอัดอากาศพอสมควร ซึ่งเครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูงนั้น มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า ในขณะที่ได้อากาศอัดปริมาณเท่ากัน หากเปลี่ยนมาใช้เครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูงแล้ว ก็จะสามารถประหยัดพลังงานได้



รูปที่ 6.1-16 สภาพเครื่องอัดอากาศก่อนการปรับปรุง

5) การดำเนินการปรับปรุง

โรงงานทำการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศจากเดิม 37 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัว ไปเป็นขนาด 75 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ตัวแทน เมื่อทำการตรวจสอบมีการตัด-ต่อของช่วง On load และ Unload ที่ร้อยละ 50 เครื่องอัดอากาศ 1 ตัว จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ที่ใช้หลายตัวเพราะหลายตัวจะมีการสูญเสียมากขึ้น



6) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

คิดเป็นพลังงานที่ลดลง 166,824 หน่วยต่อปี คิดเป็นเงิน 499,275 บาทต่อปี
เงินลงทุน 1,200,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 2.40 ปี

7) การจัดทำรายงาน

การจัดทำรายงานเสนอต่อผู้บริหาร หรือผู้มีอำนาจในการตัดสินใจในการลงทุน เพื่อขอพิจารณาอนุมัติงบประมาณในการปรับปรุงตามมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงาน เรื่องการเปลี่ยนมาใช้เครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูงที่ได้มีการวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญและทีมงานไว้แล้วนั้น โดยได้มีการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลการตรวจวัดด้านไฟฟ้า หรือด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ภายหลังจากได้ทราบผลการวิเคราะห์ด้านเทคนิคและค่าใช้จ่ายด้านลงทุน ที่ประชุมทีมงานเห็นว่ามีความเหมาะสมและสามารถดำเนินการได้ทันที จึงได้มีการนำเสนอรายงานดังกล่าวเพื่อขออนุมัติและดำเนินการต่อไป

8) วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

การเปลี่ยนมาใช้เครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ โดยสามารถแสดงการคำนวณผลประหยัดได้ดังนี้

รายการ	สัญลักษณ์	สูตร	ค่า	หน่วย
ชั่วโมงการทำงาน	h		7,200	ชั่วโมงต่อปี
ราคาพลังงานไฟฟ้า	CE		3.00	บาทต่อหน่วย
ก่อนปรับปรุง (37 kW จำนวน 2 ตัว)				
กำลังไฟฟ้าในช่วง Onload	P_{on1}		75	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าในช่วง Unload	P_{off1}		40	กิโลวัตต์
เปอร์เซ็นต์การทำงาน	L_1		100	เปอร์เซ็นต์
พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	E_1	$(P_{on1} \times L_1 / 100 + P_{off1} \times (100 - L_1) / 100) \times h$	540,000	หน่วยต่อปี
หลังปรับปรุง (75 kW จำนวน 1 ตัว)				
กำลังไฟฟ้าในช่วง On load	P_{on2}		68.12	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าในช่วง Unload	P_{off2}		35.54	กิโลวัตต์
เปอร์เซ็นต์การทำงาน	L_2		50	เปอร์เซ็นต์
พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง	E_2	$(P_{on2} \times L_2 / 100 + P_{off2} \times (100 - L_2) / 100) \times h$	373,176	หน่วยต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	E_3	$E_1 - E_2$	166,824	หน่วยต่อปี
จำนวนเงินที่ประหยัดได้	M	$E_3 \times CE$	499,275	บาทต่อปี
เงินลงทุน	C		1,200,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	PB		2.40	ปี





รูปที่ 6.1-17 สภาพหลังการปรับปรุงเครื่องอัดอากาศตัวใหม่ ขนาด 75 กิโลวัตต์

9) การติดตามผลการดำเนินงาน

จากการปรับปรุงตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานแล้วนั้น ทางทีมงานได้มีการติดตามการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยทำการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และนำไปเทียบกับพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศก่อนปรับปรุงอยู่เสมอ พร้อมกำหนดให้ผู้รับผิดชอบในพื้นที่ที่ใช้งานอยู่นั้น เป็นผู้ตรวจสอบและหาแนวทางการปรับปรุง ในมาตรการอื่น ๆ เพิ่มในพื้นที่ที่ยังสามารถปรับปรุงได้อีก โดยกำหนดแผนในการดำเนินการโดยขอความร่วมมือ ในการตรวจสอบกับผู้ควบคุมเครื่องจักรเพื่อดำเนินการต่อไป



6.1.7 การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องอัดอากาศมาอุ่นอากาศ

เครื่องอัดอากาศสามารถแบ่งตามชนิดของของไหลที่มีระบายความร้อน สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยทั่วไปเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กกว่า 110 kW จะระบายความร้อนด้วยอากาศ แต่ถ้าขนาดใหญ่กว่านี้มักจะระบายความร้อนด้วยน้ำจะต้องติดตั้งปั๊มน้ำหล่อเย็นและคูลลิ่งทาวเวอร์ด้วย เครื่องอัดอากาศทำงานโดยการอัดอากาศที่ความดันบรรยากาศ (1 atm) ให้ความดันใช้งานตามต้องการเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งความดันนี้มีตั้งแต่ 3 bar ขึ้นไปขึ้นอยู่กับความต้องการใช้ความดันของแต่ละโรงงาน

สำหรับการนำความร้อนทิ้งของเครื่องอัดอากาศกลับมาใช้ใหม่ ปกติแล้วพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้จะแปรรูปเป็นพลังงานอากาศอัด และพลังงานความร้อน ซึ่งพลังงานความร้อนนี้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ คือ การนำมอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ การนำกลับมาอุ่นอากาศเพื่อใช้ในกระบวนการอบหรือให้ความร้อน และการนำมาแลกเปลี่ยนทำน้ำอุ่น ประโยชน์ของการนำความร้อนทิ้งจากเครื่องอัดอากาศกลับมาใช้ใหม่



- ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนของพลังงานความร้อนในอุปกรณ์ต่างๆ
- ลดปัญหาอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมไม่ให้มีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศ
- เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้กับ Air Compressor

หลักการสมดุลความร้อน คือ

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_{Loss} \quad (6.1-3)$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ } Q_{Loss} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_4 \\ \text{เมื่อ } Q_4 &= Q_{in} \\ Q_{in} &= m \cdot C_p (T_n - T_{amb}) \\ m &= \rho \cdot v \cdot A \quad (5) \end{aligned}$$

และอัตราการระเหยของน้ำคำนวณจาก

$$m \cdot w = m \cdot a (w_o - w_i) = m \cdot a (w_5 - w_4) \quad (6.1-4)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า (Electric heater)

$$E_e = \frac{P \times \text{time}(h)}{\eta_{eh}} \times 100\% \quad (6.1-5)$$

$$C_e = E_e \times Pr_e \quad (6.1-6)$$

ค่า Pr_e คือค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh) จากบิลค่าไฟฟ้าย้อนหลัง 12 เดือน

ตัวอย่างที่ 6.1-8 การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องอัดอากาศมาอุ่นอากาศสำหรับเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ในกระบวนการผลิตโรงงานผลไม้มักจะแบ่งพื้นที่ มีการใช้ไอน้ำเพื่อให้ความร้อน ทั้งแบบใช้สัมผัสโดยตรงและผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยระดับความดันไอน้ำที่ใช้อยู่ระหว่าง 6 – 7 บาร์เกจ และมีการใช้เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีเวน ระบายความร้อนด้วยอากาศ จำนวน 3 เครื่อง

2) ปัญหาของอุปกรณ์ระบบก่อนปรับปรุง

หม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง จำนวน 3 ลูก ผลิตไอน้ำที่ความดันเฉลี่ย 7.5 บาร์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อมขณะทำงานเฉลี่ย 32 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ ในขณะที่มีลมร้อนจากเครื่องอัดอากาศที่ระบายทิ้งมีอุณหภูมิถึง 50 องศาเซลเซียส





รูปที่ 6.1-18 หม้อไอน้ำและเครื่องอัดอากาศก่อนปรับปรุง

3) แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

จุดระบายความร้อนของเครื่องอัดอากาศอยู่ไม่ห่างจากหม้อไอน้ำ สามารถนำลมร้อนทั้งจากเครื่องอัดอากาศมาอุ่นอากาศเข้าหม้อไอน้ำสำหรับเผาไหม้ได้ โดยดำเนินการดังนี้

- (1) ตรวจสอบอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสำหรับเผาไหม้ของหม้อไอน้ำก่อนปรับปรุง
- (2) ติดตั้งท่อลมนำลมร้อนทั้งจากจากเครื่องอัดอากาศเข้าที่หัวเผาหม้อไอน้ำ
- (3) ตรวจสอบอุณหภูมิอากาศที่เข้าหม้อไอน้ำสำหรับเผาไหม้หลังปรับปรุง
- (4) ตรวจสอบปริมาณออกซิเจนในก๊าซเสียของหม้อไอน้ำ
- (5) บันทึกการใช้เชื้อเพลิงจากก่อนและหลังปรับปรุง
- (6) คำนวนผลประหยัดเชื้อเพลิง

4) สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากต่อท่อลมจากจุดระบายความร้อนของเครื่องอัดอากาศป้อนให้หัวเผาไหม้หม้อไอน้ำทำให้อุณหภูมิอากาศสำหรับเผาไหม้ของหม้อไอน้ำสูงขึ้นเป็น 46.4 องศาเซลเซียสจากเดิม 32 องศาเซลเซียส



ติดตั้งท่อลมร้อนจากเครื่องอัดอากาศมาอุ่นอากาศเข้าหม้อไอน้ำชุดที่ 1





ติดตั้งท่อนำลมร้อนจากเครื่องอัดอากาศมาอุ่นอากาศเข้าหม้อไอน้ำชุดที่ 2
รูปที่ 6.1-19 ติดตั้งท่อนำลมร้อนจากเครื่องอัดอากาศมาอุ่นอากาศเข้าหม้อไอน้ำ

5) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

ระยะเวลาดำเนินการ	3	เดือน
เงินลงทุน	20,000	บาท
ผลประโยชน์	116,504	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.17	ปี

6) แนวทางการขยายผล

ดำเนินการติดตั้งท่อนำลมร้อนจากเครื่องอัดอากาศ ชุดที่ 2 มาใช้ที่หม้อไอน้ำชุดที่ 2 ต่อไป

7) วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

เส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำลม	20	นิ้ว
อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ย, Ta1	32	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศเข้าหม้อไอน้ำเฉลี่ย, Ta2	46.4	องศาเซลเซียส
ความหนาแน่นของอากาศ	1.108	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเฉลี่ย	85	เปอร์เซ็นต์
การใช้น้ำมันเตาเฉลี่ยของหม้อไอน้ำที่ปรับปรุง	169,294	ลิตรต่อเดือน
อัตราส่วนออกซิเจนในไอเสียเฉลี่ย	4	เปอร์เซ็นต์
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, H1	39.77	เมกะจูลต่อลิตร
	9,825	กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

จากการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในไอเสียเฉลี่ย 4 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง คือ 1.3 และเชื้อเพลิงน้ำมันเตา C จะมีค่า

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณอากาศทฤษฎี} \quad A_o &= 10.74 \text{ normal-ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง} \\ \text{ดังนั้น ปริมาณอากาศที่ใช้จริง, } A &= 1.3A_o \\ &= 1.3 \times 10.74 \end{aligned}$$



	=	13.96 normal-ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง
อัตราส่วนการประหยัดเชื้อเพลิง	=	$A \times Ca \times (Ta2 - Ta1) / (H1 + A \times Ca \times Ta2)$
	=	$13.96 \times 0.3 \times (46.4 - 32) / (9,825 + 13.96 \times 0.31 \times 46.4)$
	=	0.00622
ลดการใช้น้ำมันเตาได้	=	$0.00622 \times 169,294 \times 12$
	=	12,636 ลิตรต่อปี
ราคาน้ำมันเตาเฉลี่ย	=	9.22 บาทต่อลิตร
คิดเป็นค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	=	$12,636 \times 9.22$
	=	116,504 บาทต่อปี
เงินลงทุน	=	20,000 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	$20,000 / 116,504$
	=	0.17 ปี



6.1.8 มาตรการบำรุงรักษาระบบอากาศอัด

อุปกรณ์ใช้งานในระบบอากาศอัด เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งก็ย่อมเกิดการสึกหรอเกิดขึ้น ซึ่งก็ถือว่าเป็นปกติ การสึกหรอเหล่านั้นก็จะส่งผลถึงประสิทธิภาพของระบบโดยรวม อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นควรให้ความสำคัญกับการดูแลและบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพดีเสมอ เพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานและยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ควรบำรุงรักษาอุปกรณ์และตัวดังนี้



1) การตรวจสอบอุปกรณ์นิวเมติกส์

Check Pneumatic Equipment	Check item	Check interval								Note
		Daily	Weekly	Monthly	Half-yearly	Yearly	Two-yearly	frequency 1	Operation distance	
Compressor	Compressor Lubricant	○		○						Fill the oil
	Intake filter									Flush out
Tank	Drain exhaust	○								
Main filter	Drain exhaust	○								
	Stains on a element				○					Never fail to change a element when difference air pressure comes to 0.7 kgf/cm^2
Air Dryer	Refrigerant pressure gauge	○								Confirm a needle in a green zone
	Stains on a element	○								
	Stains on a condenser	○								Clean a condenser
Filter	Drain exhaust	○			○					
	Stains on a element									Flush out
Regulator	Adjusting pressure	○								Check if there is damage in a gauge itself
Lubricator	QTY of oil drip	○								
	Oil level	○								Fill the oil
Solenoid valves	Abnormal air leakage from an exhaust port					○		○		Coat lithium saponaceous radical
Speed controller	Adjusted speed of a cylinder			○				○		
Cylinder	Air leakage from piston rod			○				○	○	Coat lithium saponaceous radical
	Slackness of mounting			○						



2) การบำรุงรักษา

เครื่องอัดอากาศ ควรมีการตรวจเช็คตามระยะเวลา (Spec.) ของเครื่องและอุปกรณ์ประกอบต่างๆ

- ความตึงของสายพานขับเครื่องอัดอากาศ
- เกียร์วาล์ว ลูกสูบและแหวนลูกสูบของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ
- ใบพัดของโรตารีเครื่องอัดอากาศ
- สภาพของตัวกรองอากาศ
- Intercooler และ After Cooler
- แอร์ไดรยเออร์ (Air Dryer)
- ทำความสะอาดหม้อกรองอากาศ ชุดกรองต่างๆ ในระบบ
- ตรวจจวาล์วต่างๆ ว่ายังทำงานได้เป็นปกติหรือไม่
- ตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้า มาตราวัดความดันต่างๆ
- ตรวจสอบชุดเตรนน้ำต่างๆ ว่ายังทำงานเป็นปกติดีอยู่
- ตรวจสอบระดับน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องอัดอากาศ

เช่นเดียวกับเครื่องอัดอากาศ อุปกรณ์ใช้อากาศอัดและเครื่องจักร ควรตรวจเช็คและบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนด และหมั่นตรวจสอบรอยรั่วต่างๆ ตามข้อต่อข้องอ และท่อต่อเข้าเครื่องจักร

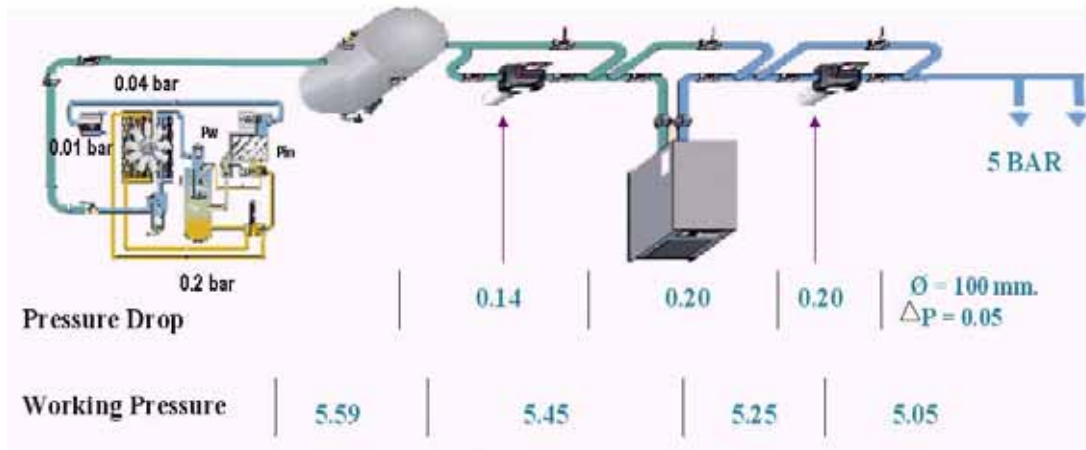
ตารางที่ 6.1-2 ตัวอย่างตารางการบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบอากาศอัด

รายการบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบอากาศอัด									
การบำรุงรักษา	สกรูฉีดน้ำมัน	สกรูไม่มีน้ำมัน	ลูกสูบน้ำมันหล่อลื่น	ลูกสูบไม่มีน้ำมันหล่อลื่น	โรตารีเวนด์น้ำมัน	แอร์ไดรยเออร์ใช้ระบบทำความเย็น	แอร์ไดรยเออร์แบบใช้สารดูดความชื้น	ตัวกรองอากาศ	ถึงลม
Visual check for leaks and damage	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Check indicator reading	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Top up lubricators	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Drain condensate and check traps	A*	A*	A*	A*	A*				
Check top-up lubricating oil	B	B	B	B	B				
Check suction filter	B#X	B#X	B#X	B#X	B#X				

- A รายวัน
- B รายสัปดาห์ หรือทุกๆ 50 ชั่วโมงการทำงาน
- C รายเดือน หรือทุกๆ 250 ชั่วโมงการทำงาน
- D ราย 6 เดือน หรือทุกๆ 2,000 ชั่วโมงการทำงาน



- E รายปี หรือทุกๆ 4,000 ชั่วโมงการทำงานขึ้นอยู่กับกรณีใดถึงก่อน
 * ถ้าปฏิบัติได้
 # ขึ้นอยู่กับสภาพโรงงาน
 X เป็นไปตามข้อแนะนำของผู้ผลิต
 + ขึ้นอยู่กับการใช้งาน



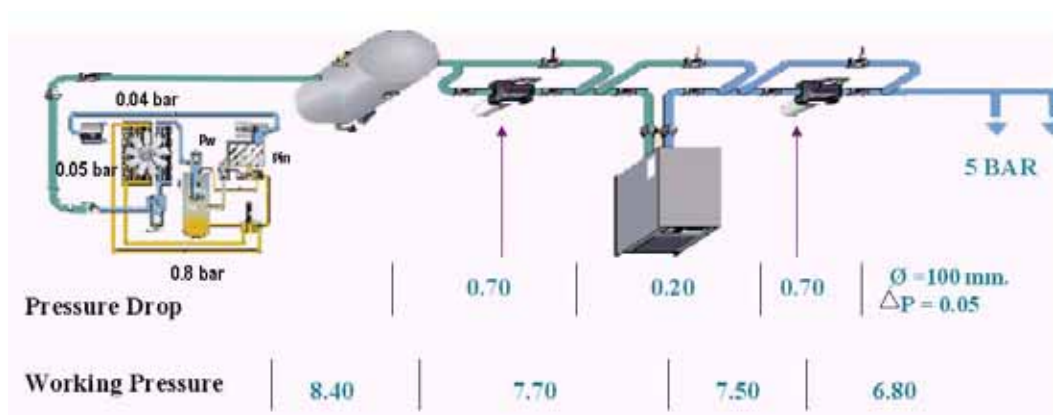
รูปที่ 6.1-20 ระบบอากาศอัดที่มีการบำรุงรักษาที่ดี

ตัวอย่างที่ 6.1-9 การบำรุงรักษาระบบอัดอากาศ

หากระบบหนึ่งๆ ต้องการอากาศอัดที่ใช้งานที่ความดันอากาศอัดที่ 5 บาร์ โดยระบบนี้มีการดูแลบำรุงรักษาอย่างดีก็จะทำให้ใช้พลังงานน้อยกว่าเพราะชุดกรองต่างๆ สะอาดส่งผลให้การไหลของอากาศได้สะดวก ความต้านทานในระบบต่ำ สำหรับความต้องการความดันอากาศอัดที่ 5 บาร์ นั้นเครื่องจะต้องผลิตอากาศอัดประมาณ 6.91 บาร์ ซึ่งต่างจากระบบที่ขาดการดูแลบำรุงรักษาที่อาจจะต้องผลิตความดันที่ประมาณ 10.79 บาร์ เนื่องจากเครื่องจะต้องดูดอากาศเข้ามาอัดซึ่งต้องผ่านชุดกรองต่างๆ เพื่อให้ได้ความดันที่กำหนด ดังนั้นจากรูปที่ 6.1-21

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราส่วนความดัน} &= \{(5.59 \times 0.04 + 0.20) + 1.013\} / (1.0 - 0.01) \\
 &= 6.91 \\
 \text{กำลังงานเพลลา} &= 143 \quad \text{กิโลวัตต์} \\
 \text{กระแสไฟฟ้า} &= 252 \quad \text{แอมป์}
 \end{aligned}$$





รูปที่ 6.1-21 ระบบอากาศอัดที่ขาดการดูแลบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง

และจากรูปที่ 6.1-21

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนความดัน} &= \{(8.40 \times 0.04 + 0.80) + 1.013\} / 0.95 \\ &= 10.79 \\ \text{กำลังงานเพลลา} &= 183 \quad \text{กิโลวัตต์} \\ \text{กระแสไฟฟ้า} &= 323 \quad \text{แอมป์} \end{aligned}$$

จากรูปที่ 6.1-20 และรูปที่ 6.1-21 จะเห็นได้ชัดเจนว่า ระบบอากาศอัดที่มีการบำรุงรักษาที่ดีจะใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องอัดอากาศที่ขาดการดูแลบำรุงรักษา ซึ่งผลการเปรียบเทียบสามารถแสดงเป็นตารางที่ 6.1-3 ให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นดังนี้

ตารางที่ 6.1-3 เปรียบเทียบความดันตกคร่อมของระบบอากาศอัดที่มีการบำรุงรักษาที่ดีและขาดการดูแลบำรุงรักษา

อุปกรณ์	การบำรุงรักษาที่ดี (บาร์)	ขาดการบำรุงรักษาที่ดี (บาร์)
1. Air Filter	0.01	0.05
2. Oil Separator	0.20	0.80
3. After Cooler	0.04	0.04
4. Main Filter	0.14	0.70
5. Air Dryer	0.20	0.20
6. Mist Filter	0.20	0.70
7. Main Pipe	0.05	0.70
การสูญเสียที่ระบบผลิต (1-3)	0.25	0.89
การสูญเสียที่ระบบส่งจ่าย (4-7)	0.59	2.30



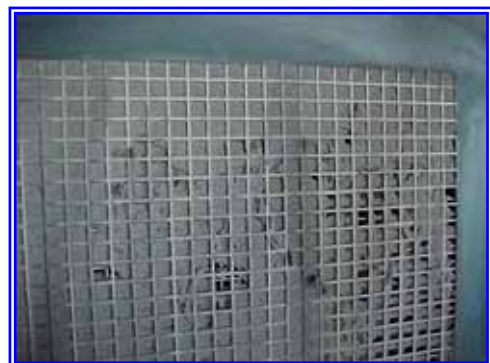
หากพิจารณาตารางความดันสูญเสียข้างต้นแล้ว เมื่อระบบต้องการความดันอากาศอัดที่ 5 บาร์ สำหรับระบบที่มีการบำรุงรักษาที่ดีอัตราส่วนความดันที่ผลิตได้เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนความดัน} &= [(5 + 0.2 + 0.04) + 1.013] / (1.0 - 0.01) \\ &= 6.91 \\ \text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้} &= 143 \quad \text{กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

ในขณะที่ระบบที่ขาดการดูแลบำรุงรักษาที่ดีอัตราส่วนความดันที่ผลิตได้คือ

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนความดัน} &= [(5 + 0.8 + 0.04) + 1.013] / (1.0 - 0.05) \\ &= 10.03 \\ \text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้} &= 183 \quad \text{กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่าการบำรุงรักษาชุดกรองต่างๆ จะส่งผลให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้เทียบกับระบบที่ขาดการบำรุงรักษาที่ดีประมาณร้อยละ 10 – 15



รูปที่ 6.1-22 ชุดกรองอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศที่ขาดการดูแลบำรุงรักษาที่ดี



รูปที่ 6.1-23 ถังเก็บอากาศที่ขาดการดูแลบำรุงรักษาที่ดีจะมีน้ำขังในถังเก็บ และจุดระบายน้ำทิ้งชำรุด





รูปที่ 6.1-24 อุปกรณ์นิวเมติกส์และชุดปรับความดันของอุปกรณ์ที่ขาดการดูแลบำรุงรักษาที่ดี



รูปที่ 6.1-25 ชุดกรองน้ำในระบบอากาศอัดเริ่มเสื่อมสภาพและขาดการดูแลบำรุงรักษาที่ดี



รูปที่ 6.1-26 การติดตั้งชุดกรองอากาศอัดที่เกินความจำเป็น



6.2 อุปกรณ์ประกอบในระบบอากาศอัด

6.2.1 การปรับปรุงวิธีการใช้งานของแอร์ดรายเออร์

อากาศอัดที่ผ่านการระบายความร้อนมาแล้วต้องนำมาผ่านการกำจัดความชื้น โดยใช้เครื่องทำอากาศแห้ง (Air Dryer) เป็นตัวกำจัดความชื้น และเครื่องทำอากาศแห้งด้วยสารทำความเย็น มีหลักการทำงานอากาศอัดไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบอากาศกับอากาศ (Air to Air Heat Exchanger) ทำให้อากาศอัดที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิต่ำลงอากาศไหลผ่านอีวาพอเรเตอร์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดน้ำค้างประมาณ 2-10 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับจุดแข็งตัว (Freezing point) ของน้ำ น้ำที่เกิดจากการควบแน่นจะถูกระบายออกจากเครื่องทำอากาศแห้งแบบอัตโนมัติ

ตัวอย่างที่ 6.2-1 การปรับลดเวลาการเดรนที่แอร์ดรายเออร์

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการติดตั้งเครื่องแอร์ดรายเออร์ จำนวน 3 เครื่อง ตามรูปที่ 6.2-1 สำหรับทำหน้าที่ลดความชื้นอากาศ และเดรนน้ำออกจากระบบอากาศอัดทำให้อากาศมีคุณภาพเหมาะสม โดยจะทำงานร่วมกับเครื่องอัดอากาศ ขนาด 37 กิโลวัตต์ จำนวน 3 เครื่อง และใช้งานวันละ 2 เครื่อง และทำงาน 21 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี และ 16 ชั่วโมงต่อวัน 48 วันต่อปี



รูปที่ 6.2-1 เครื่องทำอากาศแห้ง (Air Dryer)



2) ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ปกติอากาศที่นำมาใช้อัดอากาศก็มีความชื้น มีฝุ่นสกปรกอยู่แล้ว เมื่อทำให้มีความดันที่สูงขึ้น จะมีการเกิดน้ำคอนเดนเสทขึ้นในระบบอากาศอัด จำเป็นจะต้องมีการกำจัดคอนเดนเสททิ้งไปเพื่อให้ระบบมีคุณภาพอากาศอัดที่ดีขึ้น จากการตรวจสอบ พบว่า แอร์ดรายเออร์ที่ทำงานร่วมกับเครื่องอัดอากาศ No.5 มีระยะเวลาการเตรนอากาศอัดเพื่อระบายคอนเดนเสทที่เหมาะสม ส่วนแอร์ดรายเออร์ (DYNA) ที่ทำงานร่วมกับเครื่องอัดอากาศ No.4 จะใช้เวลาในการเตรนคอนเดนเสทนานเกินไป ทำให้สูญเสียอากาศอัดเกินความจำเป็น เพราะในช่วงการเตรนนั้นจะมีอากาศอัดเปื้อนออกมาและมีปริมาณคอนเดนเสทเพียงน้อย จากการตรวจสอบการเช็คค่าในการทำงานของแอร์ดรายเออร์ พบว่า ทุกๆ 25 วินาทีจะมีการเตรน 1 ครั้ง และใช้เวลาในการเตรน 6 วินาที/ครั้ง ใช้เวลารวมทั้งหมด 31 วินาที นั้นหมายถึงในเวลา 1 ชั่วโมงจะมีการทำงาน 116 ครั้ง เกิดการสูญเสียอากาศอัดรวมทั้งคอนเดนเสท 4,656.24 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 6.2-2 จุดทางออกคอนเดนเสทของ Air Dryer



รูปที่ 6.2-3 ทดสอบการเตรนคอนเดนเสทก่อนปรับปรุง



รูปที่ 6.2-4 Dew Point ของอากาศอัดขณะใช้งานจริง



รูปที่ 6.2-5 การตั้งค่าการเตรนก่อนปรับปรุง



3) แนวคิดและขั้นตอนดำเนินการ

เพื่อลดปริมาณอากาศอัดที่ไปพร้อมกับคอนเดนเสท และช่วยลดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ทำให้น้อยลง จึงดำเนินการตั้งค่าการเตรนให้ลดลง โดยจากเดิมที่ใช้เวลาการเตรน 6 วินาทีปรับลดเป็น 4 วินาที ลดลง 2 วินาที และเพิ่มระยะห่างของเวลาต่อการเตรนหนึ่งครั้ง จาก 25 วินาทีต่อครั้ง เป็น 30 วินาทีต่อครั้ง

4) สภาพหลังการปรับปรุง

หลังปรับลดเวลาการเตรนคอนเดนเสท จาก 6 วินาทีต่อครั้ง เป็น 4 วินาทีต่อครั้ง และเพิ่มระยะห่างของเวลาต่อการเตรนหนึ่งครั้ง จาก 25 วินาทีต่อครั้ง เป็น 30 วินาทีต่อครั้ง ทำให้ปริมาณอากาศอัดลดลง 1,819.68 ลิตรต่อชั่วโมง และคุณภาพของอากาศอัดสามารถใช้งานได้ตามปกติ



รูปที่ 6.2-6 การเซ็ทค่าการเตรนจาก 6 วินาทีเป็น 4 วินาที



รูปที่ 6.2-7 ทดสอบการเตรนคอนเดนเสทหลังปรับปรุง



5) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

ระยะเวลาดำเนินการ	0.25	เดือน
เงินลงทุน	ไม่มี	บาท
ผลประโยชน์ที่ได้	5,818	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	-	ปี

6) วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ขนาดรูที่ใช้ในการเตรน	3	มิลลิเมตร
ความดันอากาศอัดที่ใช้งาน	6.7	บาร์
ปริมาณการสูญเสียอากาศอัดจากการเตรนต่อครั้ง		
= $0.1483 \times \text{ขนาดรูที่ใช้ในการเตรน (mm)}^2 \times \text{Discharge Coefficient : DC (0.65)}$		
x (ความดันอากาศอัดที่ใช้งาน บาร์ + 1.013 บาร์)		
= $(0.1483 \times (3)^2 \times 0.65 \times (6.7 + 1.013))$		
= 6.69		
		ลิตรต่อวินาที

ก่อนปรับปรุง

แอร์ดรายเออร์ DYNA

ระยะเวลาช่วงที่มีการเตรนอากาศอัด	6	วินาที
ระยะเวลาช่วงที่หยุดการเตรนอากาศอัด	25	วินาที
ระยะเวลาทั้งหมด	31	วินาที
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงมีโหลด	19.35	เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงไม่มีโหลด	80.65	เปอร์เซ็นต์
จำนวนรอบในการเตรน	116	ครั้งต่อชั่วโมง

ปริมาณอากาศอัดที่เตรนออกต่อชม.

= ปริมาณการสูญเสียอากาศอัดจากการเตรนต่อครั้ง x ระยะเวลาช่วงที่มีการเตรน		
อากาศอัด x จำนวนรอบในการเตรน		
= 6.69 ลิตรต่อวินาที x 6 วินาที x 116 ครั้งต่อชั่วโมง		
= 4,656.24		
		ลิตรต่อชั่วโมง

หลังปรับปรุง

ระยะเวลาช่วงที่มีการเตรนอากาศอัด	4	วินาที
ระยะเวลาช่วงที่หยุดการเตรนอากาศอัด	30	วินาที
ระยะเวลาทั้งหมด	34	วินาที
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงมีโหลด	11.76	เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วงไม่มีโหลด	88.24	เปอร์เซ็นต์
จำนวนรอบในการเตรน	106	ครั้งต่อชั่วโมง



ปริมาณอากาศอัดที่เตรนออกต่อชั่วโมง

$$\begin{aligned}
 &= \text{ปริมาณการสูญเสียอากาศอัดจากการเตรนต่อครั้ง} \times \text{ระยะเวลาช่วงที่มีการเตรน} \\
 &\quad \text{อากาศอัด} \times \text{จำนวนรอบในการเตรน} \\
 &= 6.69 \text{ ลิตรต่อวินาที} \times 4 \text{ วินาที} \times 106 \text{ ครั้งต่อชั่วโมง} \\
 &= 2,836.56 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง}
 \end{aligned}$$

ปริมาณอากาศอัดที่เตรนออกต่อชั่วโมงที่ประหยัดได้

$$\begin{aligned}
 &= \text{ปริมาณอากาศอัดที่เตรนก่อนปรับปรุง} - \text{ปริมาณอากาศอัดที่เตรนหลังปรับปรุง} \\
 &= 4,656.24 - 2,836.56 \\
 &= 1,819.68 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง} \\
 &= 0.51 \text{ ลิตรต่อวินาที}
 \end{aligned}$$

- กำลังไฟฟ้าเครื่องอัดอากาศ No.4 31.11 กิโลวัตต์
- อัตราการผลิตอากาศอัด เครื่องอัดอากาศ No.4 57.50 ลิตรต่อวินาที
- SPC (Specific Power Consumption) 0.54 กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที

$$\begin{aligned}
 \text{พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้} &= \text{ปริมาณอากาศอัดที่เตรนออกที่สามารถลดได้} \times \text{SPC} \\
 &= 0.51 \text{ ลิตรต่อวินาที} \times 0.54 \text{ กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที} \\
 &= 0.28 \text{ กิโลวัตต์}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้} &= \text{พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้} \times \text{ชั่วโมงทำงานใน 1 ปี} \\
 &= 0.28 \text{ กิโลวัตต์} \times 23.56 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \times 300 \text{ วันต่อปี} \\
 &= 1,979 \text{ หน่วยต่อปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{คิดเป็นจำนวนที่ประหยัดได้} &= 1,979 \text{ หน่วยต่อปี} \times 2.94 \text{ บาทต่อหน่วย} \\
 &= 5,818 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$



6.2.2 การใช้ถังเก็บอากาศที่มีขนาดเหมาะสม

ระบบอากาศอัดโดยปกติจะต้องมีถังเก็บอากาศต่อหลังจากเครื่องอัดอากาศ ถังเก็บอากาศจะมีมากกว่าหนึ่งถังก็ได้แต่ต้องเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของภาระด้วย ในที่นี้จะพูดถึงกรณีถังเก็บอากาศขนาดเล็ก ส่วนตัวถังเก็บอากาศที่มีขนาดความจุมาก ๆ ไม่มีข้อเสียเกี่ยวกับการประหยัดพลังงาน แต่มีข้อเสียในเรื่องการลงทุนเพราะราคาสูง ถังเก็บอากาศอัดที่เหมาะสมมีหน้าที่ดังนี้

- เก็บอากาศอัดและลดการกระเพื่อมของความดันอากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศ
- สามารถชดเชยความต้องการของภาระในลักษณะ Peak Load ได้
- ช่วยลดการติดต่อของเครื่องอัดอากาศที่บ่อยเกินไป
- ช่วยระบายความร้อนของอากาศอัด และเป็นจุดกลั่นตัวของน้ำและน้ำมัน

ขนาดของถังเก็บอากาศ โดยปกติจะแยกระบบภาระไว้เป็น 2 ลักษณะ คือ ระบบภาระที่มีความต้องการปริมาณคงที่ และระบบภาระที่มีความต้องการปริมาณไม่คงที่

1) ระบบที่มีความต้องการปริมาณอากาศอัดคงที่

ระบบที่มีความต้องการปริมาณอากาศอัดคงที่ ปริมาตรถังเก็บอากาศอัดไม่จำเป็นต้องใหญ่มากนัก โดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 10 เท่าของกำลังการผลิตมีหน่วยเป็นวินาทีสำหรับระบบที่ผลิตความดันระหว่าง 6 - 10 บาร์ สำหรับสมการที่ใช้คำนวณหาค่าปริมาตรของถังนั้นได้แสดงไว้แล้วที่ สมการ (3.4.1) – (3.4.3) หรือหาได้จากสมการ

$$V = \frac{A \times C_o \times P_o}{P_g + P_o} \quad (6.2.1)$$

- เมื่อ
- P_g = ความดันใช้งานเป็นเกจ
 - P_o = ความดันสัมบูรณ์ของบรรยากาศ
 - C_o = ขนาดของเครื่องอัดอากาศ, ลูกบาศก์เมตรต่อนาที : FAD
 - A = ตัวประกอบ, นาที โดยทั่วไป $A = 1.5$

โดยปกติถังเก็บอากาศสำหรับระบบที่มีความต้องการปริมาณอากาศอัดคงที่ที่ความดันในการผลิต 6 - 10 บาร์ จะอยู่ที่ประมาณ 8 - 12 วินาที ของกำลังการผลิต หรือขนาดถังเก็บอากาศค่าเฉลี่ยเป็น 10 วินาที ดังนั้นปริมาตรของถังอัดหาได้จากสมการ (6.2.2)

$$V = 10C_o \quad (6.2.2)$$

2) ระบบที่มีความต้องการปริมาณอากาศอัดที่ไม่คงที่

ระบบที่มีความต้องการปริมาณอากาศอัดไม่คงที่ ถังเก็บอากาศอัดจะมีความจำเป็นอย่างมาก เพื่อที่จะรองรับความต้องการของภาระช่วงขณะที่มีความต้องการมากกว่ากำลังการผลิตของเครื่องทั่วไปจะหาขนาดของถังเก็บอากาศที่ 3 เท่าของการผลิตมีหน่วยเป็นนาที ดังนั้นจะได้ดัง สมการ (6.2.3)



$$V = \frac{3 \times C_o \times P_o}{P_g + P_o} \quad (6.2.3)$$

3) ความสัมพันธ์ของขนาดถัง เวลา และความดันที่ลดลง
สามารถเขียนได้ดัง สมการ (6.2.4) หรือ สมการ (6.2.5)

$$V = \frac{P_o \times (V_d - C_o) \times t}{\Delta P} \quad (6.2.4)$$

หรือ

$$t = \frac{V \times \Delta P}{P_o \times (V_d - C_o)} \quad (6.2.5)$$

เมื่อ V_d = ความต้องการอากาศของระบบ, ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
 t = เวลา, นาที
 P = ผลต่างของความดันในถัง, บาร์

ตัวอย่างที่ 6.2-2 การเพิ่มถังเก็บอากาศอัดให้เหมาะสม

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ขนาด 7.5 กิโลวัตต์ พร้อมถังพักอากาศอัดขนาด 250 ลิตร จ่ายอากาศอัดสำหรับใส่ในท่อถุงพลาสติก โดยการเป่าถุงควบคุมความกว้างของถุงพลาสติกตามขนาดที่ลูกค้ากำหนด และบางครั้งใช้เป่าทำความสะอาดบริเวณใต้เครื่องจักร การใช้อากาศอัดในแต่ละช่วงเวลาจะมีปริมาณแตกต่างกัน โดยในช่วงเวลาที่มีการใช้อากาศอัดพร้อมๆ กัน เครื่องอัดอากาศต้องทำงานหนัก



รูปที่ 6.2-8 เครื่องอัดอากาศก่อนปรับปรุงมีถังเก็บอากาศอัด 1 ใบ



1) ปัญหาของ เครื่องอัดอากาศ ก่อนปรับปรุง

เครื่องอัดอากาศมีขนาดเล็กไม่เหมาะสมกับการใช้งาน ใช้เวลาอัดอากาศเข้าถึงเก็บแต่ละครั้งนานถึง 8.54 นาทีต่อครั้ง และหยุดพักเฉลี่ย 1.59 นาทีต่อครั้ง (1 รอบการทำงาน = 10.13 นาที) ทำให้เครื่องอัดอากาศต้องทำงานถี่ และมีช่วงเวลาหยุดพักน้อย เครื่องมีความร้อนสูงสึกหรอเร็ว ใช้พลังงานไฟฟ้ามาก

2) แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากแนวความคิดเดิมจะเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นแต่มีค่าใช้จ่ายสูงมาก จึงมี **แนวความคิดใหม่** ที่จะนำถังเก็บอากาศอัดของโรงงานในเครื่องที่เปลี่ยนออก นำมาต่อพ่วงกับถังเก็บอากาศอัดเดิมเป็น 2 ใบ ดังรูปที่ 6.2-9 จะทำให้ปริมาตรอากาศอัดในถังเพิ่มขึ้น เพื่อลดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ



รูปที่ 6.2-9 หลังติดตั้งต่อถังเก็บอากาศอัดเพิ่ม (ถังอากาศอัดแบบแนวดิ่ง)

3) สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากที่ติดตั้งถังเก็บอากาศอัดเพิ่มเป็น 2 ใบ ได้บันทึกเก็บตัวอย่างข้อมูลจำนวน 22 ตัวอย่างและนำข้อมูลอากาศอัดมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยการทำงาน 1 รอบได้ดังนี้

เวลาทำงานเฉลี่ย	=	6.83	นาทีต่อรอบ
เวลาหยุดเฉลี่ย	=	3.42	นาทีต่อรอบ
1 รอบการทำงาน	=	10.25	นาทีต่อรอบ
	=	0.17	ชั่วโมงต่อรอบ

ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
เวลารวม เฉลี่ย (10.13 นาที)	0.17 ชั่วโมง	เวลารวม เฉลี่ย (10.25 นาที)	0.17 ชั่วโมง
เวลาทำงานเฉลี่ย	0.14 ชั่วโมง	เวลาทำงานเฉลี่ย	0.11 ชั่วโมง
เวลาหยุดเฉลี่ย	0.026 ชั่วโมง	เวลาหยุดเฉลี่ย	0.05 ชั่วโมง

4) วิธีการคำนวณหาผลการอนุรักษ์พลังงาน

$$\begin{aligned}
 \text{เวลาที่เครื่องหยุดเพิ่มขึ้น} &= \text{เวลาหยุดหลังปรับปรุง} - \text{เวลาหยุดก่อนปรับปรุง} \\
 &= 0.05 - 0.026 = 0.024 \quad \text{ชั่วโมงต่อรอบการทำงาน}
 \end{aligned}$$



เปอร์เซ็นต์เวลาที่เครื่องอัดอากาศหยุดเพิ่มขึ้น

เวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงาน 1 รอบ (0.17 ชั่วโมง) = 100	เปอร์เซ็นต์
เวลาที่หยุดเพิ่มขึ้น = 0.024	ชั่วโมงต่อรอบทำงาน
สัดส่วนที่เครื่องหยุดเพิ่มขึ้น = (100 x 0.024) / 0.17	
= 14.11	เปอร์เซ็นต์ต่อรอบการทำงาน
เครื่องอัดอากาศ ขนาด = 7.5	กิโลวัตต์
ชั่วโมงการทำงาน = 24	ชั่วโมงต่อวัน
จำนวนชั่วโมงทำงานที่ลดลงต่อวัน = 24 x 0.1411	
= 3.386	ชั่วโมงต่อวัน
วันทำงานต่อปี = 300	วันต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด = 7.5 x 3.386 x 300	
= 7,618.50	หน่วยต่อปี
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัด = 7,618.50 x 3.00	
= 22,855	บาทต่อปี

ตัวอย่างที่ 6.2-3 การเพิ่มถังเก็บอากาศอัดให้เหมาะสม

(ก) หากขนาดของเครื่องอัดอากาศเป็น 25 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ทำงานที่ 7 บาร์ ขนาดของถังเก็บอากาศควรเป็นเท่าใด เพื่อที่จะรับความต้องการที่แปรเปลี่ยนได้

จากสมการ	$V = \frac{3 \times C_0 \times P_0}{P_g + P_0}$	
เมื่อ	$C_0 = 25$	ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
	$P_0 = 1.013$	บาร์
	$P_g + P_0 = 7 + 1.013$	
	= 8.013	บาร์
ดังนั้น	$V = (3 \times 25 \times 1.013) / 8.013$	
	= 9.5	ลูกบาศก์เมตร

ขนาดถังที่สามารถรับความดันที่แปรเปลี่ยนได้ควรมีขนาด 9.5 ลูกบาศก์เมตร

(ข) ถ้าความต้องการของระบบในชั่วขณะเพิ่มเป็น 30 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที โดยที่ยอมให้ความดันในระบบลดลงหรือไม่ต่ำกว่า 6 บาร์ ถังเก็บอากาศนี้สามารถรับได้นานเท่าใด



จากสมการ	t	$=$	$\frac{V \times \Delta P}{P_o \times (V_d - C_o)}$	
ขนาดถัง	V	$=$	9.5	ลูกบาศก์เมตร
ความดันที่ยอมให้ตกได้	ΔP	$=$	$7 - 6 = 1$	บาร์
ความต้องการอากาศของระบบ	V_d	$=$	30	ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
ความสามารถของเครื่อง	C_o	$=$	25	ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
ดังนั้น	t	$=$	$9.5 \times 1 / [1.013 \times (30 - 25)]$	
		$=$	1.9	นาที

สรุป ถังนี้สามารถ Over load เพิ่มจากปกติอีกจำนวน 5 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ได้นาน 1.9 นาที

(ค) ถ้าเครื่องอัดอากาศทำงานแบบ on-off โดยที่ความต้องการของอากาศสม่ำเสมอที่ 20 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที และยอมให้ความดันลดลงไม่ต่ำกว่า 6 บาร์ ให้หาเวลา on-off

ขนาดถัง	V	$=$	9.5	ลูกบาศก์เมตร
ความดันที่ยอมให้ตกได้	ΔP	$=$	$7 - 6 = 1$	บาร์
ความดันบรรยากาศ	P_o	$=$	1.013	บาร์
ความต้องการอากาศของระบบ	V_d	$=$	20	ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
จากสมการ	t	$=$	$\frac{V \times \Delta P}{P_o \times (V_d - C_o)}$	
เวลาช่วง off	t_{off}	$=$	$\frac{9.5 \times 1 \times 60}{1.013 \times (20 - 0)}$	
		$=$	28	วินาที
เวลาช่วง on	t_{on}	$=$	$\frac{9.5 \times -1 \times 60}{1.013 \times (20 - 25)}$	
		$=$	113	วินาที



6.2.3 มาตรการลดการรั่วไหลในระบบอากาศอัด

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าการรั่วไหลเป็นการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ เพราะการรั่วไหลไม่ได้ก่อให้เกิดงานขึ้นมา แต่เป็นการสูญเสียพลังงาน ควรจะอย่างไร เช่น ตรวจสอบอย่างไร สังเกตอย่างไร ขอความร่วมมืออย่างไร และเมื่อไหร่ควรจะตรวจสอบจึงจะได้ผล เพื่อลดการสูญเสียของอากาศอัด

ในหนังสือเล่มนี้จะได้นำวิธีการต่างๆ เพื่อใช้ควบคุมการรั่วไหลของอากาศอัด โดยปกติการรั่วไหลของอากาศอัด ยินยอมให้ได้เพียงแค่อ้อยละ 5 ของการผลิต เมื่อใดก็ตามหากทดสอบการรั่วไหลแล้วเกินกว่าร้อยละ 5 ให้รีบดำเนินการแก้ไขโดยด่วน

ตำแหน่งการรั่วไหลของอากาศอัดที่มักพบบ่อยๆ เช่น วาล์ว หน้าแปลน ข้อต่อท่อต่างๆ จุดต่อเข้าเครื่องจักร หัวต่อสาย และตำแหน่งที่รั่วมักจะรั่วซ้ำๆ จุดเดิมอาจเนื่องมาจากการยึดท่อที่ไม่แข็งแรง หรือบริเวณจุดที่ใช้งานมีการเคลื่อนไหวหรือไม่ก็การต่อสายท่ออ่อนไม่ถูกต้อง เป็นต้น

การรั่วมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การรั่วตรงและการรั่วซึม ซึ่งมักพบทั้ง 2 ลักษณะ แต่ที่พบส่วนมากจะเป็นรั่วซึมมากกว่า เพราะการรั่วซึมสังเกตได้ยาก เสียงเบา และคนมักจะละเลยคิดว่าสูญเสียเพียงนิดเดียว ส่วนการรั่วตรงส่วนใหญ่จะพบที่จุดควบคุมนิวเมติกส์ เช่น การรั่วไหลของวาล์วคอนโทรล หรือชุดปรับลดความดันก่อนเข้าอุปกรณ์ แต่ก็ถูกละเลยเช่นกัน การตรวจสอบการรั่วมี 2 ลักษณะ ดังนี้

1) การตรวจสอบปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดขณะไม่มีภาระ (No-Load Testing)

สามารถกระทำได้โดยอาศัยอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบซึ่งไม่ต้องมีการลงทุนใดๆ เพิ่มเติม แต่มีข้อพึงปฏิบัติที่สำคัญ คือ ต้องปิดภาระทุกชนิดของระบบอากาศอัดที่จะทำการทดสอบ วิธีการทดสอบดังกล่าวมีอยู่ 2 กรณี ดังนี้

1.1) เครื่องอัดอากาศที่ทำงานแบบ Start/ Stop

ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กจำพวกลูกสูบและโรตารีเวน แต่ถ้าเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่ที่มีลักษณะการทำงานแบบนี้ก็ต้องใช้วิธีเดียวกัน ซึ่งสมการคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของอากาศอัด Q_{Leak} คือ

$$Q_{Leak} = \frac{QT_{av}}{T_{av} + t_{av}} \quad (6.2.6)$$

โดยที่	Q_{Leak}	คือ ปริมาณอากาศอัดที่รั่วไหล, ลิตรต่อวินาที
	Q	คือ อัตราการผลิตที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้ (FAD), ลิตรต่อวินาที
	T_{av}	คือ เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศเริ่มทำงาน (วินาที)
	t_{av}	คือ เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน (วินาที)



วิธีการทดสอบ

- (1) ปิดอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดในระบบทุกตัว (ปิดเครื่องจักรแต่ให้เปิดวาล์วไว้)
- (2) เริ่มเดินเครื่องอัดอากาศ พร้อมกับจับเวลา (T_{on}) เครื่องอัดอากาศจะหยุดทำงานเมื่อถึงความดันที่ตั้งไว้ ทำการบันทึกเวลา ช่วงระยะเวลา หลังจากนี้อากาศที่อัดจะรั่วออกตามรอยรั่วต่างๆ ให้จับเวลาที่เครื่องหยุด (t_{off})
- (3) เมื่อความดันลดลงเครื่องอัดอากาศทำงานใหม่ให้ทำการบันทึกเวลาอีก ดำเนินการเช่นนี้ประมาณ 3-5 ครั้ง เพื่อความแม่นยำ แล้วนำมาวิเคราะห์ผล
- (4) นำค่าเวลาที่วิเคราะห์ได้จากตารางบันทึกเวลา ไปแทนในสมการ เพื่อคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของอากาศ

สำหรับตัวอย่างตารางบันทึกสภาวะการทำงานของเครื่องแบบ Start/Stop แสดงดังตารางที่

6.2-1

ตารางที่ 6.2-1 ตารางบันทึกสภาวะการทำงานของเครื่องแบบ Start/Stop

ครั้งที่	เวลาที่เครื่องอัดอากาศเริ่มทำงาน	เวลาที่เครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน	T_{on} (s)	t_{off} (s)
1	$T_{11} = 0$	T_{12}	$T_1 = T_{12} - T_{11}$	-
2	T_{21}	T_{22}	$T_2 = T_{22} - T_{21}$	$t_1 = T_{21} - T_{12}$
3	T_{31}	T_{32}	$T_3 = T_{32} - T_{31}$	$t_2 = T_{31} - T_{22}$
4	T_{41}	T_{42}	$T_4 = T_{42} - T_{41}$	$t_3 = T_{41} - T_{32}$
5	T_{51}	T_{52}	$T_5 = T_{52} - T_{51}$	$t_4 = T_{51} - T_{42}$
ค่าเฉลี่ย			$T_{av} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5}$	$t_{av} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{4}$

1.2) เครื่องอัดอากาศที่ทำงานแบบ Load/Unload

เหมาะสำหรับเครื่องที่ทำงานในสภาวะ Load/ Unload ทัวไปไม่เหมาะกับเครื่องที่ทำงานแบบ Modulating โดยอาศัยการหรีวาล์ว เพราะการหรีวาล์วทำให้หาค่าการผลิตอากาศอัดได้ยาก เครื่องอัดอากาศบางยี่ห้อหรีวาล์วแทบจะไม่ผลิตอากาศอัดออกมา แต่เครื่องอัดอากาศยังต้องใช้พลังงานมากถึงร้อยละ 70 ของพิกัดเครื่อง (เครื่องอัดอากาศแบบนี้ไม่ควรอย่างยิ่งที่จะนำมาทำงานในลักษณะ Load/ Unload)



สมการคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของอากาศอัด

$$Q_{\text{Leak}} = \frac{V(P_1 - P_2)}{T_{\text{av}}} \quad (6.2.7)$$

- โดยที่ Q_{Leak} คือ ปริมาณอากาศอัดที่รั่วไหล, ลิตรต่อวินาที
 V คือ ปริมาตรทั้งหมดของถัง ท่อส่ง และวาล์ว, ลิตร
 P_1 คือ ความดันตัดโหลด (Cut out pressure), บาร์
 P_2 คือ ความดันต่อโหลด (Cut in pressure), บาร์
 T_{av} คือ เวลาเฉลี่ยจากความดัน P_1 ถึง P_2

วิธีการทดสอบ

- (1) คำนวณปริมาตรของถังเก็บอากาศ ท่อส่ง และวาล์วต่าง ๆ
- (2) ปิดอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดในระบบทุกตัว (ปิดเครื่องจักรแต่ให้เปิดวาล์วไว้)
- (3) เดินเครื่องอัดอากาศ เพื่ออัดอากาศเข้าถังจนถึงความดันที่ตั้งไว้ (P_1) แล้วทำการปิดวาล์วด้านอากาศเข้าถัง พร้อมทั้งจับเวลารอจนกระทั่งความดันลดลงถึงทำการบันทึกเวลาดำเนินการเช่นนี้ประมาณ 3-5 ครั้ง แล้วทำการวิเคราะห์ (หรือเปิดเครื่องอัดอากาศตลอดแล้วบันทึกช่วงUnload 3-5 ครั้งก็ได้)
- (4) นำค่าเวลาที่วิเคราะห์ได้จากตารางไปแทนในสมการ เพื่อคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของอากาศ

สำหรับตัวอย่างตารางบันทึกสภาวะการทำงานของเครื่องแบบ (Load/Unload) แสดงดังตารางที่

6.2-2

ตารางที่ 6.2-2 ตารางบันทึกสภาวะการทำงานของเครื่องแบบ Load/Unload

ครั้งที่	เวลา ณ ความดัน $P_1 = \dots\dots\dots \text{bar}$	เวลา ณ ความดัน $P_2 = \dots\dots\dots \text{bar}$	T_1 (วินาที)
1	T_{11}	T_{12}	$T_1 = T_{12} - T_{11}$
2	T_{21}	T_{22}	$T_2 = T_{22} - T_{21}$
3	T_{31}	T_{32}	$T_3 = T_{32} - T_{31}$
4	T_{41}	T_{42}	$T_4 = T_{42} - T_{41}$
5	T_{51}	T_{52}	$T_5 = T_{52} - T_{51}$
ค่าเฉลี่ย			$T_{\text{av}} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5}$



ตัวอย่างที่ 6.2-4 (ก) การตรวจสอบปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัด ด้วยวิธีทดสอบโดยการหยุดระบบผลิต

โรงงานแห่งหนึ่งติดตั้งเครื่องอัดอากาศ 15 แรงม้า หรือ 11 กิโลวัตต์ กำลังการผลิตอากาศอัด 20.48 ลิตรต่อวินาที ที่ 10 บาร์ จากการทดสอบการรั่วไหลของอากาศอัด โดยการจับเวลาได้ดังนี้ ช่วงเวลาทำงานเฉลี่ย $T_{av} = 45$ วินาที และช่วงเวลาเครื่องหยุดเฉลี่ย $t_{av} = 120$ วินาที คิดเป็นการรั่วไหลเท่าไร และคิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเท่าไร (ค่าพลังงานต่อการผลิตอากาศอัดเท่ากับ (11 กิโลวัตต์ / 20.48 ลิตรต่อวินาที = 0.537 กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที) เวลาทำงาน 3,600 ชั่วโมงต่อปี

จากสมการ 6.2.6	$Q_{Leak} = \frac{QT_{av}}{T_{av} + t_{av}}$	
	$Q_{Leak} = 20.48 \times [45 / (45 + 120)]$	
	$= 5.59$	ลิตรต่อวินาที
คิดเป็นพลังไฟฟ้า	$= 5.59 \times 0.537$	
	$= 3.0$	กิโลวัตต์
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้า	$= 3.00 \times 3,600$	
	$= 10,800$	หน่วยต่อปี

จะเห็นได้ว่าขณะที่เราทำการผลิตอากาศอัด จะมีการรั่วไหลแฉ่งอยู่ประมาณ 3 กิโลวัตต์ หรือ 27.27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการสูญเสียมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างที่ 6.2-4 (ข) การตรวจสอบปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัด ด้วยวิธีทดสอบโดยการหยุดระบบผลิต

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ในกระบวนการผลิตของโรงงานจะมีการใช้ลมจากระบบอัดอากาศโดยใช้ Screw Compressor ขนาด 160 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ชุด และ 75 กิโลวัตต์ 2 ชุด ปกติเปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศขนาด 160 กิโลวัตต์ เพียงชุดเดียว โดยใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน และ 352 วันต่อปี ตามลำดับ

2) ปัญหาของอุปกรณ์ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ จากการตรวจสอบ พบว่า มีอากาศอัดรั่วหลายแห่งที่บริเวณวาล์วหรือข้อต่อและอุปกรณ์ดัก





Main Air Supply



Staking Machine



Drum No.5



Spraying No.5

รูปที่ 6.2-10 จุดที่มีการรั่วในของอากาศอัดก่อนปรับปรุง

3) แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

การแก้ไขรอยรั่วอากาศอัดที่พบในโรงงาน ถ้ามีการแก้ไขจะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานได้ เนื่องจาก จะทำให้เครื่องอัดอากาศทำงานน้อยลง โดยทำการอัดอากาศในปริมาณที่นำไปใช้เท่านั้น ไม่ต้องอัดอากาศเพื่อชดเชยการรั่วไหล

(1) ประเมินผลการสูญเสียพลังงาน โดยการทดสอบจับเวลาการเดินเครื่องอัดอากาศที่สภาวะ Load และ Unload ในช่วงเวลาที่โรงงานหยุดการผลิต ซึ่งถ้าเครื่องอัดอากาศเดินที่สภาวะ Load นานๆ แสดงว่า มีการรั่วไหลของอากาศอัดในปริมาณมาก หลังจากนั้นจึงประเมินการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นเป็นค่าใช้จ่าย

(2) วางแผนการสำรวจหาจุดรั่วไหลทั้งหมดของโรงงานและซ่อมแซมจุดรั่ว และกำหนดรูปแบบการตรวจสอบสภาพจุดอากาศอัดรั่วร่วมกับการตรวจสอบการซ่อมบำรุงเครื่องจักรต่างๆ เป็นรายเดือน

(3) ดำเนินการตรวจสอบผลการสูญเสียพลังงานอีกครั้งหลังจากมีการซ่อมแซมจุดรั่วไหลของอากาศอัดเรียบร้อยแล้ว การดำเนินการเป็นลักษณะเช่นเดียวกันก่อนปรับปรุงซ่อมแซมจุดรั่ว โดยการทดสอบจับเวลาการเดินเครื่องอัดอากาศที่สภาวะ Load และ Unload ในช่วงเวลาที่โรงงานหยุดการผลิต



หลังจากนั้นจึงประเมินการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นเป็นค่าใช้จ่าย ค่าใช้จ่ายที่ลดลง คือ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการปรับปรุงซ่อมแซมจุดรั่วของอุปกรณ์ใช้งานทั้งหมดของระบบอากาศอัด

4) การจัดทำรายงาน

หลังจากที่มีการค้นหามาตรการการอนุรักษ์พลังงาน ทางโรงงานได้แนวคิดในการปรับปรุงการรั่วไหล ในระบบอากาศอัด และหลังจากที่มีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในทางเทคนิคและศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นแล้ว ที่ประชุมจึงดำเนินการจัดทำรายงานต่อผู้บริหารโรงงาน ซึ่งในรายงานประกอบด้วยเหตุผลของการดำเนินการมาตรการ ประโยชน์ที่จะได้รับการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และการคำนวณผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับหลังการดำเนินการ

5) สภาพหลังปรับปรุง

ดำเนินการปรับปรุงซ่อมแซมจุดรั่วของอากาศอัดตามอุปกรณ์ใช้งานในโรงงานได้ตามแผนงานที่กำหนดไว้และลดการสูญเสียพลังงานได้



รูปที่ 6.2-11 สภาพหลังการปรับปรุงอากาศอัดรั่วในระบบอากาศอัด

6) ข้อเสนอแนะ

มาตรการการลดการรั่วไหลของระบบอากาศอัดสามารถดำเนินการซ่อมแซมได้โดยใช้เชื้อเพลิงที่มี การสำรองไว้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย

7) วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

พลังงานที่สูญเสียจากการรั่วไหลของอากาศอัดสามารถประเมินการสูญเสียได้โดยการทดสอบ จับเวลาการเดินเครื่องอัดอากาศที่สภาวะ Load และ Unload ในช่วงเวลาที่โรงงานหยุดการผลิต ซึ่งมี รายละเอียดดังนี้ คือ

$$\text{เปอร์เซ็นต์อากาศอัดรั่วไหล} = t_{\text{load}} / (t_{\text{load}} + t_{\text{unload}}) \times 100$$

เมื่อ t_{load} คือ เวลาที่ใช้ในการอัดอากาศเดินรับภาระ, วินาที

t_{unload} คือ เวลาที่ใช้ความดันอากาศเดินไม่รับภาระ, วินาที

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย} = kW_{\text{ave}} \times (\text{ชั่วโมงเปิดใช้งานต่อวัน}) \times (\text{วันทำงานต่อปี})$$

$$\text{โดยที่ } kW_{\text{ave}} = [kW_{\text{load}} \times t_{\text{load}} / (t_{\text{load}} + t_{\text{unload}})] + [kW_{\text{unload}} \times t_{\text{unload}} / (t_{\text{load}} + t_{\text{unload}})]$$



ดังนั้นจากข้อมูลการตรวจสอบของทีมงานโรงงาน สามารถวิเคราะห์การสูญเสียพลังงาน ได้ดังนี้
ก่อนปรับปรุง

$$\begin{aligned}
 t_{\text{load}} &= 25 && \text{วินาที} \\
 t_{\text{unload}} &= 129 && \text{วินาที} \\
 \text{เปอร์เซ็นต์อากาศอัดรั่วไหล} &= 25 / (25 + 129) \times 100 \\
 &= 16.23 && \text{เปอร์เซ็นต์} \\
 kW_{\text{load}} &= 171.0 && \text{กิโลวัตต์} \\
 kW_{\text{unload}} &= 51.3 && \text{กิโลวัตต์} \\
 kW_{\text{ave}} &= ((171.0 \times 25) + (51.3 \times 129)) / (25 + 129) \\
 &= 70.73 && \text{กิโลวัตต์} \\
 \text{พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย} &= 70.73 \text{ กิโลวัตต์} \times 24 \text{ (ชั่วโมงต่อวัน)} \times 352 \text{ (วันต่อปี)} \\
 &= 597,542.40 && \text{หน่วยต่อปี}
 \end{aligned}$$

หลังปรับปรุง

$$\begin{aligned}
 t_{\text{load}} &= 25.0 && \text{วินาที} \\
 t_{\text{unload}} &= 190 && \text{วินาที} \\
 \text{เปอร์เซ็นต์อากาศอัดรั่วไหล} &= 25.0 / (25 + 190) \times 100 \\
 &= 11.63 && \text{เปอร์เซ็นต์} \\
 kW_{\text{load}} &= 171 && \text{กิโลวัตต์} \\
 kW_{\text{unload}} &= 51.3 && \text{กิโลวัตต์} \\
 kW_{\text{ave}} &= ((171 \times 25) + (51.3 \times 190)) / (25.0 + 190) \\
 &= 65.22 && \text{กิโลวัตต์} \\
 \text{พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย} &= 65.22 \text{ กิโลวัตต์} \times 24 \text{ (ชั่วโมงต่อวัน)} \times 352 \text{ (วันต่อปี)} \\
 &= 550,966.77 && \text{หน่วยต่อปี}
 \end{aligned}$$

ผลประหยัด

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลง} &= 597,542.40 - 550,966.77 \\
 &= 46,575.63 && \text{หน่วยต่อปี} \\
 \text{คิดเทียบเป็นน้ำมันดิบได้} &= 46,575.63 \times 85.21 / 1,000,000,000 \\
 &= 0.00397 && \text{ktoeต่อปี} \\
 \text{ทางโรงงานเสียค่าไฟฟ้าเฉลี่ย} &= 2.92 && \text{บาทต่อหน่วย}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นคำนวณผลประหยัดพลังงานรวมเป็นค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้} &= 46,575.63 \times 2.92 \\
 &= 136,000.83 && \text{บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ ปริมาณอากาศอัดรั่วไหลของระบบที่เป็นที่ยอมรับได้ไม่ควรสูงเกินกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอากาศอัดที่ผลิตได้



ตัวอย่างที่ 6.2-4 (ค) การตรวจสอบปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัด ด้วยวิธีทดสอบโดยการหยุดระบบผลิต

โรงงานแห่งหนึ่งติดตั้งเครื่องอัดอากาศ 100 แรงม้า หรือ 75 กิโลวัตต์ กำลังการผลิตอากาศอัด 243 ลิตรต่อวินาที ที่ 7.5 บาร์ จากการสำรวจถังเก็บอากาศและท่อส่งจ่ายอากาศอัดมีความจุรวม 4,500 ลิตร ความดันสุดท้าย (P_1) = 7.5 บาร์ และความดันเริ่มต้น (P_2) = 6.5 บาร์ เวลาเฉลี่ยจาก $P_1 - P_2$ (T_{av}) เท่ากับ 150 วินาที ค่าพลังงานต่อการผลิตอากาศอัดเท่ากับ (75 กิโลวัตต์ / 243 ลิตรต่อวินาที = 0.31 กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที) เวลาทำงาน 7,200 ชั่วโมงต่อปี

จากสมการ 6.2.7	$Q_{Leak} = \frac{V(P_1 - P_2)}{T_{av}}$	
	$Q_{Leak} = 4,500 \times [(7.5 - 6.5) / 150]$	
	$= 30$	ลิตรต่อวินาที
คิดเป็นพลังไฟฟ้า	$= 30 \times 0.31$	
	$= 9.3$	กิโลวัตต์
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้า	$= 9.3 \times 7,200$	
	$= 66,960$	หน่วยต่อปี

จะเห็นได้ว่าขณะที่เราทำการผลิตอากาศอัด จะมีการรั่วไหลแฝงอยู่ประมาณ 9 กิโลวัตต์ หรือ 12.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการสูญเสียมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

2) การตรวจสอบการรั่วไหลของอากาศอัดที่อุปกรณ์ใช้งาน

เป็นการดำเนินการตรวจสอบการรั่วไหลตามจุดอุปกรณ์ใช้อากาศอัด หรืออุปกรณ์ควบคุมอากาศอัด วาล์ว หน้าแปลน ข้อต่อท่อต่าง ๆ จุดต่อเข้าเครื่องจักร และหัวต่อสาย เป็นต้น โดยดำเนินการตรวจสอบอย่างง่าย ๆ ดังนี้

- ฟังเสียงเมื่อมีการรั่วไหลจะได้ยินเสียง
- ตรวจสอบคราบน้ำ สนิม ไขมันที่จับอยู่ที่อุปกรณ์ หรือสังเกตลม
- ใช้น้ำฟองสบูทดสอบการรั่วไหล
- ใช้มือสัมผัส
- ใช้เครื่องมือตรวจวัด Ultrasonic leak detector





รูปที่ 6.2-12 การใช้ Ultrasonic leak detector ตรวจสอบการรั่วไหลอากาศอัด

สมการคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของอากาศอัดเฉพาะจุด

$$Q_{\text{Leak}} = 0.158 \times d^2 \times (P_g + P_o) \quad (6.2.8)$$

โดยที่ 0.158 คือ ค่าที่ได้มาจากการแทนค่าในสมการมาตรฐานตาม ISO 1217-1996 Annex E (กำหนดค่า Discharge Coefficient ที่ 0.97)

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรั่ว, มิลลิเมตร

P_g คือ แรงดันเกจ ณ จุดรั่วไหล, บาร์

P_o คือ ความดันสัมบูรณ์ 1.013 บาร์

ตารางที่ 6.2-3 ปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดตามขนาดรูรั่วและแรงดันที่รั่ว

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



ตัวอย่างที่ 6.2-5 การตรวจสอบปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดที่อุปกรณ์ใช้งาน โดยไม่ต้องหยุดระบบ
1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการติดตั้งใช้งานเครื่องอัดอากาศ จำนวน 2 เครื่อง สำหรับกระบวนการผลิตสบู่ เป็นประเภทสกรู ระบายความร้อนด้วยอากาศ ขนาด 37 กิโลวัตต์ อัตราการผลิตอากาศ 100 ลิตรต่อวินาที จำนวน 1 ตัว และขนาด 22 กิโลวัตต์ อัตราการผลิตอากาศ 51 ลิตรต่อวินาที จำนวน 1 ตัว จ่ายอากาศอัดให้แผนกหม้อป่น แผนกปั๊มสบู่ เป็นต้น โดยทางโรงงานเดินเครื่องขนาด 37 กิโลวัตต์ เดินเป็นเมนหลักในช่วงการผลิตปกติ และเดินขนาด 22 กิโลวัตต์ ในช่วงที่มีการการผลิตน้อย มีการทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน ปกติ และ OT 3 ชั่วโมง/วัน วันทำงาน 300 วันต่อปี ผลิตอากาศอัดที่ความดันตัดโหลด (Cut Out Pressure) 7.5 บาร์ ความดันอากาศที่ต่อโหลด (Cut In Pressure) 6.5 บาร์ ในขณะที่อุปกรณ์ใช้งานต้องการความดันสูงสุด 5.5 บาร์

2) ปัญหาของอุปกรณ์ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจระบบอากาศอัดที่ใช้ในโรงงาน พบว่าอุปกรณ์ที่ใช้จ่ายอากาศอัด เช่น ชุด Air Service ข้อต่อท่อลมยางและชุดควบคุมการทำงาน (Direction Control Valve) มีการรั่วไหลของอากาศอัดจำนวน 12 จุด ดังรูปที่ 6.2-13 มีปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดรวม 10.17 ลิตรต่อวินาที ดังตารางที่ 6.2-4 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การรั่วไหล 10.17 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6.2-4 ปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัด

ลำดับ	บริเวณ	ขนาดรูรั่ว (มม.)	ความดัน อากาศอัด (บาร์)	ปริมาณ อากาศรั่ว (ลิตร/วินาที)
1	เกลียวด้านบนชุด AR เครื่องอัดสบู่ PS118	1	5.5	0.63
2	ข้อต่อท่อลมยางชุด AR ของหม้อป่น 4	1	5.5	0.63
3	ข้อต่อท่อลมและรูเทรนของชุด AR เครื่องปั๊มสบู่ PD-233	1	5.5	0.63
4	ข้อต่อท่อลมยางชุด Air Service ของเครื่องปั๊มสบู่ 6	1	5.5	0.63
5	ข้อต่อท่อลมยางชุด AL ของเครื่องปั๊มสบู่ 5	1	5.5	0.63
6	ข้อต่อท่อลมยางชุด Air Service ของเครื่องปั๊มสบู่ 11	1	5.5	0.63
7	Direction Control Valve ของเครื่องปั๊มสบู่ 12	1	5.5	0.63
8	ข้อต่อท่อลมยางชุด Air Service ของเครื่องปั๊มสบู่ PD 231	1	5.5	0.63
9	ข้อต่อท่อลมสาขาหลักเครื่องปั๊มอัตโนมัติกั้นแผนกสบู่ใส	1	6.6	0.73
10	ข้อต่อท่อลมสาขาหลักเข้าเครื่อง Shrink	1	6.6	0.73



ลำดับ	บริเวณ	ขนาดรูรั่ว (มม.)	ความดัน อากาศอัด (บาร์)	ปริมาณ อากาศรั่ว (ลิตร/วินาที)
11	ข้อต่อท่อลมสาขาเหล็กเข้าเครื่อง Shrink ด้านบนในฝา แผ่นกั้นเครื่องสัอองค์	1	6.6	0.73
12	วาล์วท่อเมนลมเข้าเครื่องปั๊มสูญสุ	2	6.6	2.94
รวม				10.17

หมายเหตุ : ค่าสัมประสิทธิ์การพ่น (Discharge Coefficient) คิดที่ 0.65



เกลียวด้านบนชุด AR เครื่องอัดสูญ PS118



ข้อต่อท่อลมยางชุด AR ของหม้อป่น 4



วาล์วท่อเมนลมเข้าเครื่องปั๊มสูญสุ



ข้อต่อท่อลมและรูเจาะของชุด AR
เครื่องปั๊มสูญ PD-233



ข้อต่อท่อลมยางชุด Air Service ของปั๊มสูญ 6



ข้อต่อท่อลมยางชุด AL ของปั๊มสูญ 5



ข้อต่อท่อลมยางชุด Air Service ของปั๊มสูญ 11



ข้อต่อท่อกับ Direction Control Valve ของปั๊มสูญ 12

รูปที่ 6.2-13 ตำแหน่งอุปกรณ์ที่มีการรั่วไหลของอากาศอัด ก่อนปรับปรุง



3) แนวคิดและขั้นตอนดำเนินการ

ทำการลดการรั่วไหลของอากาศอัดตามอุปกรณ์ต่างๆ โดยการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ที่สามารถทำได้ทันที และในส่วนที่ต้องใช้เวลาและต้องหยุดการผลิตให้วางแผนการบำรุงรักษาต่อไป

4) สภาพหลังการปรับปรุง

โรงงานทำการเปลี่ยนฟิตติง ท่อลมยาง ชันอัดฟิตติงเข้าไป และถอดชุด Air Service มาล้างบำรุงรักษา อากาศไหลเวียนเต็มที่ ทำให้อากาศไม่รั่วไหลออกจากกูเดรน และบางจุดย้ายอุปกรณ์ออกจากไลน์ เพราะจะมีเครื่องจักรมาทดแทน สามารถลดการรั่วไหลอากาศอัดลงได้ทันที



หลังปรับปรุงถอดเปลี่ยนซีลเกลียวด้านบน
ชุด AR เครื่องอัดสูญ PS118



หลังปรับปรุงเปลี่ยนข้อต่อท่อลมยาง
ชุด AR ของหม้อป่น 4



หลังปรับปรุงปิดวาล์วท่อเมนลมเข้า
เครื่องปั๊มสุญ



หลังปรับปรุงเปลี่ยนข้อต่อท่อลมและถอดล้าง
ชุด AR เครื่องปั๊มสุญ PD-233



เปลี่ยนข้อต่อท่อลมยางชุด Air Service
ของเครื่องปั๊มสุญ 6



เปลี่ยนข้อต่อท่อลมยางชุด AL
ของเครื่องปั๊มสุญ 5



เปลี่ยนข้อต่อท่อลมยางชุด Air Service
ปั๊มสุญ 11 Valve



เปลี่ยนข้อต่อท่อกับชุด Direction Control
ของเครื่องปั๊มสุญ 12



ขันอัด Union ท่อลมเหล็กให้แน่นที่เครื่อง
Shrink แผนกเครื่องสำอาง (อยู่ในผ้า)





หลังปรับปรุงขันพิดตึงให้แน่นและมีการย้าย หลังปรับปรุงเปลี่ยนจากท่อเหล็กเป็นท่อสยายาง
เครื่องปั๊มอัตโนมัติออกจากไลน์ ป้องกันการสั่นสะเทือนที่เครื่อง Shrink

หลังปรับปรุงเปลี่ยนข้อต่อท่อสยายาง
เครื่องปั๊มสูญ PD231

รูปที่ 6.2-14 ตำแหน่งอุปกรณ์ที่มีการรั่วไหลของอากาศอัด หลังปรับปรุง

5) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

ระยะเวลาดำเนินการ	2	สัปดาห์
เงินลงทุน	1,575	บาท
ผลประโยชน์ที่ได้	31,359	บาทต่อปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.05	ปี

6) ข้อเสนอแนะปรับปรุง

ปลูกจิตสำนึกให้พนักงานทุกคนมีส่วนร่วมและตระหนักถึงการสูญเสีย กำหนดผู้รับผิดชอบ บริเวณต่างๆ เมื่อพบจุดรั่วไหลของอากาศ ควรรีบซ่อมแซมเพื่อไม่ให้เกิดความสูญเสีย หมั่นตรวจสอบ ดูแล บำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ

7) วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ตัวอย่างการคำนวณ

- ข้อต่อท่อลมยางชุด AR ของหม้อป่น 4
 - ขนาดรูรั่วเทียบเท่า (d) 1 มิลลิเมตร
 - ความดันอากาศอัดใช้งาน (p) 5.5 บาร์
 - จำนวนรูรั่ว (N) 8
 - ค่าสัมประสิทธิ์การพ่น (Discharge Coefficient : DC) 0.63
- ข้อต่อท่อลมสาขาเหล็กเข้าเครื่อง Shrink
 - ขนาดรูรั่วเทียบเท่า (d) 1 มิลลิเมตร
 - ความดันอากาศอัดใช้งาน (p) 6.6 บาร์
 - จำนวนรูรั่ว (N) 3
 - ค่าสัมประสิทธิ์การพ่น (Discharge Coefficient : DC) 0.73



• วาล์วท่อเมนลมเข้าเครื่องปั๊มสุญญากาศ

- ขนาดรูรั่วเทียบเท่า (d)	2	มิลลิเมตร
- ความดันอากาศอัดใช้งาน (p)	6.6	บาร์
- จำนวนรูรั่ว (N)	1	
- ค่าสัมประสิทธิ์การฟุ้ง (Discharge Coefficient : DC)	2.94	

ประสิทธิภาพรวมการอัดอากาศของเครื่อง ($\eta_{isen,i}$)	82.4	เปอร์เซ็นต์
ชั่วโมงการทำงาน	8	ชั่วโมงต่อวัน
จำนวนวันทำงาน	300	วันต่อปี
ราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	3.61	บาทต่อหน่วย

(1) อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดบริเวณ เกลียวด้านบนชุด AR เครื่องอัดสุญญากาศ PS118, ข้อต่อท่อลมยางชุด AR ของหม้อป่น 4, ข้อต่อท่อลมและรูตรวนของชุด AR เครื่องปั๊มสุญญากาศ PD-233, ข้อต่อท่อลมยางชุด Air Service ของเครื่องปั๊มสุญญากาศ 6, ข้อต่อท่อลมยางชุด AL ของเครื่องปั๊มสุญญากาศ 5, ข้อต่อท่อลมยางชุด Air Service ของเครื่องปั๊มสุญญากาศ 11, Direction Control Valve ของเครื่องปั๊มสุญญากาศ 12, ข้อต่อท่อลมยางชุด Air Service ของเครื่องปั๊มสุญญากาศ PD 231

$$\begin{aligned}
 &= 0.158 \times DC \times (d)^2 \times (p+1.013) \times N \\
 &= 0.158 \times 0.63 \times (1)^2 \times (5.5 + 1.013) \times 8 \\
 &= 5.19 \quad \text{ลิตรต่อวินาที}
 \end{aligned}$$

(2) อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดบริเวณ ข้อต่อท่อลมสาขาเหล็กเครื่องปั๊มออกโตเมติกแผนกสุญญากาศ, ข้อต่อท่อลมสาขาเหล็กเข้าเครื่อง Shrink, ข้อต่อท่อลมสาขาเหล็กเข้าเครื่อง Shrink ด้านบนในผ้าแผนกเครื่องสำอางค์

$$\begin{aligned}
 &= 0.158 \times DC \times (d)^2 \times (p + 1.013) \times N \\
 &= 0.158 \times 0.65 \times (2)^2 \times (6.6 + 1.013) \times 1 \\
 &= 2.94 \quad \text{ลิตรต่อวินาที}
 \end{aligned}$$

(3) อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดบริเวณ ข้อต่อท่อลมสาขาเหล็กเข้าเครื่อง Shrink

$$\begin{aligned}
 &= 0.158 \times DC \times (d)^2 \times (p + 1.013) \times N \\
 &= 0.158 \times 0.65 \times (1)^2 \times (6.6 + 1.013) \times 1 \\
 &= 0.73 \quad \text{ลิตรต่อวินาที}
 \end{aligned}$$

จำนวนรูรั่วที่มีขนาดรูรั่วและความดันเท่ากันมีจำนวน 3 จุด คิดเป็นอัตราการรั่วไหลของอากาศอัดรวม

$$\begin{aligned}
 &= 0.73 \times 3 \\
 &= 2.19 \quad \text{ลิตรต่อวินาที}
 \end{aligned}$$

อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดรวม

$$\begin{aligned}
 &= 5.04 + 2.94 + 2.19 \\
 &= 10.17 \quad \text{ลิตรต่อวินาที}
 \end{aligned}$$



เมื่อทำการปรับปรุงแก้ไขลดการรั่วไหลของอากาศอัดสามารถประหยัดพลังงานลงได้

- 1) พลังไฟฟ้าลดลง เมื่อลดการรั่วไหลของอากาศปริมาณ 7.23 ลิตรต่อวินาที ที่ความดัน 5.5 บาร์

โดยที่

$$P_{isen} = [(i \times k)/(k-1)] \times (q_1 \times p_1)/10 \times \{ [(p_2 + p_a)/p_1]^{(k-1/i \times k)} - 1 \} \times \eta_{isen,t}$$

P_{isen}	=	พลังงานในการอัดอากาศรวม	กิโลวัตต์
k	=	อัตราส่วนความร้อนจำเพาะสำหรับอากาศ	= 1.4
i	=	จำนวนขั้นตอนการอัดอากาศของเครื่องอัดอากาศ	= 1
q_1	=	อัตราการรั่วไหลของอากาศ	7.23 ลิตรต่อวินาที
p_1	=	ความดันอากาศขาเข้าสัมบูรณ์	1.013 บาร์ (a)
p_2	=	ความดันอากาศอัดที่ใช้งานหน่วยบาร์เกจ	5.5 บาร์
p_a	=	ความดันบรรยากาศสัมบูรณ์	1 atm
p_a	=		1.013 บาร์ (a)
$\eta_{isen,t}$	=	ประสิทธิภาพรวมการอัดอากาศของเครื่อง	71.4 เปอร์เซ็นต์

$$P_{isen} = [(1 \times 1.4)/(1.4 - 1)] \times (5.04 \times 1.013)/10 \times \{ [(5.5 + 1.013)/1.013]^{(1.4 - 1/1 \times 1.4)} - 1 \} \times (100/71.4)$$

$$P_{isen} = 2.52 \text{ กิโลวัตต์}$$

- 2) พลังไฟฟ้าลดลง เมื่อลดการรั่วไหลของอากาศปริมาณ 2.94 ลิตรต่อวินาที ที่ความดัน 6.6 บาร์

$$P_{isen} = [(1 \times 1.4)/(1.4 - 1)] \times (2.94 \times 1.013)/10 \times \{ [(6.6 + 1.013)/1.013]^{(1.4 - 1/1 \times 1.4)} - 1 \} \times (100/71.4)$$

$$P_{isen} = 1.14 \text{ กิโลวัตต์}$$

พลังงานไฟฟ้าลดลงรวม	=	2.52 + 1.14	
	=	3.66	กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	=	3.66 x 8 x 300	
	=	8,784	หน่วย/ปี
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัด	=	8,784 x 3.57	
	=	31,359	บาท/ปี



ตัวอย่างที่ 6.2-6 การตรวจสอบปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดที่อุปกรณ์ใช้งาน โดยไม่ต้องหยุดระบบ

กรณี ต้องการทราบการรั่วไหลในเครื่องจักรบางชุด ซึ่งมีวาล์วควบคุมการจ่ายอากาศอัดแยกเฉพาะเครื่องจักร สามารถคำนวณได้ดังตัวอย่าง

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ในกระบวนการผลิตของโรงงานมีการใช้เครื่องกรอตัดจำนวน 40 เครื่องซึ่งแต่ละเครื่องต้องใช้ใช้อากาศอัดในการกรอตัดเป็นจำนวนมาก (ประกอบด้วยเครื่องอัดอากาศแบบสกรู จำนวน 10 เครื่อง (ขนาด 22 KW-1 เครื่อง, 37 KW-2 เครื่อง, 55 KW-1 เครื่อง และ 75 KW -6 เครื่อง)

2) ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

เนื่องจากในเครื่องกรอตัดมีข้อต่อของท่อส่งจ่ายอากาศอัดเป็นจำนวนมาก รวมทั้งอายุการใช้งานของเครื่องค่อนข้างสูง ทำให้มีอากาศอัดรั่วไหลในแต่ละเครื่องเป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการผลิตอากาศอัด



รูปที่ 6.2-15 จุดที่มีการรั่วไหลของอากาศอัดจากเครื่องกรอตัด ก่อนปรับปรุง

3) แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

เนื่องจากทางโรงงานไม่สามารถที่จะหยุดสายการผลิตเพื่อทดสอบหาปริมาณอากาศอัดรั่วไหลของทั้งระบบได้จึงต้องทำการทดสอบการรั่วไหลของอากาศอัดแยกตามเครื่องจักรต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้



- (1) จ่ายอากาศอัดเข้าเครื่องจักร/อุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบ จากนั้นทำการปิดวาล์วจ่ายอากาศอัด แล้วทำการจับเวลาที่ความดันอากาศอัดลดลง 1 บาร์ ทำซ้ำกันประมาณ 3 ครั้ง เพื่อหาเวลาเฉลี่ย
- (2) ตรวจสอบขนาด และความยาวของท่ออากาศอัดของเครื่องจักร/อุปกรณ์ เพื่อใช้ในการหาปริมาตรของท่อ
- (3) ทำการตรวจสอบจุดรั่วไหลของอากาศอัดภายในเครื่องจักรและอุปกรณ์ พร้อมทั้งทำการซ่อมแซมให้เรียบร้อย
- (4) ทำการทดสอบหาปริมาณอากาศอัดรั่วไหลภายหลังการปรับปรุง ดังแสดงในข้อ (1) อีกครั้ง
- (5) วิเคราะห์ผลประหยัด

4) การจัดทำรายงาน

หลังจากที่มีการคำนวณหาอัตราการอนุรักษ์พลังงาน ทางโรงงานได้แนวคิดในการปรับปรุงการรั่วไหล ในระบบอากาศอัด และหลังจากที่มีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในทางเทคนิคและศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นแล้ว ที่ประชุมจึงดำเนินการจัดทำรายงานต่อผู้บริหารโรงงาน ซึ่งในรายงานประกอบด้วยเหตุผลของการดำเนินการ ประโยชน์ที่จะได้รับการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และการคำนวณผลประหยัดที่คาดว่าจะได้รับหลังการดำเนินการ

5) สภาพหลังปรับปรุง

ดำเนินการปรับปรุงซ่อมแซมจุดรั่วของอากาศอัดตามอุปกรณ์ใช้งานในโรงงานได้ตามแผนงานที่กำหนดไว้และลดการสูญเสียพลังงานได้



รูปที่ 6.2-16 สภาพหลังการปรับปรุง จุดที่มีการรั่วไหลของอากาศอัดจากเครื่องกรอตัด



6) ข้อเสนอแนะ

มาตรการการลดการรั่วไหลของระบบอากาศอัดสามารถดำเนินการซ่อมแซมได้โดยใช้อะไหล่ที่มีการสำรองไว้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย

7) วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ตัวอย่างการคำนวณ เครื่อง No. 103

ปริมาตรอากาศในท่อของเครื่องกรอด้วยรวม (V) 128.197 ลิตร ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศเท่ากับ 0.37 กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที จึงได้ดำเนินการปรับปรุงเครื่องกรอด้วย และจับเวลาที่ความดันอากาศอัดลดลง ดังนี้

- ระยะเวลาที่ความดันลดลง 1 บาร์ ก่อนปรับปรุงเท่ากับ 7 วินาที
- ระยะเวลาที่ความดันลดลง 1 บาร์ หลังปรับปรุงเท่ากับ 29 วินาที

$$\text{จากสมการ} \quad (Q_{\text{loss}}) = V \times \Delta P / t$$

เมื่อ Q_{loss} คือ อัตราการรั่วไหลของอากาศอัด (ลิตรต่อวินาที)
 V คือ ปริมาตรอากาศในท่อ (ลิตร)
 ΔP คือ ความดันอากาศอัดที่ลดลง (ในการทดสอบใช้ 1 บาร์)
 t คือ ระยะเวลาที่ความดันอากาศอัดลดลง (วินาที)

ก่อนปรับปรุง

$$\begin{aligned} (Q_{\text{loss}}) &= V \times \Delta P / t \\ &= 128.197 \times 1/7 = 18.31 \text{ ลิตรต่อวินาที} \\ \text{ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ} &= 0.37 \text{ กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที} \\ \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียก่อนปรับปรุง} &= 18.31 \times 0.37 \\ &= 6.776 \text{ กิโลวัตต์} \\ \text{เครื่องกรอด้วยทำงานวันละ 24 ชั่วโมง 352 วันต่อปี เปอร์เซนต์การใช้งาน 80 เปอร์เซนต์} \\ \text{พลังงานไฟฟ้าสูญเสียก่อนปรับปรุง} &= 6.776 \times 24 \times 352 \times 80 \text{ เปอร์เซนต์} \\ &= 45,795.70 \text{ หน่วยต่อปี} \\ \text{คิดเป็นค่าไฟฟ้าสูญเสียก่อนปรับปรุง} &= 45,795.70 \times 2.94 \\ &= 134,639.36 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

หลังปรับปรุง

$$\begin{aligned} (Q_{\text{loss}}) &= V \times \Delta P / t \\ &= 128.197 \times 1/29 = 4.42 \text{ ลิตรต่อวินาที} \\ \text{ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ} &= 0.37 \text{ กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที} \\ \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียหลังปรับปรุง} &= 4.42 \times 0.37 \\ &= 1.636 \text{ กิโลวัตต์} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &\text{เครื่องกรอตัดทำงานวันละ 24 ชั่วโมง 352 วันต่อปี เปอร์เซ็นต์การใช้งาน 80 เปอร์เซ็นต์} \\
 &\text{พลังงานไฟฟ้าสูญเสียหลังปรับปรุง} = 1.636 \times 24 \times 352 \times 80 \text{ เปอร์เซ็นต์} \\
 &= 11,054.13 \text{ หน่วยต่อปี} \\
 &\text{คิดเป็นค่าไฟฟ้าสูญเสียหลังปรับปรุง} = 11,054.13 \times 2.94 \\
 &= 32,499.14 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

ผลประหยัด

$$\begin{aligned}
 &\text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้} = 45,795.70 - 11,054.13 \\
 &= 34,741.57 \text{ หน่วยต่อปี} \\
 &\text{คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้} = 134,639.36 - 32,499.14 \\
 &= 102,140.22 \text{ บาทต่อปี} \\
 &\text{จากการปรับปรุงเครื่องกรอตัด จำนวน 8 เครื่อง} \\
 &\text{ลดการใช้พลังงานลงได้} = 111,751.11 \text{ หน่วยต่อปี} \\
 &\text{หรือเทียบเท่าปริมาณน้ำมันดิบ} = 111,751.11 \times 85.21 / 1,000,000,000 \\
 &= 0.00952 \text{ ktoeต่อปี} \\
 &\text{คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้} = 328,548.27 \text{ บาทต่อปี}
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ ปัจจุบันทางโรงงานกำลังดำเนินการซ่อมแซมจุดรั่วไหลของเครื่องกรอตัดชุดอื่น ๆ ตามแผนการที่วางไว้โดยจะทำการซ่อมแซมเครื่องที่มีอัตราการรั่วไหลมาก ๆ ก่อน



6.3 ระบบส่งจ่ายอากาศอัด

6.3.1 การปรับปรุงระบบท่อส่งจ่ายอากาศอัด

อุตสาหกรรมในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นแบบค่อย ๆ ขยายการผลิต จึงมักพบปัญหาเรื่องท่อหลักส่งจ่ายอากาศอัด และมักจะแก้ปัญหาไม่ค่อยถูกทาง โดยไม่ได้คำนึงถึงความเหมาะสม และการสูญเสียพลังงานที่ตามมา กล่าวคือ ผู้ออกแบบจะออกแบบระบบท่อหลักที่เหมาะสมกับเครื่องจักรในตอนนั้น แต่เมื่อเศรษฐกิจของโรงงานดีขึ้น ก็มีการขยายเครื่องจักรเพิ่มขึ้น มีความต้องการปริมาณอากาศอัดมากขึ้น ทางโรงงานก็มักแก้ปัญหาโดยซื้อเครื่องอัดอากาศเพิ่มขึ้น เพื่อรองรับกับการใช้งาน แต่ไม่ได้คำนึงถึงขนาดท่อหลักส่งจ่ายอากาศอัดเดิม ว่ามีความเหมาะสมหรือเพียงพอกับสถานะการจ่ายอากาศอัดในปัจจุบันหรือไม่ ดังรูปที่ 6.3-1





รูปที่ 6.3-1 ท่อหลักส่งจ่ายอากาศอัด

ระบบส่งจ่ายอากาศอัดนั้น โดยส่วนใหญ่จะใช้ท่อโลหะเป็นตัวส่งถ่ายอากาศอัด และไม่สามารถอย่างยิ่งที่จะนำท่อชนิดที่ไม่สามารถทนความดันอากาศอัดได้มาใช้เป็นท่อส่งจ่ายอากาศอัด เพราะอาจเกิดการระเบิดเสียหายได้ ท่อส่งจ่ายอากาศอัดก็จะแยกกันตามลักษณะ เช่น ท่อหลัก ก็คือท่อส่งจ่ายอากาศหลัก ส่วนท่อย่อย ก็คือ ท่อสาขาที่นำอากาศจากท่อหลักไปจ่ายภาระ โดยปกติท่อหลักส่ง

จ่ายอากาศอัดควรมีอัตราการไหลของอากาศอัดไม่เกิน 6 เมตรต่อวินาที และสำหรับท่อสาขาไม่ควรเกิน 10 เมตรต่อวินาที เพื่อลดการสูญเสียความดัน สาเหตุหลักๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดัน คือ

- แรงเสียดทานระหว่างอากาศกับผนังท่อ
- การเปลี่ยนทิศทางการไหล/การเปลี่ยนความเร็วของอากาศอัด จากการเพิ่ม/ลดขนาดท่อ



รูปที่ 6.3-2 การลดขนาดท่อหลักที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดัน

โดยปกติการออกแบบที่ดีต้องมีขั้นตอนหลักๆดังนี้

- ความดันสูญเสียต้องไม่เกินร้อยละ 5 ทุกๆ 30 เมตร ของความยาวท่อที่ความเร็วการไหลของอากาศไม่เกิน 6 เมตรต่อวินาที สำหรับการสูญเสียความดันทั้งระบบต้องไม่เกินร้อยละ 10
- จุดไกลสุดควรจะมีความดันตกสูงสุดไม่เกินร้อยละ 10 ที่การทำงานต่อเนื่อง หรืออาจจะยอมให้เป็นร้อยละ 15 ในช่วง (Peak)



- ในแต่ละจุดที่นำอากาศอัดไปใช้งาน ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นไม่ควรเกิน 0.1-0.2 บาร์ ที่ความต้องการอากาศอัดสูงสุด

ตัวอย่างที่ 6.3-1 (ก) การปรับปรุงระบบท่อส่งจ่ายอากาศอัด

มีเทคนิคในการปรับปรุงตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามขั้นตอนดังนี้

- 1) เขียนแบบไลน์ท่ออากาศอัด ดำเนินการติดตั้งท่ออากาศอัดตามแบบ
- 2) ทดสอบการจ่ายอากาศอัดของไลน์ท่อใหม่
- 3) ตรวจวัดความดันและปรับอากาศอัดความดันจากต้นทาง
- 4) ประเมินและสรุปผล

1) หลักการและเหตุผล

เนื่องจากในปัจจุบันท่ออากาศอัดภายในโรงงานมีการเดินแบบท่อเดี่ยว หรือเรียกว่าแบบ ก้างปลา ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการอัดอากาศอัดให้เกิดความดันเพียงพอต่อการใช้งาน ซึ่งจากต้นทางถึงปลายทางจะเกิดความดันตกคร่อมระหว่างทาง

2) การรวบรวมข้อมูล

ในการเดินท่ออากาศอัดที่ดีนั้น ควรมีการเดินท่ออากาศอัดแบบวงแหวน เพื่อให้อากาศอัดอัดจากส่วนที่มีการใช้งานน้อยไปชดเชยอากาศอัดส่วนที่เกิดการใช้งานหนัก เพื่อลดการเกิดปัญหาความดันตก และไม่จำเป็นต้องผลิตอากาศอัดที่มีความดันสูงเกินความจำเป็น ส่งผลให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตอากาศอัดที่ใช้ในกระบวนการผลิต

3) การสำรวจตรวจวัด

เนื่องจากทางโรงงานเดินท่ออากาศอัดภายในโรงงานมีการเดินต่อแบบก้างปลา โดยไม่ได้วางแผนระบบสนับสนุนไว้ก่อน ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการอัดอากาศอัดให้เกิดความดันเพียงพอต่อการใช้งาน ซึ่งจากต้นทางจะเกิดความดันตกคร่อมภายในท่อ จึงจำเป็นที่จะต้องผลิตอากาศอัดที่มีความดันสูง เพื่อชดเชยความดันตกคร่อม ส่งผลให้เครื่องอัดอากาศกินไฟเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 6.3-3 ก่อนการปรับปรุงระบบท่ออากาศอัด



4) การวิเคราะห์ผลเชิงเทคนิค

จากตารางการประมาณการประหยัดจากการลดความดันเครื่องอัดอากาศ

ภาระเฉลี่ยคอมเพรสเซอร์ (กิโลวัตต์)	แรงดันที่ปรับลด 0.5 bar	
	ประหยัดพลังงาน (กิโลวัตต์-ชม.)	ประหยัดเงิน (บาท)
4	320	800
7.5	600	1,500
11	875	2,188
15	1,195	2,988
22	1,755	4,388
30	2,390	5,975
37	2,945	7,363
55	4,380	10,950
75	5,975	14,938
110	8,760	21,900
160	12,750	31,875

ดังนั้นคอมเพรสเซอร์ขนาด 37 กิโลวัตต์ จำนวน 3 เครื่อง และ 22 กิโลวัตต์ จำนวน 2 เครื่อง สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้

$$= (7,363 \times 3) + (4,388 \times 2)$$

$$= 30,865 \quad \text{บาทต่อปี}$$

หรือ ประหยัดพลังงานไฟฟ้า = $(2,945 \times 3) + (1,755 \times 2)$

$$= 12,345 \quad \text{หน่วยต่อปี}$$

5) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

คิดเป็นพลังงานที่ลดลงรวม 12,345 หน่วยต่อปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดที่ได้ 30,865 บาทต่อปี

เงินลงทุน 21,938 บาท

ระยะเวลาคืนทุน 0.7 ปี

6) การจัดทำรายงาน

จากผลการวิเคราะห์ สามารถจัดทำรายงานเสนอต่อผู้บริหาร หรือผู้มีอำนาจในการตัดสินใจในการลงทุน เพื่อขอพิจารณาอนุมัติงบประมาณในการปรับปรุงตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ได้มีการวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญและทีมงานไว้แล้วนั้น โดยได้มีการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลการตรวจวัดด้านไฟฟ้า หรือด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องภายหลังจากได้ทราบผลการวิเคราะห์ด้านเทคนิคและค่าใช้จ่ายด้านลงทุน ที่ประชุมทีมงานเห็นว่ามีเหมาะสมและสามารถดำเนินการได้ทันที จึงได้มีการนำเสนอรายงานดังกล่าวเพื่อขออนุมัติ และดำเนินการต่อไป



7) การดำเนินการปรับปรุง

จากเดิมการเดินท่อแบบก้างปลา ทำให้ความดันต้นทางและปลายทางแตกต่างกัน 1.5 – 2.0 บาร์ หากเปลี่ยนการเดินท่อเป็นแบบวงแหวนทำให้ความดันต้นทาง และปลายทางมีความแตกต่างไม่เกิน 0.5 – 1.0 บาร์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- (1) เขียนแบบไลน์ท่ออากาศอัด ดำเนินการติดตั้งท่ออากาศอัดตามแบบ
- (2) ทดสอบการจ่ายอากาศอัดของไลน์ท่อใหม่
- (3) ตรวจวัดความดัน และปรับอากาศอัดความดันจากต้นทาง
- (4) ประเมินและสรุปผล



รูปที่ 6.3-4 หลังการปรับปรุงระบบท่ออากาศอัด

8) การติดตามผลการดำเนินงาน

จากการปรับปรุงตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานแล้วนั้น ทางทีมงานได้มีการติดตามการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยการตรวจวัดความดันที่ผลิตอากาศอัดต้นทางเทียบกับปลายทางพร้อมหาเปอร์เซ็นต์การเดินภาระ และคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เทียบก่อนการปรับปรุง

ตัวอย่างที่ 6.3-1 (ข) การปรับปรุงระบบท่อส่งจ่ายอากาศอัด

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีระบบท่อส่งจ่ายลมจากเครื่อง Compressor ขนาด 2 นิ้ว ผ่านไปยัง Air Dryer ขนาด 2 นิ้วก่อนจะถูกส่งไปยังกระบวนการผลิตต่างๆ ได้แก่ เครื่องผสมฝ้าย เครื่องกรอด้วย และเครื่องปั่นด้าย ขนาดท่อ 2 นิ้ว โดยมีขนาดความยาวท่อเท่ากับ 150 เมตร ที่ความดัน 7 บาร์

2) ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

เนื่องจากท่อส่งอากาศอัดทั้งระบบตั้งแต่ห้อง Compressor ไปจนถึงฝ่ายกระบวนการผลิตต่างๆ มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับอัตราการไหลของความเร็วลมรวมทั้ง 3 เครื่องที่ผลิตได้คือ 0.267 ลูกบาศก์เมตรต่อ



วินาที ความเร็วลมอัดในท่อสูงถึง 11 เมตรต่อวินาที ทำให้เกิดแรงเสียดทานที่ผิวภายในท่อเป็นสาเหตุให้แรงดันตก นอกจากนี้ยังเกิดแรงดันสูญเสียที่ข้องอ วาล์ว และอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ



รูปที่ 6.3-5 ก่อนการปรับปรุงระบบท่ออากาศอัด

3) แนวทางและขั้นตอนการดำเนินการ

ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ โดยเลือกขนาดท่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน และพยายามให้เกิดความดันสูญเสียในท่อให้น้อยที่สุดโดยมีหลักปฏิบัติดังนี้

- (1) 1. ปรับปรุงระบบท่อส่งจ่ายอากาศอัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่เพียงพอ
- (2) 2. เดินท่อจากแบบเดิมที่เป็นลักษณะก้างปลาเป็นแบบ loop
- (3) 3. หมั่นตรวจสอบการรั่วไหลของลมอัดภายในท่อ โดยที่ความดันสูญเสียต้องไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์
- (4) 4. ระบบท่อต้องมีการจัดวางในลักษณะลาดเอียงตามทิศการไหลของลม

4) สภาพหลังการปรับปรุง

การตรวจสอบและดำเนินการแก้ไขดัดแปลงระบบท่อส่งจ่ายลมอัดทั้งระบบภายในโรงงาน พบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางท่อมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะไม่ทำให้ความเร็วของลมในท่อสูงมาก ทำให้ความดันในระบบไม่ตกและคงที่ เนื่องจากมีแรงเสียดทานที่ผิวภายในท่อลดน้อยลง นอกจากนี้ยังลดแรงดันที่สูญเสียอย่างเฉียบพลันที่ข้องอ วาล์วและอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆได้ อีกทั้งยังสามารถลดการใช้พลังงานได้ด้วย



รูปที่ 6.3-6 หลังการปรับปรุงระบบท่ออากาศอัด



5) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

คิดเป็นพลังงานที่ลดลงรวม	38,719	หน่วยต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดที่ได้	119,642	บาทต่อปี
เงินลงทุน	70,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	0.59	ปี

6) วิธีคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ผลรวมกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศที่วัดได้ (P_c)	110.59	กิโลวัตต์
ผลรวมอัตราการผลิตอากาศอัดที่วัดได้ (q_{1vc})	267.09	ลิตรต่อวินาที
ค่าเฉลี่ยพิกัดอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจำเพาะ (SPC_{VPC})	= P_c/q_{1vc}	
	= 110.59/ 267.09	
	= 0.41	กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที

ก่อนปรับปรุง ท่อส่งจ่ายอากาศอัด ขนาด 2 นิ้ว

อัตราการไหลของอากาศอัดของระบบจากการตรวจวัดที่ท่อเมน	= 267.09	ลิตรต่อวินาที
ความต้องการปริมาณอากาศ (QFAD)	= 267.09 / 1,000	
	= 0.267	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ	= 41.3	มิลลิเมตร
ความเร็วลม	= $[0.267 / (7.0 \times 0.0413^2 / 4)] / (7.0+1.013)$	
	= 11.19	เมตรต่อวินาที
ความยาวท่อเทียบเท่า	= 150	เมตร
ความดันที่ใช้งานก่อนการปรับปรุง (P_g)	= 7.0	บาร์
ความดันกวดในท่อ (bar (e)) (ค่า ส.ป.ท่อ 1.6×10^8)	= $[1.6 \times 10^8 \times Q^{1.85} \times L] / [d^5 \times (P_g + P_A)]$	
	= 2.18	บาร์
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	= 110.59	กิโลวัตต์

หลังปรับปรุง ท่อส่งจ่ายอากาศอัด ขนาด 2 1/2 นิ้ว

อัตราการไหลของอากาศอัดของระบบจากการตรวจวัดที่ท่อเมน	= 267.09	ลิตรต่อวินาที
ความต้องการปริมาณอากาศ (QFAD)	= 267.09 / 1,000	
	= 0.27	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ (2 1/2 นิ้ว)	= 53.96	มิลลิเมตร
ความเร็วลม	= $[0.267 / (6.5 \times 0.05396^2 / 4)] / (6.5+1.013)$	
	= 6.98	เมตรต่อวินาที
ความยาวท่อเทียบเท่า	= 100	เมตร
ความดันที่ใช้งาน (P_g)	= 6.5	บาร์
ความดันกวดในท่อ (บาร์ (e)) (ค่า ส.ป.ท่อ 1.6×10^8)	= $[1.6 \times 10^8 \times Q^{1.85} \times L] / [d^5 \times (P_g + P_A)]$	
	= 0.405	บาร์



ดังนั้น ความดันตกในท่อ ก่อน-หลัง	=	2.18 - 0.405	
	=	1.77	บาร์
ความดันที่ใช้งานลดลงหลังการปรับปรุง (Pg)	=	4.73	บาร์
ความดันที่ใช้งานลดลง (Pg) ก่อน - หลัง	=	7.0 - 4.73	บาร์
	=	2.27	บาร์
ปรับลดแรงดันในการผลิตอากาศอัดลง	=	0.50	บาร์
ปริมาณความดันในการลดที่เหมาะสม (1 บาร์)	=	8.00	เปอร์เซ็นต์
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดอากาศหลังปรับปรุง			
= กำลังไฟฟ้า (ก่อน) x (1-(Pgก่อน - Pgหลัง) x ปริมาณความดันที่ลด))			
	=	106.17	กิโลวัตต์
ความเร็วของอากาศอัดในท่อเมนควรมีความเร็วไม่เกิน 6 - 10 เมตรต่อวินาที			

ผลประหยัด

กำลังไฟฟ้าที่ลดลง ก่อน - หลัง	=	110.59 - 106.17	
	=	4.42	กิโลวัตต์
จำนวนวันที่ใช้งานต่อปี	=	365	วันต่อปี
จำนวนเวลาเปิดใช้งาน	=	24	ชั่วโมงต่อวัน
คิดเป็นจำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี	=	จำนวนวันที่ใช้งานต่อปี x จำนวนเวลาเปิดใช้งาน	
	=	365 x 24	
	=	8,760	ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี	=	กำลังไฟฟ้าลดลง x จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี	
	=	4.42 x 8,760	
	=	38,719.20	หน่วยต่อปี
หรือคิดเป็นปริมาณน้ำมันดิบที่ลดลง	=	38,719.2 x (85.21 x 10 ⁻⁶)	
	=	3.30	toeต่อปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	3.09	บาทต่อหน่วย
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ต่อปี	=	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด x ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	
	=	38,719.20 x 3.09	
	=	119,642.33	บาทต่อปี



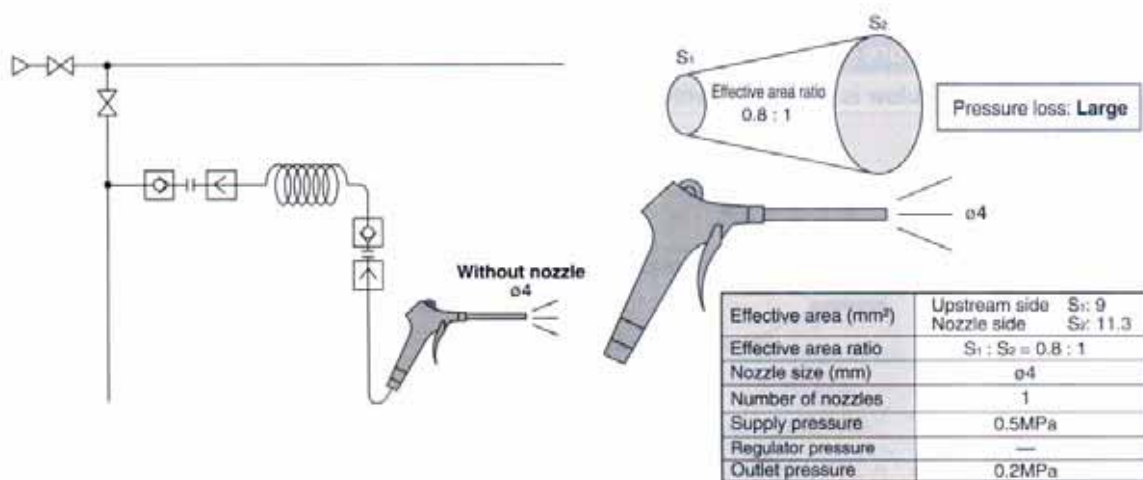
6.4 อุปกรณ์ลมปลายทาง

ในที่นี้จะกล่าวถึงส่วนที่เป็นอุปกรณ์ ซึ่งไม่ได้รวมถึงเทคนิคของอุปกรณ์ทำงานแต่อย่างใด อุปกรณ์ที่กล่าวจะเป็นอุปกรณ์ทั่วไปไม่รวมถึงอุปกรณ์ควบคุมการทำงานในระบบนิวเมติกส์ อุปกรณ์ที่จะกล่าวถึงดังนี้

- 1) ปืนลมประสิทธิภาพสูง
- 2) หัวฉีด (Nozzle) ประสิทธิภาพสูง
- 3) การเลือกใช้เครื่องเพิ่มความดัน (Booster Pump)

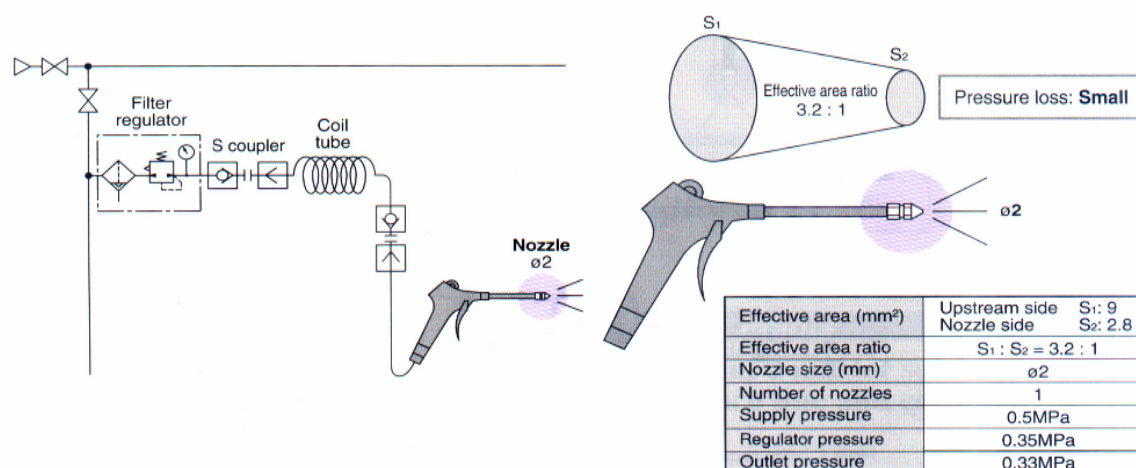
6.4.1 การใช้ปืนลมประสิทธิภาพสูง

ในปัจจุบันผู้ผลิตปืนลมได้พัฒนาปืนลมประสิทธิภาพสูง คือ การออกแบบปืนลมใหม่ให้มีการสูญเสียความดันในระดับต่ำ และใช้ปริมาณอากาศอัดไม่มาก เมื่อเทียบกับปืนลมทั่วไป ดังรูปที่ 6.4-1 นอกจากนี้ปืนลมประสิทธิภาพสูงยังสามารถถอดเปลี่ยนหัวได้หลายขนาด สามารถปรับใช้ให้เหมาะสมกับสภาพงาน ดังรูปที่ 6.4-2 ซึ่งจะช่วยลดการใช้ปริมาณอากาศอัดส่งผลถึงการประหยัดพลังงานที่ตามมา



รูปที่ 6.4-1 ปืนลมทั่วไปที่ไม่ได้มีการควบคุมความดันใช้งานและมีขนาดของรูที่ใหญ่





Effect of Energy Saving Improvement



รูปที่ 6.4-2 ปืนลมที่สามารถถอดเปลี่ยนหัวได้ และยังคงควบคุมความดันใช้งานที่เหมาะสม

จากรูปที่ 6.4-2 จะเห็นได้ว่าหากแก้ไขที่ปืนลมอย่างเดียว ก็ไม่สามารถที่จะลดการใช้ได้ถึงประมาณร้อยละ 50-70 แต่ถ้าติดตั้งตัวปรับลดความดันอากาศอัดเข้าไปในระบบจะสามารถลดความดันจาก 5 bar ลดลงเหลือ 3.5 bar กล่าวคือ อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์รวมเข้าไปในการใช้งาน



ตัวอย่างที่ 6.4-1 การลดขนาดหัวจ่ายลมของปืนลม

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานใช้อุปกรณ์ปืนลมในการผลิตและทำความสะอาดชิ้นงานที่ความดัน 6.5 บาร์ จำนวน 10 ชุดในการปฏิบัติงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน

2) ปัญหาของอุปกรณ์ระบบก่อนการปรับปรุง

จากการสำรวจอุปกรณ์ในระบบผลิตที่ใช้อากาศอัด พบว่า โรงงานได้ใช้อุปกรณ์ปืนลมในกระบวนการผลิตและทำความสะอาดชิ้นงานที่ความดัน 6.5 บาร์ จำนวน 10 ชุด จากการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปากปืนลมในขณะที่มีการใช้งานของปืนลม กระบอกปืนลมมีขนาดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่ใหญ่ทำให้มีการสิ้นเปลืองอากาศอัดถึง 278.54 ลิตรต่อวินาที



รูปที่ 6.4.-3 ขนาดหัวปืนลมที่ใช้ก่อนปรับปรุง ขนาด 5 มิลลิเมตร

3) แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

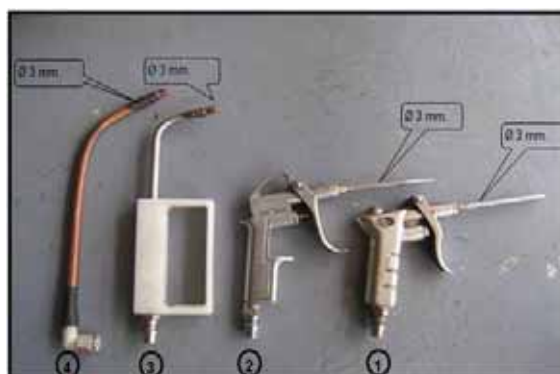
การปรับลดขนาดของปืนลมในไลต์การผลิตจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เหลือ 3 มิลลิเมตร มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

- (1) เปลี่ยนขนาดปากปืนลมให้เหลือ 3 มิลลิเมตร
- (2) สำรวจการรั่วไหลของปืนลมในจุดข้อต่อต่างๆ

4) สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากปรับเปลี่ยนขนาดของปืนลมจาก 5 มิลลิเมตร เป็น 3 มิลลิเมตร มีการใช้อากาศอัดรวม 100.28 ลิตรต่อวินาที ลดลงจากเดิม 178.26 ลิตรต่อวินาที ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้





รูปที่ 6.4-4 ปืนลมขนาด 3 มิลลิเมตร หลังปรับปรุง

5) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

คิดเป็นพลังงานที่ลดลงรวม	12,037.7	หน่วยต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดที่ได้	46,104	บาทต่อปี
เงินลงทุน	10,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	0.22	ปี

6) วิธีคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ก่อนปรับปรุง

ขนาดรูปืนลม	=	5	มิลลิเมตร
จำนวนที่เปลี่ยน	=	10	ชุด
แรงดันที่ใช้	=	6.5	บาร์
ปริมาณอากาศอัดที่ใช้ในการทำความสะอาด	=	$0.158 \times (d)^2 \times (p+p_a) \times N$	
	=	$0.158 \times (5)^2 \times (6.5+1.013) \times 10$	
	=	296.76	ลิตรต่อวินาที

หลังปรับปรุง

ขนาดรูปืนลม	=	3	มิลลิเมตร
จำนวนที่เปลี่ยน	=	10	ชุด
แรงดันที่ใช้	=	6.5	บาร์
ปริมาณอากาศอัดที่ใช้ในการทำความสะอาด	=	$0.158 \times (d)^2 \times (p+p_a) \times N$	
	=	$0.158 \times (3)^2 \times (6.5+1.013) \times 10$	
	=	106.83	ลิตรต่อวินาที

ผลประหยัด

ปริมาณอากาศที่ลดลง	=	ปริมาณอากาศก่อน – ปริมาณอากาศหลัง
	=	296.76 – 106.83



	=	189.93	ลิตรต่อวินาที
คิดเป็นกำลังไฟฟ้าลดลง	=	ปริมาณอากาศอัดลดลง x SPC_{VPC}	
	=	189.93×0.37	
	=	70.27	กิโลวัตต์
จำนวนวันที่ใช้งานต่อปี	=	352	วันต่อปี
จำนวนเวลาเปิดใช้งาน	=	24	ชั่วโมงต่อวัน
ระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ย	=	5	วินาทีต่อครั้ง
จำนวนใช้งานเฉลี่ย	=	15	ครั้งต่อชั่วโมง
คิดเป็นจำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี	=	$252 \times 24 \times (5/3,600) \times 15$	
	=	182.50	ชั่วโมงต่อปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี	=	70.27×182.50	
	=	12,824.28	หน่วยต่อปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	3.83	บาทต่อหน่วย
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	$12,824.28 \times 3.83$	
	=	49,117	บาทต่อปี

ตัวอย่างที่ 6.4-2 การลดขนาดหัวจ่ายลมของปืนลม

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานใช้ปืนลม ที่ใช้ลมจากระบบอากาศอัดเป่าทำความสะอาดเครื่องจักร โดยใช้แรงดัน 5-6 บาร์ ในการเป่าและมีขนาดรูที่ใช้เป่า 8 มิลลิเมตร โดยมีเครื่องที่ใช้ลมเป่านี้ จำนวน 10 ชุด

2) ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนการปรับปรุง

จากการสำรวจอุปกรณ์ในระบบผลิตที่ใช้อากาศอัด พบว่าโรงงานได้ใช้อุปกรณ์ปืนลมในกระบวนการผลิตทำความสะอาดชิ้นงานและเครื่องจักรที่ความดัน 6 บาร์ จำนวนถึง 10 ชุด จากการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปากในขณะที่มีการใช้งานของปืนลม กระบอกปืนลมมีขนาดเท่ากับ 8 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่ใหญ่ทำให้มีการสิ้นเปลืองของลมอัด





รูปที่ 6.4-5 ปืนลมขนาด 8 มิลลิเมตร ก่อนปรับปรุง

3) แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

การปรับลดขนาดของปืนลมในไลต์การผลิตจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เหลือ 3 มิลลิเมตร มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

- (1) เปลี่ยนขนาดปากปืนลมให้เหลือ 3 มิลลิเมตร
- (2) ตรวจสอบการรั่วไหลของปืนลมในจุดข้อต่อต่างๆ

4) สภาพหลังปรับปรุง

การปรับเปลี่ยนขนาดปืนลม เป็นอีกมาตรการที่จะสามารถช่วยลดภาระการทำงานของเครื่องอัดอากาศได้เป็นอย่างดี เนื่องจากการปรับขนาดช่วยให้ลมที่สูญเสียในระบบลดน้อยลงแล้วยังช่วยลดพลังงานลงอีกด้วย ซึ่งมาตรการดังกล่าวอยู่ในขั้นตอนการดำเนินงานของทางโรงงาน



รูปที่ 6.4-6 ปืนลมขนาด 3 มิลลิเมตร หลังปรับปรุง

5) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

คิดเป็นพลังงานที่ลดลงรวม	40,560	หน่วยต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดที่ได้	118,031	บาทต่อปี
เงินลงทุน	20,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	0.17	ปี



6) วิธีคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

$$\begin{aligned} \text{กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศที่วัดได้ (P_c)} &= 106.0 \text{ กิโลวัตต์} \\ \text{อัตราการผลิตอากาศอัดที่วัดได้ (q_{1vc})} &= 257.20 \text{ ลิตรต่อวินาที} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าเฉลี่ยพิภักอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจำเพาะ (SPC_{VPC})} &= P_c / q_{1vc} \\ &= 106 / 257.2 \\ &= 0.41 \text{ กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที} \end{aligned}$$

ก่อนปรับปรุง

$$\begin{aligned} \text{ขนาดรูปืนลม} &= 8 \text{ มิลลิเมตร} \\ \text{จำนวนที่เปลี่ยน} &= 10 \text{ ชุด} \\ \text{แรงดันที่ใช้} &= 6 \text{ บาร์} \\ \text{ปริมาณอากาศอัดที่ใช้ในการทำความสะอาด} &= 0.1581 \times D^2 \times n \times (P + P_o) \\ &= 0.1581 \times 8^2 \times 10 \times (6 + 1.01325) \\ &= 709.63 \text{ ลิตรต่อวินาที} \end{aligned}$$

หลังปรับปรุง

$$\begin{aligned} \text{ขนาดรูปืนลม} &= 3 \text{ มิลลิเมตร} \\ \text{ปริมาณอากาศอัดที่ใช้ในการทำความสะอาด} &= 0.1581 \times 3^2 \times 10 \times (6 + 1.01325) \\ &= 99.79 \text{ ลิตรต่อวินาที} \end{aligned}$$

ผลประหยัด

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณอากาศที่ลดลง} &= \text{ปริมาณอากาศก่อน} - \text{ปริมาณอากาศหลัง} \\ &= 709.63 - 99.79 \\ &= 609.84 \text{ ลิตรต่อวินาที} \\ \text{คิดเป็นกำลังไฟฟ้า} &= (\text{SPC}_{VPC}) \times \text{ปริมาณอากาศที่ลดลง} \\ &= 0.41 \times 609.84 \\ &= 250.03 \text{ กิโลวัตต์} \\ \text{จำนวนวันที่ใช้งานต่อปี} &= 365 \text{ วันต่อปี} \\ \text{จำนวนเวลาเปิดใช้งาน} &= 10 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \\ \text{ระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ย} &= 8 \text{ วินาทีต่อครั้ง} \\ \text{จำนวนใช้งานเฉลี่ย} &= 20 \text{ ครั้งต่อชั่วโมง} \\ \text{คิดเป็นจำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี} &= 365 \times 10 \times (8/3600) \times 20 \\ &= 162.22 \text{ ชั่วโมงต่อปี} \\ \text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี} &= \text{กำลังไฟฟ้าที่ประหยัด} \times \text{จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี} \\ &= 250.03 \times 162.22 \\ &= 40,560.42 \text{ หน่วยต่อปี} \end{aligned}$$



ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	2.91	บาทต่อหน่วย
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด x ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	
	=	40,560.42 x 2.91	
	=	118,031	บาทต่อปี

ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการดำเนินติดป้ายเตือนพนักงานเรื่องการใช้ปืนลม อย่างผิดวิธี เช่น เป่าทำความสะอาดตามร่างกาย
- 2) ควรมีการสำรวจการรั่วไหลของปืนลมเป็นประจำ



6.4.2 การใช้หัวฉีดประสิทธิภาพสูง

ปัจจุบันก็มีการผลิตออกมาหลากหลายชนิดตามลักษณะงาน เช่น งานเป่าโบ เป่าเป็นเกลียว หรือเป่าฟัน ซึ่งการใช้หัวฉีดประสิทธิภาพสูงเหล่านี้ช่วยลดการใช้พลังงานในระบบอากาศอัดลงได้ ซึ่งดีกว่าการใช้ปลายท่อเป่าโดยตรง ดังรูปที่ 6.4-7 และรูปที่ 6.4-9

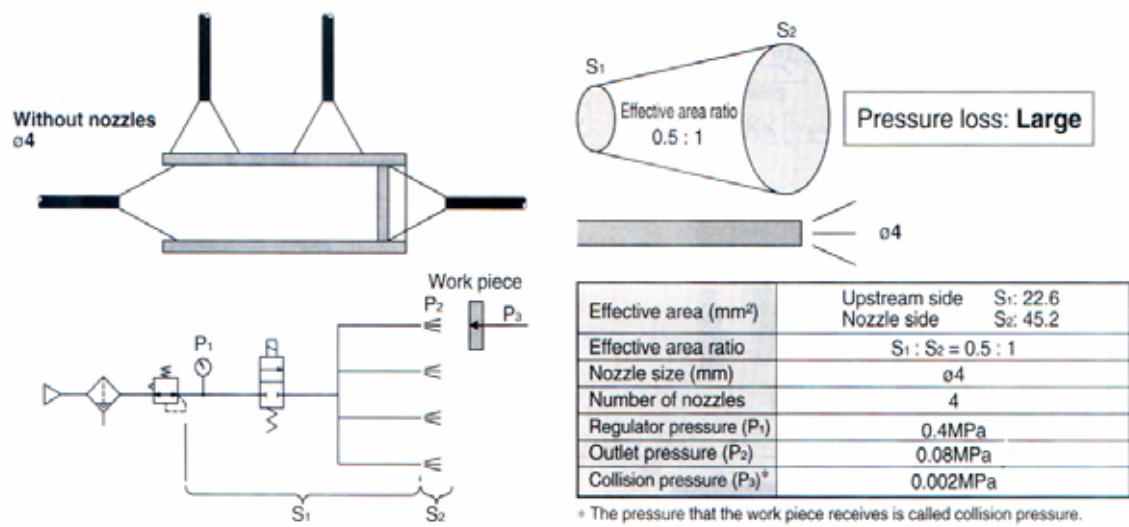


รูปที่ 6.4-7 หัวฉีด ปืนลม และเป่าฟัน

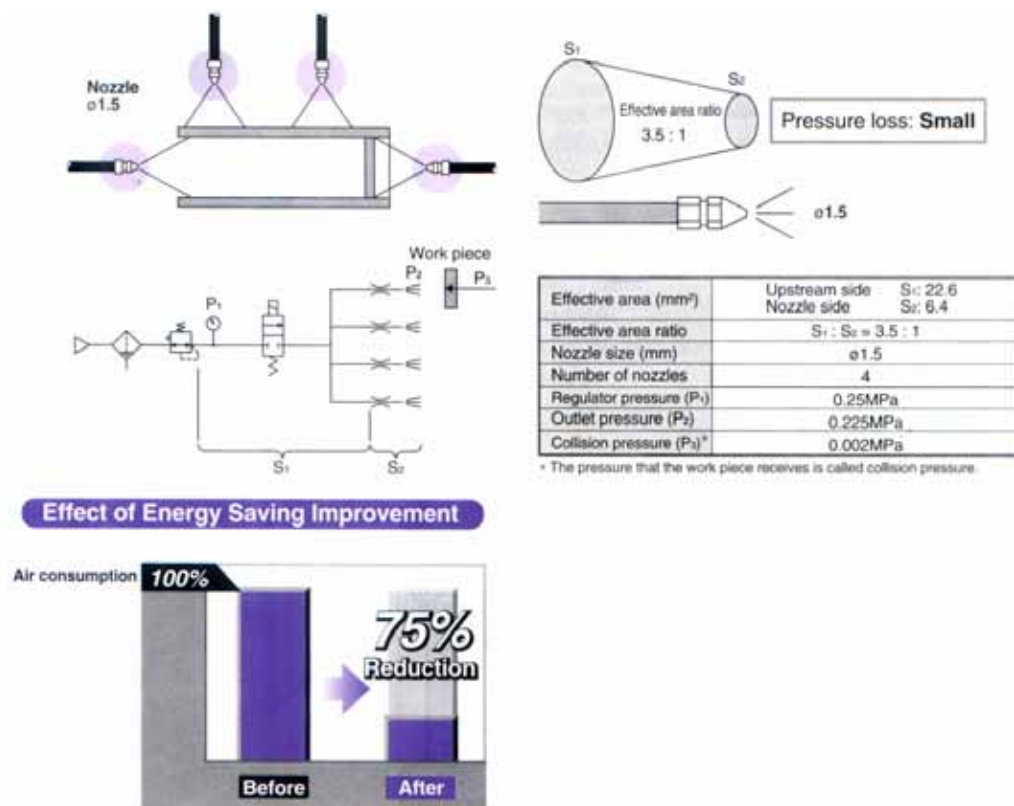


รูปที่ 6.4-8 หัวฉีดเป่าโบ





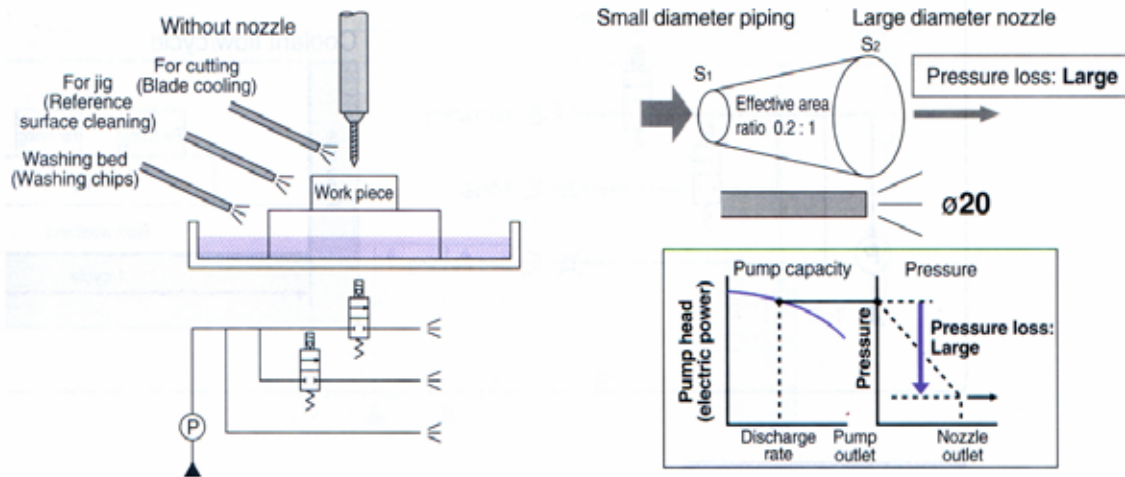
รูปที่ 6.4-9 การใช้หัวฉีดก่อนการปรับปรุง



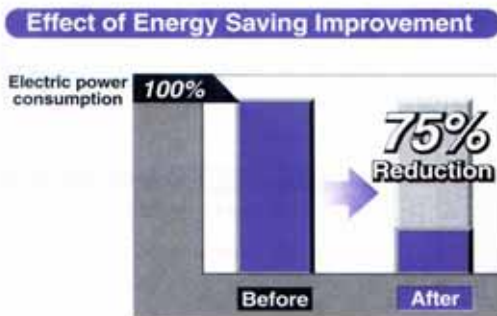
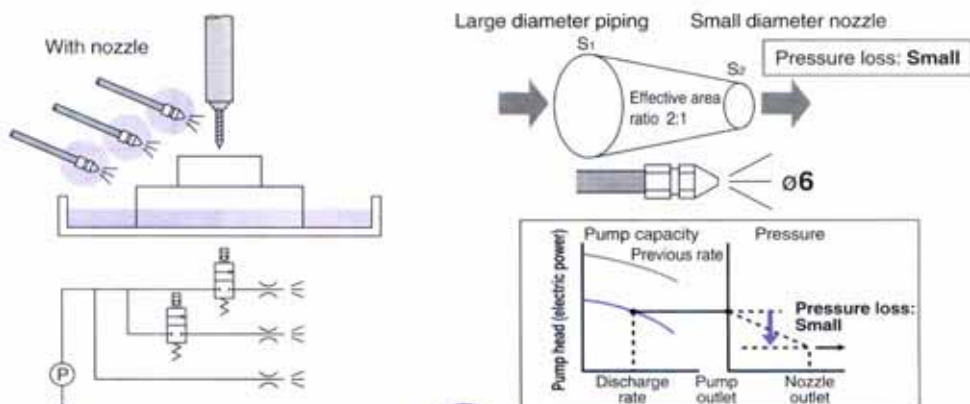
รูปที่ 6.4-10 การใช้หัวฉีดประสิทธิภาพสูงหลังการปรับปรุง



จากรูปที่ 6.4-10 จะเห็นได้ว่าการปรับปรุงหัวฉีดประสิทธิภาพสูงสามารถทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในระบบอากาศอัดลงได้มากถึงร้อยละ 75 อีกตัวอย่างหนึ่ง ลักษณะงานที่มีความจำเป็นต้องใช้อากาศอัดเป่าระบายความร้อนและทำความสะอาด หากติดตั้งหัวฉีดประสิทธิภาพสูงเข้าไปแทนการใช้ท่ออย่างอ่อนดังรูป และลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลงก็จะช่วยลดค่าใช้จ่ายได้เช่นกัน



รูปที่ 6.4-11 การใช้หัวฉีดทั่วไปเป่าระบายความร้อนและทำความสะอาด



Main Points

Improve pressure loss.

Improve the effective area ratio with the upstream side by using a small diameter nozzle.

Nozzles for blowing Series KN Page 56



Related Equipment

Digital pressure switch for general purpose fluid	Series ZSE5B/ISE5B	Page 119
Energy Saving Program		159
Industrial filter	Series FG	152
Industrial filter (Regenerative element specification)	(Made to order)	154

รูปที่ 6.4-12 การใช้หัวฉีดประสิทธิภาพสูง เป่าระบายความร้อนและทำความสะอาด



จากรูปที่ 6.4-11 ถึง รูปที่ 6.4-12 จะเห็นว่าหากมีความจำเป็นที่ต้องใช้อากาศอัดเป่าระบายความร้อนหรือทำความสะอาดเครื่องจักรอุปกรณ์ หากมีการควบคุมการใช้ที่ดีก็สามารถลดการใช้อากาศอัดลงได้เช่นกัน

ตัวอย่างที่ 6.4-3 การเปลี่ยนการใช้อากาศอัดเป่าทำความสะอาดจากสายยางมาใช้ปืนลม

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ทางโรงงานมีการใช้อากาศอัดสำหรับเป่าชิ้นงานของหน่วยงานต่างๆ ส่วนใหญ่จะเป็นการเจาะตัด ชิ้นงานที่ทำจากไม้ ซึ่งในกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดฝุ่นไม้ โดยปกติโรงงานจะใช้อากาศอัดเป่าฝุ่นไม้ออกจากชิ้นงานก่อน จากนั้นจึงใช้หัวลมดูดฝุ่นออกจากบริเวณโต๊ะทำงานอีกที ซึ่งอากาศอัดที่ใช้งานจะมีหลายระดับตั้งแต่ 4-8 บาร์ โดยใช้งาน 8 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี



รูปที่ 6.4-13 ลักษณะการใช้อากาศอัดเป่าทำความสะอาดจากสายยาง

2) ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ในกระบวนการผลิตของโรงงานจะต้องมีการใช้อากาศอัดในระบบการควบคุมเป็นส่วนใหญ่ จะเห็นว่าทางโรงงานมีการใช้พลังงานในการผลิตอากาศอัดเป็นหลัก จากการสำรวจพบว่าการเจาะ ตัด ขัด ไส ไม้จะมีเศษฝุ่นและขี้เลื่อยอยู่เสมอทำให้เป็นอุปสรรคต่อการทำงาน ทางโรงงานจึงมีการนำอากาศอัดมาใช้ในการทำความสะอาด (เป่าฝุ่นไม้) โดยการต่อท่อจากท่อเมนแล้วใช้การพับสายยางเป็นการเปิด - ปิด อากาศอัด การใช้การพับสายยางเป็นการควบคุมการใช้งานที่ไม่เหมาะสมทำให้มีการรั่วไหลของอากาศอัดค่อนข้างมาก





รูปที่ 6.4-14 การใช้สายยางเป่าความสะอาด

3) แนวคิดและขั้นตอนดำเนินการ

ทางโรงงานมีแนวคิดที่จะเปลี่ยนการใช้สายยางอากาศอัดเป่าทำความสะอาดมาใช้ปืนลมแทน ซึ่งจะทำให้การควบคุมการใช้งานที่เหมาะสมมากขึ้น รวมถึงมีขนาดรูเป่าอากาศอัดที่เล็กลง ส่งผลให้ ปริมาณการใช้อากาศอัดลดลงด้วย โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้

- (1) สำรวจบริเวณที่ต้องการเปลี่ยนขนาดหัวเป่าลม
- (2) วางแผนการดำเนินงาน
- (3) ดำเนินการปรับปรุง
- (4) ประเมินผลการอนุรักษ์พลังงาน
- (5) ติดตามผลงานและทบทวนแผนการดำเนินการทั้งในส่วนผลตอบแทนที่ได้และผลกระทบต่อการทำงานด้วย

4) สภาพหลังการปรับปรุง

โรงงานได้ดำเนินการปรับปรุงหัวเป่าชิ้นงานให้มีขนาด 1 มิลลิเมตร ตามที่สำรวจมาเรียบร้อยแล้ว และจากการใช้งานที่ผ่านมาไม่พบปัญหาในการใช้งานแต่อย่างใด



รูปที่ 6.4-15 หลังปรับปรุงใช้ปืนลมเป่าความสะอาด หัวขนาด 1 มิลลิเมตร

5) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

คิดเป็นพลังงานที่ลดลงรวม	8,494	หน่วยต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดที่ได้	31,513	บาทต่อปี



เงินลงทุน	3,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	0.10	ปี

6) วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ลำดับ	ชื่อตำแหน่ง	เวลาในการเป่าต่อครั้ง (วินาที)	จำนวนครั้งต่อ 10 นาที (ครั้ง)	จำนวนจุดทำความสะอาด (จุด)	เวลาในการเป่าต่อ 10 นาที (วินาที)	เวลาในการเป่าต่อชม. (ชม.)	เวลาในการใช้งานเครื่องจักร (ชม.)	เวลาในการเป่าต่อวัน (ชม.)
1	เครื่องเจาะรูบานพับ	5	40	1	200	0.33	4.00	1.32
2	เครื่องตัด	5	30	1	150	0.25	6.00	1.50
3	เครื่อง CNC	5	60	1	300	0.50	7.00	3.50
รวม								6.32

ก่อนปรับปรุง

ค่าพลังไฟฟ้าเฉพาะในการอัดอากาศ (SPC) ที่ 7 bar	0.40	กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที
ขนาดรูที่ใช้ในการเป่าทำความสะอาด	4	มิลลิเมตร
ความดันอากาศอัดที่ใช้งาน	7	บาร์

$$\text{ปริมาณการใช้ก๊าซอัด} = 0.1483 \times [\text{ขนาดรูที่ใช้ในการเป่าทำความสะอาด (มิลลิเมตร)}]^2 \times \text{ค่าสัมประสิทธิ์การพ่น (0.65 ท่อลมยาง)} \times (\text{ความดันใช้งาน} + 1.013 \text{ บาร์}) \times \text{จำนวนจุดใช้งาน ลิตรต่อวินาที}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการใช้ก๊าซอัดของท่อลมยาง 1 จุด} \\ &= 0.1483 \times (4)^2 \times 0.65 \times (7 + 1.013) \times 1 \\ &= 12.36 \text{ ลิตรต่อวินาที} \end{aligned}$$

หลังปรับปรุง

ขนาดรู Nozzle ที่ใช้ในการเป่าทำความสะอาด	1	มิลลิเมตร
ความดันอากาศอัดที่ใช้งาน	7	บาร์

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การพ่นสำหรับหัว Nozzle (Discharge Coefficient)} = 0.97$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการใช้ก๊าซอัดของหัวปืนลม จำนวน 1 ตัว} \\ &= 0.1483 \times (1)^2 \times 0.97 \times (7 + 1.013) \times 1 \\ &= 1.15 \text{ ลิตรต่อวินาที} \end{aligned}$$



ลำดับ	ชื่อตำแหน่ง	ปริมาณอากาศอัดที่ประหยัด (l/s)	SPC เฉลี่ย (kW/l/s)	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด (kW)	เวลาในการเป่า (ชม./วัน)	วันทำงาน (วัน/ปี)	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด (kWh/ปี)	มูลค่าที่ประหยัด (บาท/ปี)
1	เครื่องเจาะรูบานพับ	11.21	0.4	4.48	1.32	300	1,774	6,582
2	เครื่องตัด	11.21	0.4	4.48	1.50	300	2,016	7,479
3	เครื่อง CNC	11.21	0.4	4.48	3.50	300	4,704	17,452
รวม							8,494	31,513



6.4.3 การเลือกใช้เครื่องเพิ่มความดันหรือบูสเตอร์

ในกรณีที่เครื่องจักรบางชุดของระบบอากาศอัดต้องการความดันอากาศอัดที่สูงกว่าเครื่องจักรอื่นๆ ในระบบ ก็ไม่จำเป็นต้องผลิตความดันที่สูงเพื่อรองรับภาระจำพวกนั้น สามารถเลือกใช้บูสเตอร์แทนซึ่งจะดีกว่าการผลิตความดันที่สูงดังที่เคยกล่าวไว้แล้ว การผลิตความดันที่สูงต้องใช้พลังงานสูงตามไปด้วย การรั่วไหลก็สูงตามเช่นกัน ดังนั้นบูสเตอร์จึงเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาในการเลือกใช้ปกติบูสเตอร์ก็จะมี 2 ลักษณะ คือ บูสเตอร์แบบธรรมดา และแบบปั๊มบูสเตอร์ ซึ่งบูสเตอร์ธรรมดาก็สามารถที่จะผลิตความดันออกมาได้ประมาณ 2 เท่าของความดันที่ป้อนเข้าไป ส่วนปั๊มบูสเตอร์นั้นสามารถผลิตความดันอากาศอัดได้ประมาณ 5-6 เท่า ของความดันที่ป้อนเข้า ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ต้องการใช้ ดังรูปที่

6.4-16



รูปที่ 6.4-16 Booster ที่ใช้ความดันอัดตัวเองในการเพิ่มความดัน



ตัวอย่างที่ 6.4-4 การเปลี่ยนการใช้อากาศอัดเป่าทำความสะอาดจากสายยางมาใช้ปืนลม

1) ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ทางโรงงานมีการใช้อากาศอัดในกระบวนการ Packing ขนาด 1 กิโลกรัม มีเครื่องจักรที่ใช้ในการบรรจุ 1 เครื่อง มีความต้องการอากาศอัดสำหรับระบบ Pnumatic ปริมาณ 70 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 7.0 บาร์

2) ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ทำให้ทางโรงงานต้องเดินเครื่องอัดอากาศเพิ่มขึ้น 1 เครื่อง เพื่อให้ได้ความดัน 7.0 บาร์ เนื่องจากระบบอัดอากาศหลักของโรงงานผลิตอากาศอัดที่ความดันเพียง 5 บาร์ เท่านั้น



รูปที่ 6.4-17 เครื่องอัดอากาศสำหรับเครื่อง Packing ก่อนการปรับปรุง

3) แนวคิดและขั้นตอนดำเนินการ

การเดินเครื่องอัดอากาศเพิ่ม 1 เครื่อง ทำให้สิ้นเปลืองอย่างมาก เพราะนอกจากค่าพลังงานแล้วยังมีค่าบำรุงรักษาอื่นๆ รวมด้วย และระบบอัดอากาศหลักของโรงงาน ยังสามารถรองรับปริมาณอากาศอัดที่ต้องการได้ ดังนั้นการติดตั้ง Air Pressure Booster เพื่อเพิ่มความดันอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งานจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในเครื่องอัดอากาศที่เดินเพิ่มเติมได้

4) สภาพหลังการปรับปรุง

โรงงานได้ดำเนินการปรับปรุงหัวเป่าชิ้นงานให้มีขนาด 1 มิลลิเมตร ตามที่สำรวจมาเรียบร้อยแล้ว และจากการใช้งานที่ผ่านมาไม่พบปัญหาในการใช้งานแต่อย่างใด

5) การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

คิดเป็นพลังงานที่ลดลงรวม	57,515.	หน่วยต่อปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดที่ได้	204,180	บาทต่อปี
เงินลงทุน	40,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	0.20	ปี



6) วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

(1) เครื่องอัดอากาศแบบสกรู

กำลังไฟฟ้าขณะ Onload P_{on} = 21.65 กิโลวัตต์

กำลังไฟฟ้าขณะ Unload P_{un} = 9.70 กิโลวัตต์

(2) เครื่องอัดอากาศหมายเลข 1 และ 2

ค่า SEC เฉลี่ยของอากาศอัด SEC = 0.4764 กิโลวัตต์ต่อลิตรต่อวินาที

- ชั่วโมงทำงานต่อวัน = 12 ชั่วโมงต่อวัน

- วันทำงานต่อปี = 299 วันต่อปี

- คิดเป็นชั่วโมงทำงานต่อปี = 3,588 ชั่วโมงต่อปี

ก่อนปรับปรุง

เครื่องอัดอากาศแบบสกรู

เปอร์เซ็นต์การ Onload $\%_{on}$ = 86.72 เปอร์เซ็นต์

เปอร์เซ็นต์การ Unload $\%_{un}$ = 13.28 เปอร์เซ็นต์

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง = 20.06 กิโลวัตต์

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุง = 71,975.28 หน่วยต่อปี

หลังปรับปรุง

เครื่องอัดอากาศหมายเลข 1 และ 2

ปริมาณอากาศที่เครื่องจักรต้องการ @ 7 บาร์ = 70 ลิตรต่อนาที

ปริมาณอากาศที่เครื่องจักรต้องการ @ atm = 8.45 ลิตรต่อวินาที

กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง = 0.4764×8.45

= 4.03 กิโลวัตต์

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง = 14,459.64 หน่วยต่อปี

ผลประหยัด

กำลังไฟฟ้าที่ไ้ลดลง = $20.06 - 4.03$

= 16.03 กิโลวัตต์

ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ไ้ลดลง = $71,975.28 - 14,459.64$

= 57,515.64 หน่วยต่อปี

ค่าไฟฟ้าหน่วยละ = 3.55 บาทต่อหน่วย

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = $57,515.64 \times 3.55$

= 204,180.52 บาทต่อปี



ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ก

ก.1 ตารางแปลงหน่วย

ตาราง แปลงหน่วยน้ำหนัก (Mass Equivalents)

หน่วย	pound	ounce	gram	kg	ton
pound	1	16	453.59	0.4536	4.536×10^{-4}
ounce	0.625	1	28.3495	0.0284	2.835×10^{-5}
gram	0.0022	0.03527	1	0.001	1.00×10^{-6}
kg	2.2046	35.274	1,000	1	0.001
ton	2,204	32,000	1.00×10^6	1,000	1

ตาราง แปลงหน่วยความยาว (Length Equivalents)

หน่วย	inch	foot	yard	mile	cm	m
Inch	1	0.0833	0.0278	1.58×10^{-5}	2.54	0.0254
foot	12	1	0.3333	1.89×10^{-4}	30.48	0.3048
yard	36	3	1	5.68×10^{-4}	91.44	0.9144
mile	63,360	5,280	1,760	1	1.61×10^5	1,609
cm	0.3937	0.0328	0.0109	6.21×10^{-6}	1	0.01
m	39.37	3.28	1.09	6.21×10^{-4}	100	1

ตาราง แปลงหน่วยกำลังไฟฟ้า (Electric Power Equivalents)

หน่วย	กิโลวัตต์ (kW)	แรงม้า(hp)
กิโลวัตต์(kW)	1	1.34
แรงม้า(hp)	0.746	1

ตาราง แปลงหน่วยพื้นที่ (Area Equivalents)

หน่วย	inch ²	ft ²	acre	cm ²
inch ²	1	6.944×10^{-3}	1.594	6.452
ft ²	144	1	2.296×10^{-5}	929.03
acre	6.273×10^6	4.356×10^4	1	4.047×10^7
cm ²	0.155	1.076×10^{-3}	2.471×10^{-8}	1



ตาราง แปลงหน่วยอัตราการไหล (Flow Rate Equivalents)

หน่วย	l/s	m ³ /min	CFM
l/s	1	0.06	2.119
m ³ /min	16.67	1	35.31
CFM	0.472	0.028	1

ตาราง แปลงหน่วยความดัน (Pressure Equivalents)

	PSI	kPa	kg/cm ²	m H ₂ O	mm Hg	atm	Bar
PSI	1	6.895	0.070	0.70	51.71	0.060	0.0689
kPa	0.145	1	0.010	0.10	7.500	0.0098	0.01
Kg/cm ²	14.22	98.066	1	10	735.56	0.968	0.98
m H ₂ O	1.422	9.81	0.1	1	73.56	0.097	0.098
mm Hg	0.019	0.133	0.00136	0.0136	1	0.00131	0.00133
atm	14.69	101.32	1.033	10.342	760	1	1.01
Bar	14.5	100	1.0197	10.206	750	0.98	1

ตาราง แปลงหน่วยอุณหภูมิ (Temperature Equivalents)

หน่วย	Celsius	Fahrenheit	Kelvin	Rankine
Celsius	-	$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1.8) + 32$	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$	$^{\circ}\text{Ra} = (^{\circ}\text{C} \times 1.8) + 491.67$
Fahrenheit	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$	-	$\text{K} = (^{\circ}\text{F} + 459.67) / 1.8$	$^{\circ}\text{Ra} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$
Kelvin	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$	$^{\circ}\text{F} = (\text{K} \times 1.8) - 459.67$	-	$^{\circ}\text{Ra} = \text{K} \times 1.8$
Rankine	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{Ra} - 491.67) / 1.8$	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{Ra} - 459.67$	$\text{K} = ^{\circ}\text{Ra} / 1.8$	-



ก.2 ความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ

ตาราง ความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ เป็นมิลลิบาร์ (mBar)

T °C	ทศนิยมของอุณหภูมิ									
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	6.11	6.15	6.2	6.24	6.29	6.33	6.38	6.42	6.47	6.52
1	6.57	6.61	6.66	6.71	6.76	6.81	6.85	6.9	6.95	7
2	7.05	7.1	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.41	7.47	7.52
3	7.57	7.63	7.68	7.74	7.79	7.85	7.9	7.96	8.01	8.07
4	8.13	8.19	8.24	8.3	8.36	8.42	8.48	8.54	8.6	8.66
5	8.72	8.78	8.84	8.9	8.96	9.03	9.09	9.15	9.22	9.28
6	9.35	9.41	9.48	9.54	9.61	9.67	9.74	9.81	9.88	9.94
7	10.01	10.08	10.15	10.22	10.29	10.36	10.43	10.5	10.58	10.65
8	10.72	10.79	10.87	10.94	11.02	11.09	11.17	11.24	11.32	11.4
9	11.47	11.55	11.63	11.71	11.79	11.87	11.95	12.03	12.11	12.19
10	12.27	12.35	12.44	12.52	12.61	12.69	12.77	12.86	12.95	13.03
11	13.12	13.21	13.29	13.38	13.47	13.56	13.65	13.74	13.83	13.92
12	14.02	14.11	14.2	14.3	14.39	14.49	14.58	14.68	14.77	14.87
13	14.97	15.07	15.17	15.27	15.36	15.47	15.57	15.67	15.77	15.87
14	15.98	16.08	16.19	16.29	16.4	16.5	16.61	16.72	16.83	16.93
15	17.04	17.15	17.26	17.38	17.49	17.6	17.71	17.83	17.94	18.06
16	18.17	18.29	18.41	18.52	18.64	18.76	18.88	19	19.12	19.24
17	19.37	19.49	19.61	19.74	19.86	19.99	20.12	20.24	20.37	20.5
18	20.63	20.76	20.89	21.02	21.15	21.29	21.42	21.56	21.69	21.83
19	21.96	22.1	22.24	22.38	22.52	22.66	22.8	22.94	23.08	23.23
20	23.37	23.52	23.66	23.81	23.96	24.11	24.26	24.41	24.56	24.71
21	24.86	25.01	25.17	25.32	25.48	25.63	25.79	25.95	26.11	26.27
22	26.43	26.59	26.75	26.92	27.08	27.25	27.41	27.58	27.75	27.92
23	29.09	28.26	28.43	28.6	28.77	28.95	29.12	29.3	29.47	29.65
24	29.83	30.01	30.19	30.37	30.55	30.74	30.92	31.31	31.29	31.48
25	31.67	31.86	32.05	32.24	32.43	32.63	32.82	33.02	33.21	33.41



ตาราง ความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ เป็นมิลลิบาร์ (mBar) (ต่อ)

T °C	ทศนิยมของอุณหภูมิ									
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
26	33.61	33.81	34.01	34.21	34.41	34.61	34.82	35.02	35.23	35.44
27	36.65	35.86	36.07	36.28	36.49	36.71	36.92	37.14	37.36	37.58
28	37.8	38.02	38.24	38.46	38.69	38.91	39.14	39.36	39.59	39.82
29	40.05	40.29	40.52	40.75	40.99	41.23	41.47	41.7	41.94	42.19
30	42.43	42.67	42.92	43.17	43.41	43.66	43.91	44.16	44.42	44.67
31	44.93	45.18	45.44	45.7	45.96	46.22	46.49	46.75	47.02	47.28
32	47.55	47.82	48.09	48.36	48.64	48.91	49.19	49.47	49.75	50.02
33	50.31	50.59	50.87	51.16	51.45	51.74	52.03	52.32	52.61	52.9
34	53.2	53.5	53.8	54.1	54.4	54.7	55	55.31	55.62	55.93
35	56.24	56.55	56.86	57.18	57.49	57.81	58.13	58.45	58.77	59.1
36	59.42	59.75	60.08	61.41	60.74	61.07	61.41	61.74	62.08	62.42
37	62.76	63.1	63.45	63.8	64.14	64.49	64.84	65.2	65.55	65.91
38	66.26	66.26	66.98	67.35	67.71	68.08	68.45	68.81	69.19	69.56
39	69.93	70.31	70.69	71.07	71.45	71.83	72.22	72.6	72.99	73.38
40	73.78	74.17	74.57	74.97	75.36	75.77	76.17	76.57	76.98	77.39
41	77.8	78.21	78.63	79.05	79.46	79.88	80.31	80.73	81.16	81.58
42	82.01	82.45	82.88	83.32	83.75	84.19	84.64	85.08	85.52	85.97
43	86.42	86.87	87.33	87.78	88.24	88.7	89.16	89.63	90.09	90.56
44	91.03	91.51	91.98	92.46	92.94	93.42	93.9	94.39	94.87	95.36
45	95.85	96.35	96.84	97.34	97.84	98.35	98.85	99.36	99.87	100.38
46	100.89	101.41	101.93	102.45	102.97	103.5	104.03	104.56	105.09	105.62
47	106.16	106.7	107.24	107.78	108.33	108.88	109.43	109.98	110.54	110.1
48	111.66	112.22	112.79	113.36	113.93	114.5	115.07	115.65	116.23	116.81
49	117.4	117.99	118.58	119.17	119.77	120.37	120.97	121.57	122.18	122.79
50	123.4	124.01	124.63	125.25	125.87	126.49	127.12	127.75	128.38	129.01



เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

1. แนวทางปฏิบัติเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในภาคอุตสาหกรรมของเอเชีย “โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ(ปี2006)” www.energyefficiencyasia.org
2. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ, “โครงการพัฒนาคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในระบบหม้อไอน้ำ และระบบปรับอากาศ” กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2551
3. คู่มือฝึกอบรม “โครงการพัฒนาหลักสูตรและฝึกอบรมที่ปรึกษาด้านการอนุรักษ์พลังงาน (RCs)” กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 2546
4. กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สำหรับอาคารและโรงงาน อุตสาหกรรม, วัชร มั่งวิฑิตกุล, ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย 2544
5. การบำรุงรักษาระบบอากาศอัด, กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ 2545
6. ระบบอากาศอัด, กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ 2545
7. การอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด, กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ 2545
8. คู่มือลดการลดต้นทุนผลิตด้านพลังงาน, ศุภชัย ปัญญาวิทย์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 2549
9. คู่มือการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม, สุรัช สนิทใจ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น) 2548
10. เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม, มัตสุโอะ โมโตกิ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น) 2543
11. เทคนิคการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมและกรณีศึกษา, ศิริกัลยา สุจิตตานนท์ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2548
12. ศัพท์วิทยาการพลังงาน, สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 2536
13. ศัพท์เทคนิควิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 2545
14. คู่มือวิศวกรรมเครื่องกล, บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด 2535
15. <http://www.mistematic.co.uk/aircon/systems.htm>



จัดทำโดย

บริษัท ปัญญา ดอนัลด์ตันท์ จำกัด

โครงการการจัดทำร่างกฎกระทรวงเครื่องจักรและวัสดุอุปกรณ์
เฉพาะด้านประสิทธิภาพพลังงาน (เครื่องอัดอากาศ)



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

กระทรวงพลังงาน

17 ถนนพระราม 1 เชียงสะพานกษัตริย์ศึก ยศเส ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ 0-2223-0021-9 <http://www.dede.go.th>