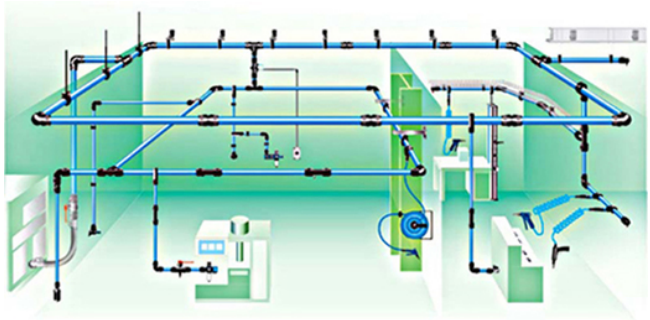


บทที่ 5
การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบอากาศอัด
(Energy Conservation for Compressed Air System)

ความสำคัญของเนื้อหาวิชา

โดยทั่วไปแล้วโรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้ระบบอากาศอัดในกระบวนการผลิตหลายกระบวนการ เช่น การใช้ลมขับกระบอกสูบเครื่องพิมพ์ผ้า การพ่นสีรถยนต์ เป็นต้น เพราะลมเป็นพลังงานสะอาดและไม่มีอันตราย ระบบอากาศอัดเป็นระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาก เนื่องจากต้องการความดันของอากาศอัดสูงและต้นทุนการผลิตอากาศอัดจะยิ่งสูงขึ้นหากมีการรั่วไหลในระบบ

วัตถุประสงค์

1. ทราบชนิดและหลักการทำงานของเครื่องอัดอากาศ และอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบอากาศอัด
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องอัดอากาศ
3. ทราบวิธีการสำรวจและประเมินประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องอัดอากาศ
4. สามารถประเมินประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องอัดอากาศจากตัวอย่างข้อมูลการสำรวจ
5. ทราบแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของระบบอากาศอัด

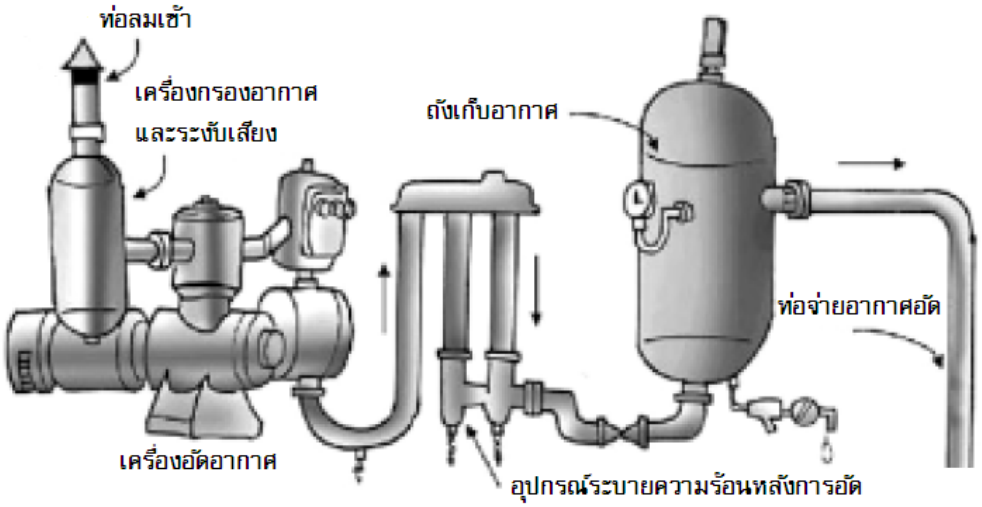
5.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องอัดอากาศ และระบบอากาศอัด

ในกรณีที่ต้องการสร้างอัตราการไหลของลมที่**ความดันสูงกว่า 1 บาร์ หรือ 10 เมตรน้ำ** จะต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

ระบบอากาศอัดมีส่วนประกอบที่สำคัญทั้งหมด 3 ส่วนดังต่อไปนี้

5.1.1 ส่วนการสร้างอากาศอัด (Air Compressor Section)

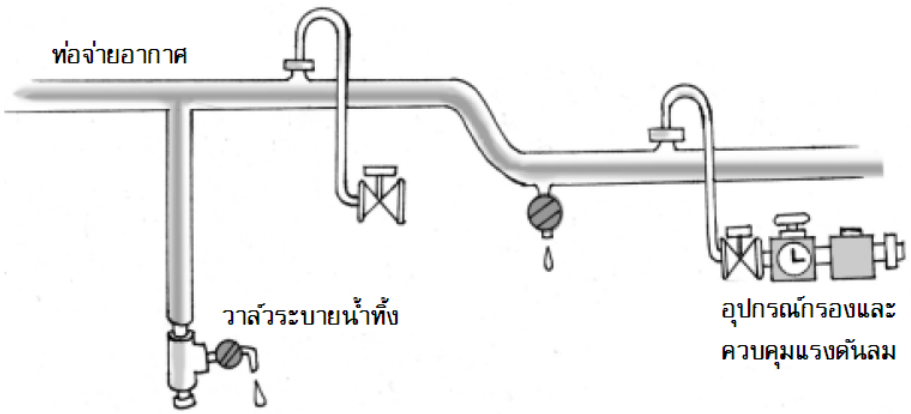
ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยเครื่องอัดอากาศ (Compressor) เครื่องกรองอากาศและระงับเสียงบริเวณทางเข้า (Silencer/Filter) อุปกรณ์ระบายความร้อนหลังการอัด (Aftercooler) และถังเก็บอากาศ (Air Receiver)



รูปที่ 5.1-1 ส่วนการสร้างอากาศอัด

5.1.2 ส่วนการจ่ายอากาศอัด (Distribution Section)

ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย ท่อจ่ายลมหลัก (Supply Line) ท่อแยก (Branch) อุปกรณ์กรองฝุ่นและความชื้น (Filter) อุปกรณ์จ่ายน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator) และอุปกรณ์ควบคุมระดับความดันลม (Regulator)



รูปที่ 5.1-2 ส่วนการจ่ายอากาศ

5.1.3 ส่วนการใช้อากาศอัด

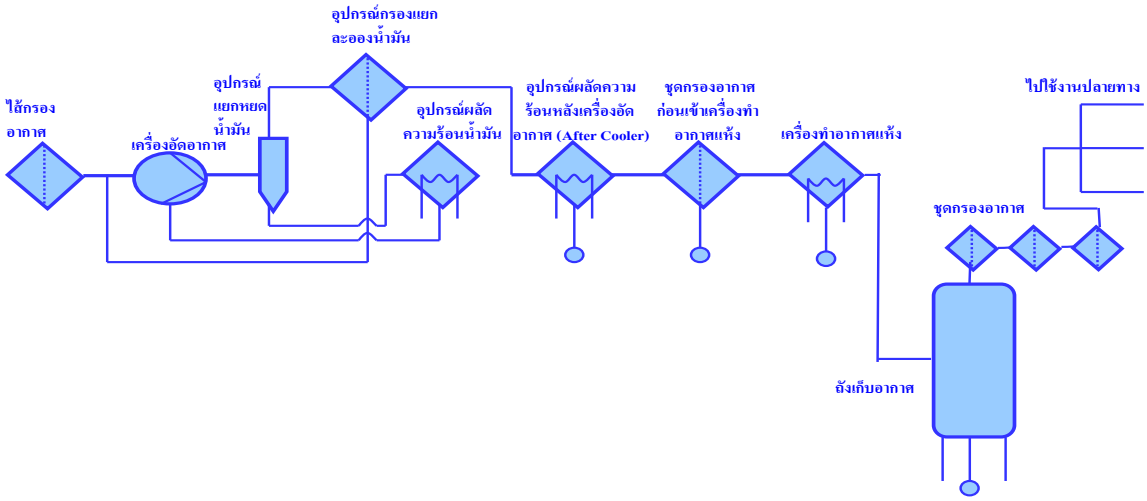
ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย อุปกรณ์หรือเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ลมในการใช้งาน เช่น กระบอกสูบ (Air Cylinder) เครื่องเป่าลม (Blower) เครื่องเจาะถนนแบบกระแทก เป็นต้น

รูปที่ 5.1-3 ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้อากาศอัดในการทำงาน

5.2 อุปกรณ์ในระบบอากาศอัด

อุปกรณ์หลักในระบบอากาศอัดประกอบด้วย กรองอากาศ เครื่องอัดอากาศ After Cooler Air Dryer ถังเก็บอากาศอัด ระบบท่อ และอุปกรณ์ใช้อากาศอัด เป็นต้น

ภาพรวมขององค์ประกอบของระบบอากาศอัด



อุปกรณ์ในระบบอากาศอัด

5.2.1 เครื่องอัดอากาศ

(1) เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

เป็นเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง **ยิ่งมีจำนวนขั้น (Stage) เพิ่มขึ้นยิ่งมีประสิทธิภาพสูง** ส่วนใหญ่ใช้เพียง 2 ขั้น เครื่องอัดอากาศ**แบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ** เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเหมาะสมกับการรับโหลดที่ไม่สม่ำเสมอได้ดี เนื่องจากมีอุปกรณ์ Un-load ที่ดี ใช้อุปกรณ์ Un-load น้อยมากเมื่อเทียบกับเครื่องแบบอื่นๆ การควบคุมยังสามารถทำเป็นแบบ Multi step ในช่วงการเดิน Part load จะให้ประสิทธิภาพดี

รูปที่ 5.2-1 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

(2) เครื่องอัดอากาศแบบโรตาริ่สกรู

เป็นเครื่องที่มีความสึกหรอน้อยเนื่องจากตัวสกรูไม่ได้สัมผัสกัน การอัดอากาศมีประสิทธิภาพพอสมควรแต่โครงสร้างเป็นตัวสกรูทำให้มีอัตราส่วนความดันคงที่ เครื่องอัดอากาศแบบโรตาริ่สกรูจะ**เหมาะกับการรับโหลดเต็มพิกัดและสม่ำเสมอ** จึงจะให้ประสิทธิภาพที่ดี

รูปที่ 5.2-2 เครื่องอัดอากาศโรตาริ่สกรู

(3) เครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง

เป็นเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงพอควรเหมาะกับระบบที่มีความต้องการอากาศมากแต่ความดันไม่สูงมากนัก และประสิทธิภาพสูงเมื่อทำงานที่ภาระสูง

รูปที่ 5.2-3 เครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง

5.2.2 ท่อดูดอากาศ

การออกแบบท่อดูดอากาศ ควรให้ท่อดูดอากาศจากภายนอก โดย**อากาศต้องเย็น แห้งและสะอาด อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำลง 3 °C จะทำให้ใช้พลังงานลดลง 1%** การอัดอากาศที่แห้งจะช่วยลดการอัดไอน้ำให้ได้ความดันเท่าอากาศ และความดันไอน้ำจะควบแน่นเป็นหยดน้ำ เรียกว่า คอนเดนเสท ซึ่งไม่สามารถใช้ประโยชน์ใดๆ ได้และต้องหาวิธีกำจัดด้วยวิธีต่างๆ ความสะอาดของอากาศจะมีผลต่อฟิลเตอร์ หากมีฝุ่นมากจะทำให้ฟิลเตอร์อุดตัน มีผลให้อากาศไหลเข้าน้อย อัตราส่วนความดันจะสูงขึ้น ทำให้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

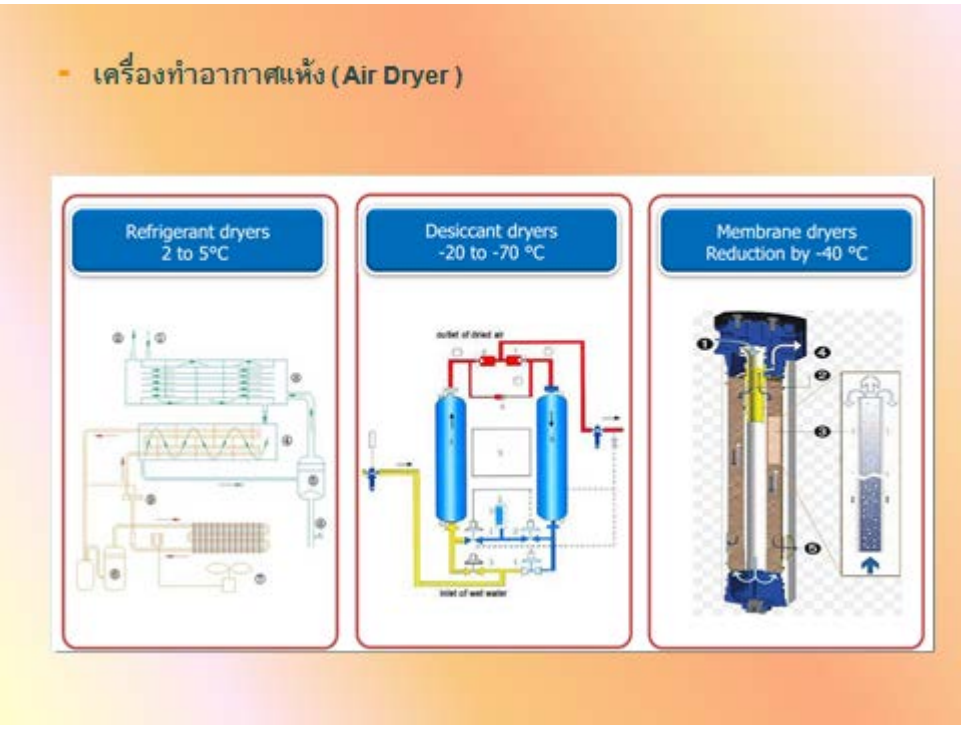
5.2.3 After Cooler

เนื่องจากอากาศที่ดูดเข้าไปจะมีอุณหภูมิสูงและมีความชื้นอยู่มาก **After Coolerจะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิลง** ซึ่งจะทำให้ความชื้นที่อยู่ในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ดังนั้นการติดตั้ง After Cooler จะช่วยลดปัญหาการเกิดน้ำคอนเดนเสทได้มาก

รูปที่ 5.2-4 After Cooler

5.2.4 Air Dryer

งานบางอย่างต้องการความชื้นในอากาศน้อยหรือมีความสะอาดมาก เช่น อุตสาหกรรมพ่นสี อุตสาหกรรมอาหารและยา **Air Dryer จะช่วยลดความชื้นและทำให้อากาศมีความแห้งมาก**



รูปที่ 5.2-5 เครื่องทำอากาศแห้ง

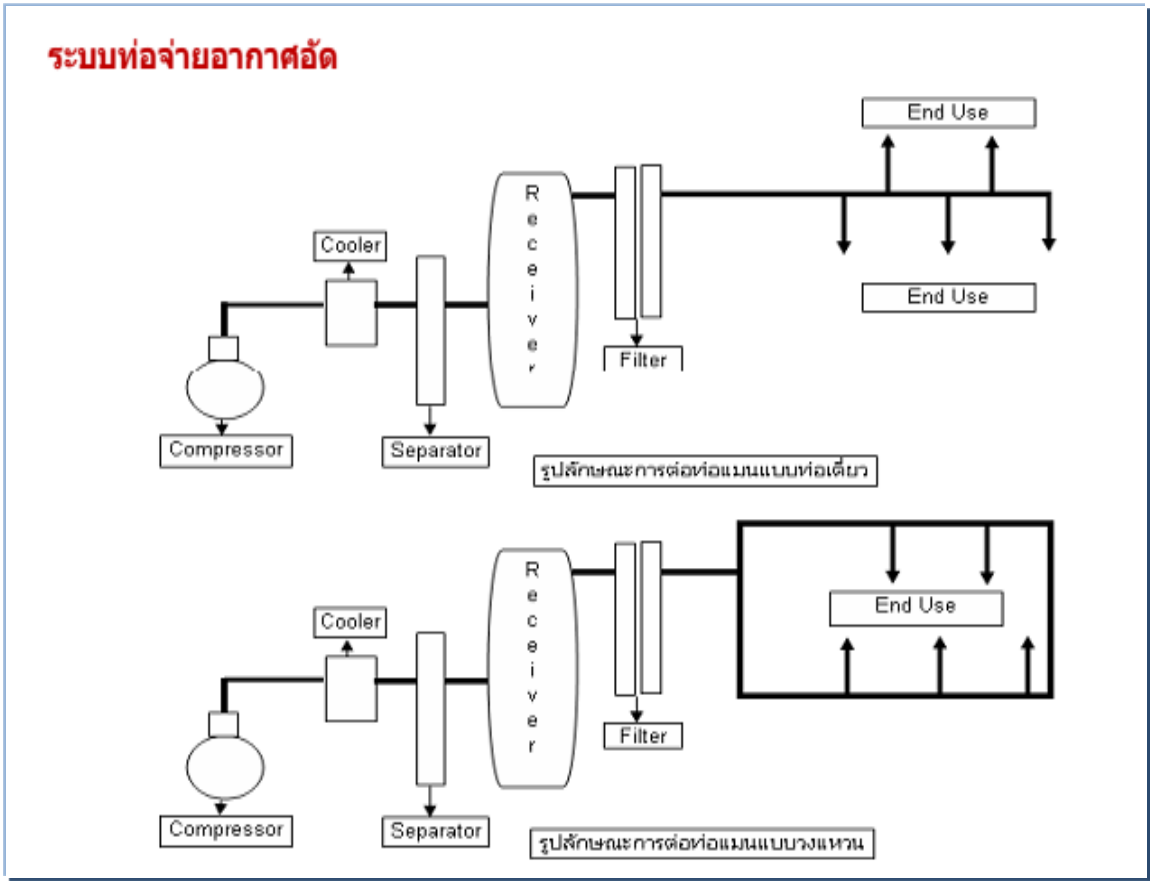
5.2.5 ถังเก็บอากาศอัด

ระบบที่ต้องการความดันอากาศที่สม่ำเสมอ **ถังเก็บอากาศจะช่วยให้ลมในระบบมีความสม่ำเสมอและช่วยลดอุณหภูมิอากาศ** ทำให้น้ำคอนเดนเสทแยกจากอากาศอัดได้บางส่วน

รูปที่ 5.2-6 ถังเก็บอากาศ

5.2.6 ท่อเมน

ท่อเมนจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะไม่ให้ความเร็วของอากาศภายในสูงเกินไป ลักษณะการต่อท่อเมนในระบบใหญ่นิยมต่อเป็น**วงแหวน** สำหรับระบบขนาดเล็กต่อเป็นแนวตรงก็ใช้ได้ ระบบท่อเมนต้องดูแลให้มี**การรั่วของอากาศไม่เกิน 5 %**



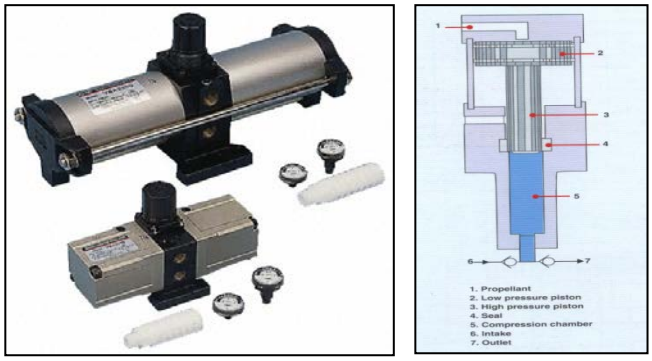
รูปที่ 5.2-7 ระบบท่อจ่ายอากาศอัด

ความดันของอากาศอัด
(1) การใช้ความดันของอากาศอัดควรตั้งความดันของอากาศให้เพียงพอกับความดันที่ใช้งาน ต้องไม่มากเกินไป ตัวอย่างเช่น ระบบนิวเมติกส์จะใช้ความดันอากาศไม่เกิน 5 บาร์ โรงงานส่วนใหญ่ผลิตอากาศที่ความดัน 7 บาร์ส่งไปตามท่อ แล้วลดความดันที่ตรงจุดใช้งานตามความต้องการของอุปกรณ์ การออกแบบลักษณะนี้ประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานไม่ดี เนื่องจากต้องลดความดันมากที่จุดใช้งาน โดยทั่วไป**ท่ออากาศส่วนใหญ่จะมีการสูญเสียความดันไม่เกิน 5 %** ดังนั้นเมื่อระบบต้องการความดันไม่เกิน 5 บาร์ อาจต้องผลิตอากาศที่ 5.6 บาร์ เมื่อเกิดการลดความดันในท่อ 5 % จะเหลือความดันที่ปลายท่อ 5.3 บาร์ ซึ่งเพียงพอกับการใช้งาน
(2) ในกรณีที่ความดันของอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ระดับ **ควรแยกระบบเป็นแรงดันสูงและต่ำ** เช่น กลุ่มหนึ่งใช้ความดัน 6 บาร์ อีกกลุ่มหนึ่งใช้ความดัน 3 บาร์ ทั้งสองกลุ่มมีปริมาณการใช้อากาศใกล้เคียงกัน โรงงานส่วนใหญ่มักจะผลิตอากาศที่ความดัน 7 บาร์ แล้วลดความดันลงให้เหมาะกับจุดที่ใช้งาน ซึ่งกลุ่มที่ใช้ความดัน 3 บาร์ จะสิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก การใช้งานลักษณะนี้ควรผลิตอากาศแยกระบบ โดยระบบแรกผลิตที่ความดัน 7 บาร์ สำหรับใช้กับอุปกรณ์ความดัน 6 บาร์ และอีกระบบผลิตที่ความดัน 3.5 – 4 บาร์ เพื่อใช้กับความต้องการ 3 บาร์ จะทำให้ลดพลังงานลง 33% เมื่อแบ่งเป็นสองระบบแล้วอาจจะต่อท่อและลดความดันระหว่างระบบทั้งสองเพื่อใช้ในกรณีฉุกเฉิน
(3) ในกรณีที่ความดันของอากาศ แบ่งเป็น 2 ระดับ แต่ในระดับสูงมีปริมาณการใช้ที่น้อยกว่า เช่น โรงงานแห่งหนึ่งใช้ความดันที่ 6 บาร์ และ 10 บาร์ แต่ความดันที่ 10 บาร์ มีความต้องการใช้อยู่ระหว่าง 10-15% ของการใช้ทั้งหมด ลักษณะนี้อาจจะผลิตอากาศที่ความดัน 7 บาร์ แล้ว**ติดตั้ง Booster** เพื่ออัดอากาศจากความดัน 7 บาร์ เป็น 11 บาร์ เพื่อป้อนให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการความดัน 10 บาร์ การจัดการลักษณะนี้จะช่วยลดการใช้พลังงานได้อย่างมาก

5.2.7 เครื่องเพิ่มแรงดัน (Booster)

โดยปกติแล้วเราพอจะจำแนกเครื่องเพิ่มแรงดันไว้สองแบบด้วยกัน

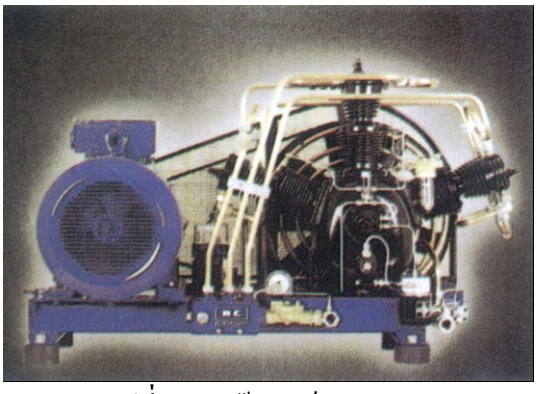
1) **เครื่องเพิ่มแรงดันแบบ (Pressure Booster)** อาศัยแรงดันของตัวมันเองเพิ่มแรงดันใหม่ ปกติแล้วเราจะผลิตแรงดันออกมาที่ประมาณสองเท่าของแรงดันที่ป้อนเข้าเพราะถูกจำกัดด้วยปริมาณอัตราการไหลของอากาศอัดที่ค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 5.2-8 บู๊ตเตอร์แบบ (Pressure Booter)

2) เครื่องเพิ่มแรงดันแบบ (Motor Booster Pump)

เครื่องเพิ่มแรงดันแบบบู๊ตเตอร์ปั๊มนั้น ลักษณะทั่วไปคล้ายกับเครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ เพียงแต่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผลิตแรงดันให้สูงกว่าซึ่งอาจสูงได้ 5-6 เท่าของแรงดันใช้ปกติ (7 บาร์) หรือถ้าเป็นลักษณะงานที่พิเศษ อาจผลิตแรงดันได้สูงถึง 180 บาร์ หรือสูงกว่านั้น



รูปที่ 5.2-9 บู๊ตเตอร์ Motor Pump

การเปรียบเทียบคุณลักษณะของเครื่องอัดอากาศประเภทต่างๆ

ประเภทเครื่องอัด	ประเภทการหล่อลื่น	ประเภทการระบายความร้อน	อัตราการผลิตอากาศอัด (l/s)	พลังไฟฟ้าในการอัดที่ 7 บาร์ (kW/l/s)	ประสิทธิภาพในช่วงไม่มีโหลด	การลงทุน	ค่าใช้จ่ายในการทำงาน	ค่าบำรุงรักษา	คุณภาพอากาศที่ผลิต
ลูกสูบ	Lubricated	Air	2 - 25	0.52	ดี	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	**ต่ำ**
	Lubricated	Air/Water	25 - 250	0.43	ดี	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	**ต่ำ**
	Lubricated	Air/Water	250 – 1,000	0.36	ดีมาก	สูง	ต่ำ	สูง	**ปานกลาง**
	Oil Free	Air	2 - 25	0.56	ดี	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	**สะอาด**
	Oil Free	Air/Water	25 - 250	0.47	ดี	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	**สะอาด**
	Oil Free	Air/Water	250 - 1,000	0.41	ดีมาก	สูง	ต่ำ	สูง	**สะอาด**
สกรู	Oil injected	Air	2 - 25	0.52	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	**ปานกลาง**
	Oil injected	Air	25 - 250	0.45	ดี (ถ้าใช้ VSD)	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	**ปานกลาง**
	Oil-injected	Air/Water	250 - 1,000	0.41	พอใช้	กลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	**ปานกลาง**
	Oil Free	Air	25 - 250	0.43	ดี	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	**สะอาด**
	Oil Free	Air	250 - 1,000	0.38	ดี	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	**สะอาด**
	Oil Free	Air/Water	1,000 - 2,000	0.38	ดี	สูง	ต่ำ	ปานกลาง	**สะอาด**
โรตารี่เวน	Oil-injected	Air	2 - 25	0.52	ดี	ต่ำ	สูง	ต่ำ	**ต่ำ**
	Oil-injected	Air	25 - 250	0.45	พอใช้	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	**ปานกลาง**
เซนตริฟูกัล	Oil-free	Water	250 - 1,000	0.45	ดี	กลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	**สะอาด**
หรือเทอร์โบ	Oil-free	Water	1,000 - 2,000	0.39	ดีมาก	กลาง	ปานกลาง	ต่ำ	**สะอาด**
	Oil-free	**Water**	**มากกว่า 2,000**	**0.36**	**ดีมาก**	**สูง**	**ต่ำ**	**ต่ำ**	สะอาด

5.3 หลักการทำงาน การติดตั้ง และการควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

การทำงานของเครื่องอัดอากาศเริ่มจากดูดอากาศเข้าทางท่อลมเข้า (Air Intake) เพื่อส่งเข้าไปยังเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) บริเวณทางเข้าเครื่องอัดอากาศจะติดตั้งกรองอากาศ (Filter) เพื่อกรองสิ่งเจือปนต่าง ๆ เช่น ฝุ่นละออง เศษใบไม้ที่อาจลอยมากับอากาศ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับเครื่องอัดอากาศ อากาศที่ผ่านเครื่องอัดอากาศแล้ว จะระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์ระบายความร้อนหลังจากอัด (After cooler) แล้วนำไปเก็บไว้ในถังเก็บอากาศ จากนั้นอากาศอัดจะทำให้แห้งด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Air dryer ก่อนนำไปใช้งานต่อไป อากาศที่มีความดันสูงจะถูกส่งผ่านจากท่อจ่ายอากาศหลัก (Supply Line) และแยกไปใช้งานตามจุดต่าง ๆ ผ่านท่อแยก (Branch) แต่ก่อนที่อากาศจะเข้าไปยังเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น กระบอกสูบ หรือพู่กันลม ต้องมีการดักและกรองสิ่งที่ปนมากับอากาศ ซึ่งได้แก่ ฝุ่นละออง สิ่งสกปรกจากภายในท่อ และน้ำมันหล่อลื่นเสียก่อน โดยใช้อุปกรณ์กรองละอองน้ำและฝุ่น (Filter)

5.3.1 การติดตั้งเครื่องอัดอากาศแบบรวมศูนย์กับแบบกระจาย

การติดตั้งเครื่องอัดอากาศแบบรวมศูนย์ เพื่อจ่ายอากาศอัดไปทั่วโรงงานตามท่อ ในกรณีที่ใช้เครื่องอัดอากาศที่มี Capacity สูง ค่ากำลังขับจำเพาะ (ความสิ้นเปลืองกำลังขับต่อปริมาณอากาศหนึ่งหน่วย, FAD) จะยิ่งลดลง ดังนั้น จึง**ควรติดตั้งเครื่องอัดอากาศที่มี Capacity สูงๆ จำนวนน้อยเครื่องจะดีกว่าการติดตั้งเครื่องที่มี Capacity ที่น้อยกว่าจำนวนมาก** อย่างไรก็ตามการติดตั้งแบบนี้จะเดินเครื่องด้วยความดันสูงสุดที่ต้องการภายในช่วงเวลาหนึ่ง ดังนั้นในช่วงเวลาที่ไม่ได้ใช้ความดันสูงจะไม่ประหยัดพลังงาน

กรณีที่ติดตั้งเครื่องอัดอากาศกระจายในแต่ละจุดที่ต้องการอากาศอัด เครื่องอัดอากาศที่ใช้จะมี Capacity ต่ำ กำลังขับจำเพาะจึงมีค่าต่ำ อนึ่งการติดตั้งแบบกระจายจะมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงกว่าการติดตั้งแบบรวมศูนย์ แต่จะสามารถเดินเครื่องด้วยความดันอากาศที่เหมาะสม ทำให้ไม่เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

5.3.2 การควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศส่วนใหญ่ที่ใช้งานอยู่จะทำงานต่ำกว่าพิกัดโดยเป็นเรื่องที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เพราะต้องทำงานแปรผันไปตามความต้องการในแต่ละวัน **การควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ**โดยการปิดเครื่องเมื่อไม่มีความจำเป็นต้องใช้งาน จะสามารถ**ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 5 – 20 %** ของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งมีหลักเกณฑ์การควบคุมเครื่องอัดอากาศ 3 หลักเกณฑ์ ที่ควรคำนึงถึงคือ

1. การควบคุมเครื่องอัดอากาศแยกแต่ละเครื่อง
2. การควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบหลายเครื่อง
3. การควบคุมระบบโดยรวม

5.3.2.1 การควบคุมเครื่องอัดอากาศแยกแต่ละเครื่อง

เครื่องอัดอากาศมีหลากหลายรูปแบบและมีวิธีการควบคุมจำนวนมาก โดยรูปแบบการควบคุมเครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้มากที่สุดคือ

- การเปิด/ปิด ส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องขนาดเล็ก
- มีภาระ/ปลดภาระ (On-Line/Off-Line)
- ลดโหลด (Unloading) ใช้กับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ
- แบบมอดูเลติ้ง (Modulating)

การควบคุมเครื่องอัดอากาศแยกแต่ละเครื่อง

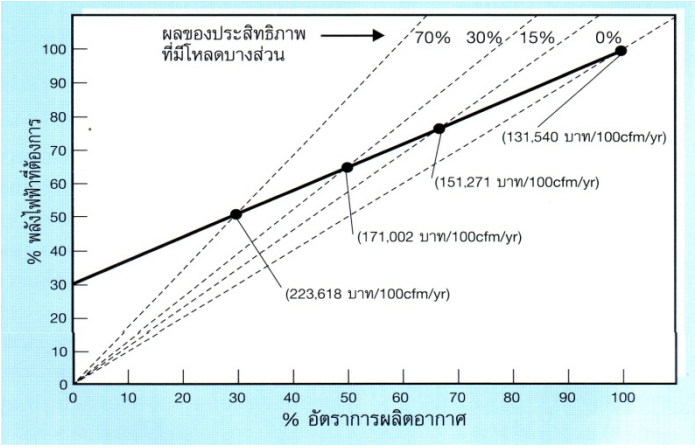
1. ระบบเปิด/ปิดอัตโนมัติ (Automatic Start/Stop) ของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวนและสกรู

สำหรับเครื่องอัดอากาศที่มีอัตราการผลิตอากาศน้อยกว่า 10 ลิตรต่อวินาที มอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศจะหยุดเมื่อไม่ต้องการใช้งาน จะเปิดเมื่อมีการทำงานโดยมีการใช้พลังงานคงที่ ณ ระดับความดันปกติ และเมื่อปิดการใช้พลังงานจะเท่ากับศูนย์ อย่างไรก็ตามอาจเกิดปัญหา เช่น เมื่อมีโหลดต่ำกว่าพิกัดทำให้เครื่องต้องทำงานและหยุดบ่อยๆ ดังนั้น วิธีนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่

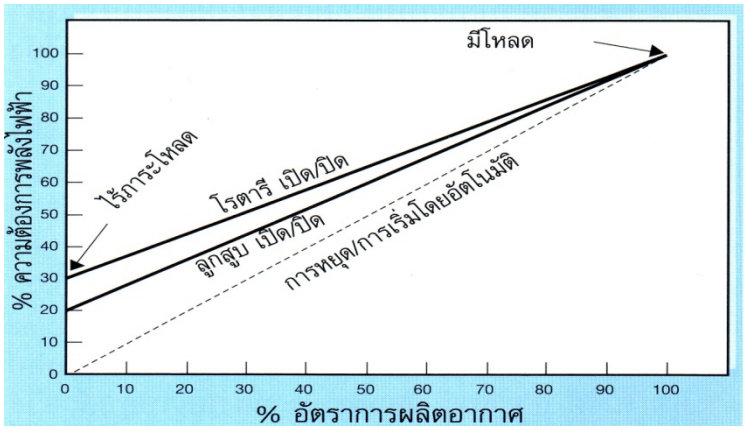
การควบคุมแบบปิดเปิดต้องติดตั้งถังเก็บอากาศหรือใช้ระบบท่อที่สามารถรองรับปริมาณอากาศมากๆ ได้ ซึ่งจะสามารถช่วยป้องกันการเปิดและการปิดเครื่องอัดอากาศบ่อยๆ ข้อเสียของระบบนี้ คือการควบคุมรอบของการทำงานที่มีโหลด/ไม่มีโหลด ซึ่งจะต้องทำให้มีความดันแตกต่างกันประมาณ 0.5 บาร์

2. ระบบควบคุมแบบมีภาระ/ปลดภาระ (On-Line/Off-Line) ของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวนและสกรู

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวนและสกรู ส่วนมากจะใช้ระบบควบคุมแบบมีภาระ/ปลดภาระ (On-Line/Off-Line) เมื่อมีการอัดอากาศเครื่องจะทำงานใกล้เคียงกับอัตราการใช้พลังงานจริง แต่เมื่อความต้องการอากาศอัดได้ตามต้องการ เครื่องอัดอากาศจะยังทำงานอย่างต่อเนื่องแต่เป็นแบบปลดภาระ (Off-Line) ซึ่งจะใช้พลังงานน้อยลง ในรูปที่ 5.3-1 แสดงให้เห็นถึงการควบคุมแบบมีภาระ/ปลดภาระ โดยขณะปลดภาระจะใช้พลังไฟฟ้าประมาณ 30% ของพลังไฟฟ้าพิกัด และยังแสดงให้เห็นถึงอัตราเฉลี่ยของความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ภาระโหลดเฉพาะต่างๆ เช่นมีภาระ 50% ต้นทุนการผลิตลมประมาณ 171,002 บาท/100 cfm/ปี ถ้าปลดภาระเครื่องอัดอากาศจะทำงานตัวเปล่าที่ 100% ทำให้ต้นทุนจะประมาณ 131,540 บาท/100 cfm/ปี นั่นหมายความว่า มีความเป็นไปได้ที่จะประหยัดพลังงานในระหว่างการทำงานโดยสัมพันธ์กันกับวงจรของมอเตอร์



รูปที่ 5.3-1 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่โหลดในแต่ละสภาวะของเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่ภายใต้การควบคุมแบบมีภาระและปลดภาระ (On-line/Off line)



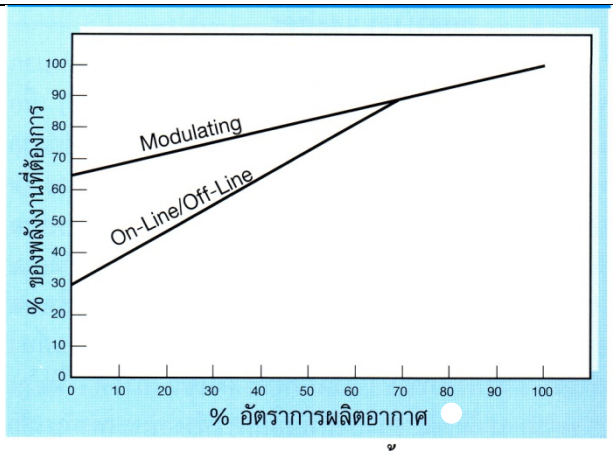
รูปที่ 5.3-2 การมีภาระโหลดบางส่วนเมื่อใช้ระบบควบคุมแบบมีภาระและปลดภาระ (On-line/Off line)

วิธีการควบคุมเครื่องอัดอากาศทำโดยการเปิดวาล์วที่ท่อทางเข้าของอากาศ (Suction line) กับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบบางรุ่น จะทำให้มีผลต่อการปลดภาระ สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบสกรูและแบบโรตารี่เวน จะมีระบบฉีดน้ำมันหล่อลื่นเพื่อรักษาระดับความดัน ซึ่งจะทำให้มีการใช้พลังงานในช่วงไม่มีภาระโหลดประมาณ 30-40 % ของโหลดเต็มพิกัด

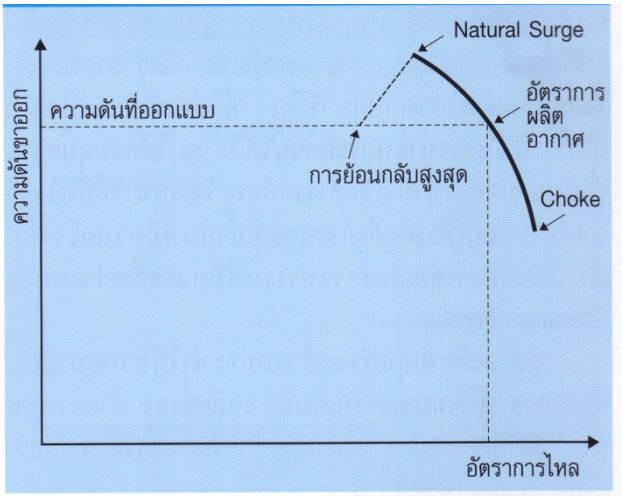
การใช้ On-Line/Off-Line ควบคุมการไหลที่ท่อขาเข้าของเครื่องอัดอากาศแบบสกรูชนิดไม่มีน้ำมัน (Oil free) ซึ่งการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบไม่มีน้ำมันส่วนใหญ่จะทำงานแบบ 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเป็นการควบคุมอัตราการไหล โดยในขั้นตอนที่ 2 จะนำอากาศไหลเวียนกลับมาที่ท่อทางเข้าเพื่อลดอุณหภูมิที่ชุดหล่อเย็น ซึ่งวิธีนี้จะลดการใช้พลังงานได้แต่น้อยกว่าเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่และแบบสกรูชนิดใช้น้ำมัน

การควบคุมแบบมีภาระ/ปลดภาระและแบบอัตโนมัติ (On-Line/Off-Line+Auto) สวิตช์ปิดมอเตอร์โดยอัตโนมัติเมื่อเครื่องทำงานโดยไม่มีโหลดตามที่ผู้ใช้กำหนดโดยตั้งระยะเวลาไว้ เช่น 10 นาที, 20 นาที หรือมากกว่านี้ (ซึ่งจะกำหนดเป็นตัวเลขเช่น 1/6 , 2/6 และอื่นๆเป็นต้น เลขส่วนจะเป็น 6 หมายถึง 60 นาที สำหรับเลขเศษ 1,2 หมายถึงช่วงเวลาปลดโหลดเท่ากับ 10 นาที หรือ 20 นาที เป็นต้น เมื่อครบเวลาเครื่องอัดอากาศก็จะหยุดการทำงานอย่างอัตโนมัติ) และเครื่องจะเปิดใหม่เมื่อต้องการอากาศอัด

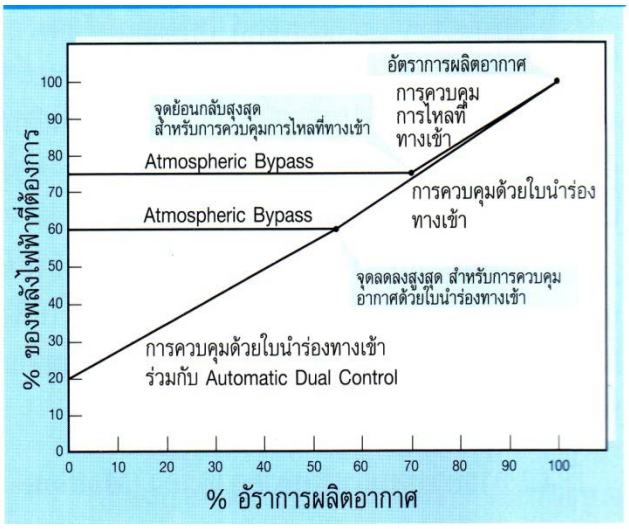
การทำงานของเครื่องอัดอากาศโดยมีโหลดไม่เต็มพิกัดภายใต้การควบคุมด้วยวิธีนี้จะสัมพันธ์กับการเปิด/ปิดของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ และมีการหยุด/เริ่มเดินเครื่องแบบอัตโนมัติทำให้สามารถนำระบบซอฟสตาร์ทเตอร์ (Soft Starter) หรือการเริ่มเดินเครื่องแบบนุ่มนวลมาใช้กับมอเตอร์ เมื่อจำเป็นต้องเปิดและปิดเครื่องบ่อยๆ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานเช่นกัน



รูปที่ 5.3-3 การควบคุมการทำงานโดยมีภาระโหลดบางส่วนด้วยวิธีมอดูเลติ้ง



รูปที่ 5.3-4 การทำงานที่โหลดเต็มพิกัดของเครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง

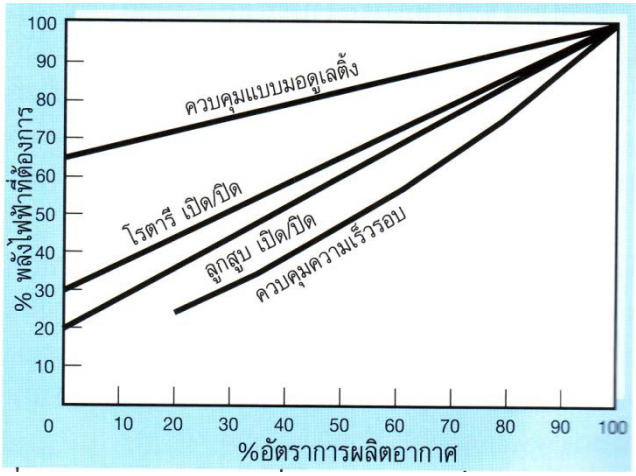


รูปที่ 5.3-5 การทำงานที่มีโหลดบางส่วนของเครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง

3. การควบคุมแบบหลายขั้นตอน (Clearance Pocket Unloading) ใช้กับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ
การทำงานที่มีภาระโหลดพิกัดจะคล้ายๆ กับการควบคุมแบบ On-Line/Off-Line ที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ แต่จะสามารถปรับปริมาณอากาศได้ถึง 5 ระดับคือ 100% -75% -50% -25% และ 0% ดังแสดงให้เห็นอยู่ในรูปที่ 5.10 อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำ
4. การควบคุมแบบมอดูเลติ้งโดยการหมุนวาล์ว (Modulating-by Turn Valve) สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบสกรูชนิดฉีดน้ำมัน
โดยการเปิดทางเข้า(ท่อย่อย)เพื่อทำให้อากาศส่วนเกินไหลย้อนกลับไปยังท่อทางเข้าเครื่องอัดอากาศในทางปฏิบัติ พบว่าวิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพคล้ายกันกับการควบคุมแบบ On-Line/Off-Line อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ทำให้สามารถควบคุมความดันแตกต่างภายในได้ 0.1 บาร์ ตลอดระยะเวลาที่ควบคุมด้วยวิธีมอดูเลติ้ง (Modulating)
5. การควบคุมแบบมอดูเลติ้งด้วยคันบังคับการไหลที่ทางเข้า (Modulating - byInlet Throttling) สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวนและสกรู
เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวนและสกรู สามารถควบคุมได้โดยการใช้การควบคุมแบบ มอดูเลติ้ง Modulating) ด้วยวาล์วควบคุมการไหลหรือการควบคุมโดยใช้ Throttling Valve (ปรับปริมาณอากาศ ที่ทางเข้า) วิธีนี้นำมาใช้กับการเปลี่ยนแปลงช่องทางไหลโดยยอมให้อากาศบางส่วนไหลเข้ามาที่ท่อทางเข้าทำให้ระบบมีความดันเพิ่มขึ้น เพื่อทำให้อากาศที่ผลิตจากเครื่องลดลง ข้อดีของวิธีนี้สามารถรักษาระดับความดันภายในให้มีความแตกต่างกันน้อยมากถ้ามีการควบคุมการไหลอย่างต่อเนื่องจะทำให้ความดันที่ท่อทางเข้าลดลง และอัตราส่วนของการอัดอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานต่ำ (เมื่อมีภาระโหลดต่ำกว่าพิกัด แต่จะสูงมากกว่าการควบคุมแบบ On-Line/Off-Line) จากการที่อัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้น เป็นผลให้อุณหภูมิของอากาศที่ส่งจ่ายเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหานี้ วิธีมอดูเลติ้งจะควบคุมอากาศให้ไหลผ่านได้ประมาณ 50% ในขณะที่พลังงานลดลง จะสามารถทำให้อากาศอัดเพิ่มขึ้น 75 % ซึ่งวิธีควบคุมการไหลของอากาศอัดที่ผลิตได้วิธีนี้ จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการควบคุมแบบ On-Line/Off-Line และจะนำมาใช้ได้กับเครื่องอัดอากาศที่มีภาระโหลดสูงเท่านั้น สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบสกรูชนิดฉีดน้ำมันจะสามารถกำจัดความร้อนส่วนเกินออกจากน้ำมันได้ วิธีมอดูเลติ้งจะสามารถนำไปใช้ได้กับเครื่องที่มีภาระโหลดต่ำๆ แต่ไม่ค่อยจะมีประสิทธิภาพมากนัก
6. การควบคุมแบบมอดูเลติ้งด้วยคันบังคับการไหลที่ทางเข้า (Modulating-by Inlet Throttling) ร่วมกับการควบคุมแบบ On-Line/Off-Line สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เวนและสกรู
การเลือกวิธีการควบคุมแบบมอดูเลติ้ง หรือควบคุมแบบ On-line/Off-Line การควบคุมมอดูเลติ้งจะไม่ใช้กับการทำงานที่มีโหลดต่ำกว่า 70% ระบบนี้จะมีความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากการควบคุมด้วยมือ

7. การควบคุมแบบมอดูเลติ้งด้วยวาล์วที่ท่อด้านดูด (Modulating-by Suction Valve) ที่ไม่มีโหลดใช้เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ
การทำงานของวาล์วที่ท่อด้านดูด จะสามารถปรับเพิ่มเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงโดยการควบคุมระยะเวลาการเปิดวาล์ว ซึ่งวิธีนี้สามารถที่จะนำมาควบคุมจังหวะการเปิดให้น้อยลงจากภาวะที่ไร้ภาระจนถึงภาวะที่มีภาระโหลดเต็มพิกัด
8. การควบคุมแบบมอดูเลติ้งด้วยวาล์วควบคุมการไหลที่ทางเข้าร่วมกับท่อบายพาส (Modulating-by Inlet Throttle with Bypass) ใช้เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง
เครื่องอัดอากาศแบบไดนามิก (Dynamic) จะถูกออกแบบให้ทำงานเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันเนื่องจากอุณหภูมิสูง และความดันต่ำในแต่ละวัน การเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันแสดงให้เห็นอยู่ในรูปที่ 5.3-4 รวมทั้งการไหลย้อนกลับของอากาศทันทีทันใดภายในเครื่องอัดอากาศ และควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นในระหว่างการทำงานปกติ ซึ่งจะทำให้มีความต้องการพลังงานที่มีภาระโหลดเต็มพิกัดเพิ่มขึ้น เพื่อทำให้อากาศที่ทางเข้ามีความหนาแน่นสูงขึ้น ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยงที่มีโหลดต่ำกว่าพิกัด ได้แสดงในรูปที่ 5.3-5 โดยใช้วิธีการควบคุมแบบต่างๆ
9. การควบคุมอากาศด้วยครีบนำร่องที่ทางเข้ากับบายพาส (Inlet Guide Vanes with Atmospheric Bypass) ใช้เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง
การควบคุมอากาศด้วยครีบนำร่องที่ทางเข้า (Inlet Guide Vanes) นั้น จะเป็นใบพัดชนิดปรับมุมได้ที่ติดตั้งอยู่ที่ท่อทางด้านดูดของเครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง การควบคุมวิธีนี้นิยมนำมาใช้มากกว่าการควบคุมการไหลที่ท่อทางเข้า ซึ่งจะทำให้การทำงานที่มีโหลดพิกัดมีประสิทธิภาพมากกว่า
10. การควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Dual Control) ใช้เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง
การควบคุมวิธีนี้จะใช้วิธีการเดียวกับ Modulating + on-Line/off-Line ซึ่งจะทำให้การใช้พลังงานลดลงแต่ข้อเสียของการควบคุม Automatic Dual control ก็คือจะมีความแตกต่างของความดันเพิ่มขึ้นประมาณ 0.5 บาร์ ระหว่างการทำงานที่มีโหลดต่ำ
11. การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศ
การใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (Variable speed control) เป็นวิธีควบคุมเครื่องอัดอากาศวิธีใหม่ ซึ่งจะทำให้ขอบเขตการควบคุมกว้างขึ้น (ลดลงได้ถึง 20 % ของกำลังการผลิต) สามารถผลิตอากาศอัดได้สอดคล้องกับความต้องการ เป็นวิธีที่เหมาะกับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ แบบโรตารี่เวน และสกรู อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบจะทำให้ควบคุมระบบอัดอากาศได้ดีขึ้นและความดันมีค่าเฉลี่ยต่ำลง ตัวอย่างเช่น ถ้าความดันลดลง 0.5 บาร์ จะทำให้ประหยัดได้ 3 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงาน

การใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ จะเหมาะกับเครื่องอัดอากาศที่มีโหลดบางส่วนที่มีช่วงระยะเวลานานๆ แต่จะไม่เหมาะกับเครื่องอัดอากาศที่มีโหลดเต็มพิกัดเพราะไม่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศในขณะนี้จะนิยมนำมาใช้กับเครื่องอัดอากาศแบบสกรู
อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งกับมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Ac Induction Motor) และมอเตอร์ความต้านทานแม่เหล็ก (Reluctance Motor)



รูปที่ 5.3-6 การใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว ควบคุมการผลิตอากาศอัดเปรียบเทียบกับการควบคุมวิธีอื่น ๆ

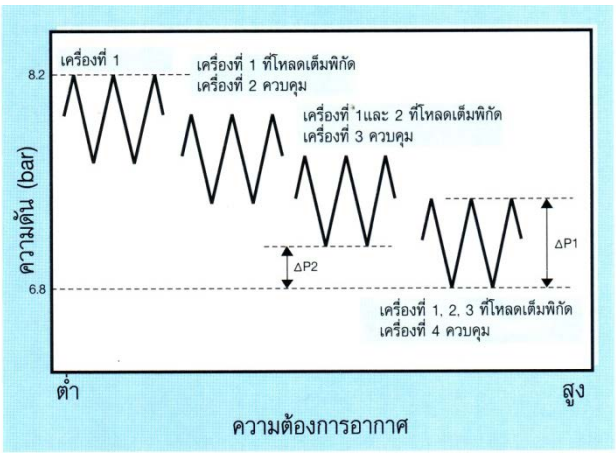
5.3.2.2 การควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบหลายเครื่อง (Multiple Compressor Control)

โรงงานส่วนใหญ่จะมีเครื่องอัดอากาศมากกว่า 1 เครื่อง เพื่อให้ทำงานร่วมกันอย่างดีที่สุด การจัดลำดับหมุนเวียนให้เครื่องอัดอากาศทำงาน จะทำให้แต่ละเครื่องเสื่อมสภาพเท่ากัน และยังมีความเป็นไปได้ที่จะหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องที่ไม่มีประสิทธิภาพ วิธีการควบคุมแบบอัตโนมัติที่เหมาะกับการควบคุมเครื่องอัดอากาศที่ติดตั้งหลายๆเครื่องที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 วิธี คือ

- การควบคุมความดันตามลำดับขั้น (Cascade pressure control)
- การควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control)

การควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบหลายเครื่อง (Multiple Compressor Control)
1. การควบคุมความดันตามลำดับขั้น (Cascade pressure control)
จากวิธีการควบคุมอย่างง่ายๆ นี้เป็นการควบคุมบนพื้นฐานของสวิตซ์ควบคุมความดันของเครื่องอัดอากาศ โดยปกติสวิตซ์ควบคุมความดันหรือทรานส์ดิวเซอร์จะติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องของโรงงานทำให้ได้รับการตอบสนองต่อการควบคุมอย่างมาก แม้จะเป็นสถานที่ที่อยู่ไกลถึงปลายสุดของเครือข่ายการส่งจ่ายอากาศ อย่างไรก็ตาม ควรนำมาใช้อย่างระมัดระวังเพื่อทำให้มั่นใจได้ว่าไม่มีความดันอากาศสูงเกินความจำเป็นโดยให้เพียงพอกับความดันตกในระบบท่อและการปรับปรุงคุณภาพของอากาศ

จากรูปที่ 5.3-7 แสดงการทำงานของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 "เครื่องสำคัญที่สุด" ที่กำหนดให้มีความดันสูงที่สุดสำหรับความต้องการอากาศต่ำๆ ซึ่งถ้ามีความต้องการอากาศเพิ่มขึ้น ความดันจะลดลงนำไปสู่การทำงานของเครื่องที่ 2 ที่ออนไลน์อยู่และส่งไปยังเครื่องต่อๆ ไปจนกระทั่งถึงระดับความต้องการอากาศสูงสุดสำหรับเครื่องอัดอากาศทั้ง 4 เครื่อง

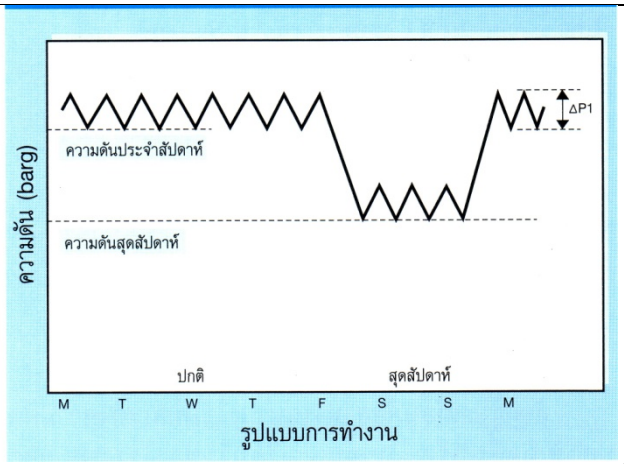


รูปที่ 5.3-7 ตัวอย่างวิธีการควบคุมตามลำดับขั้น

เครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่องจะกำหนดความดันแตกต่าง (ΔP1) ของโหลด ในรูปที่ 5.3-7 จะมีความดันแตกต่าง 0.5 บาร์ แต่ละขั้นจำเป็นจะต้องรักษาระดับความดันน้อยที่สุดไว้ หากไม่สามารถทำให้เกิดความดันสอดคล้องกับความต้องการอากาศอัด ก็อาจต้องใช้วิธีกำหนดความดันสูงที่ระดับความต้องการต่ำ แต่วิธีนี้ควรนำมาใช้อย่างระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าความดันที่กำหนด อยู่ภายในขีดจำกัดของอัตราการผลิตอากาศของเครื่องอัดอากาศ

2. การควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control)

การควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์สามารถนำมาใช้กับการควบคุมตามลำดับขั้น โดยการรวมความดันและความต้องการอากาศที่สัมพันธ์กับสัญญาณ ควรหลีกเลี่ยงการกำหนดความดันคงที่ ซึ่งความดันที่เกิดขึ้นจากวิธีนี้จะสอดคล้องกับความต้องการอากาศอัด และอาจมีความดันต่ำเกิดขึ้น(ระหว่างช่วงเย็นและสุดสัปดาห์) การตรวจวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงความดัน สามารถนำมาคาดการณ์ระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ โดยประมาณการความต้องการอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศล่วงหน้าใหม่ และจากนั้นจึงทำการหยุดเครื่องเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียพลังงานในช่วงไม่มีโหลด



รูปที่ 5.3-8 การลดความดันอย่างเหมาะสมกับความต้องการของพื้นที่ โดยใช้วิธีการควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์

การควบคุมความแตกต่างของความดันแต่ละรอบ สามารถใช้วิธีการควบคุมแบบไมโครโพรเซสเซอร์ขั้นพื้นฐาน (Microprocessor based control) แล้วลดความดันของระบบที่ยอมรับได้ จะสามารถทำให้ประหยัดพลังงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.3-8

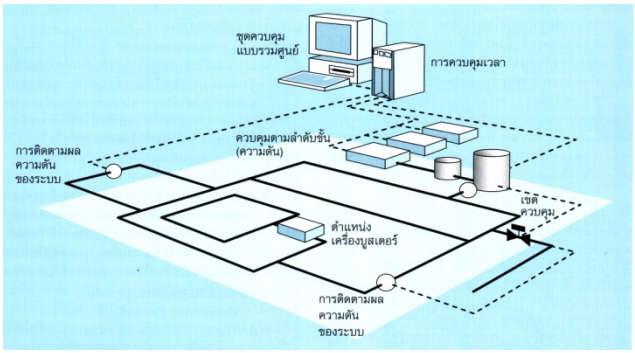
5.3.2.3 การควบคุมระบบโดยรวม (Overall System Control)

โดยทั่วไประบบควบคุมที่มีความซับซ้อนมากจะสามารถยืดหยุ่นและประหยัดได้มากขึ้น แต่บ่อยครั้งที่จำเป็นต้องระมัดระวังถึงระดับความต้องการอากาศของระบบทั้งหมด บางระดับจะต้องติดตามตรวจวัดผลก็เพื่อทำให้มั่นใจว่า ทำงานถูกต้องอย่างต่อเนื่อง และเชื่อมต่อกับระบบการจัดการอาคารสำนักงาน (Building Management system) ซึ่งเป็น วิธีการที่สมบูรณ์ของการทำให้บรรลุความสำเร็จของวิธีนี้

การควบคุมระบบโดยรวม (Overall System Control)
1. การควบคุมอย่างง่าย
- ระบบจำเป็นต้องสัมพันธ์กันกับพื้นที่ควบคุมที่ไม่ซับซ้อน และยอมให้บางส่วนของระบบหยุดการทำงานเมื่อไม่ใช้งาน - การควบคุมด้วยสวิตซ์เวลาอย่างง่ายๆ เป็นรูปแบบพื้นฐานที่นิยมนำมาใช้กันมากที่สุดของการควบคุมตามเวลาที่กำหนด ซึ่งสามารถนำมาใช้กับจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของการผลิตอากาศที่อยู่ไกลออกไปเมื่อไม่จำเป็นต้องใช้งานเพื่อประหยัดพลังงาน
2. การควบคุมแบบรวมศูนย์ (Integrated Control)
การควบคุมแบบรวมศูนย์อาจนำมาบรรจุเป็นส่วนหนึ่งของระบบการจัดการอาคาร (Building Management system) สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องติดตามผลปฏิบัติงานในโรงงาน ความต้องการอากาศอัด การใช้พลังงาน

ไฟฟ้าและอื่นๆแล้ว ยังสามารถนำมาแสดงให้เห็นถึงความต้องการ การบำรุงรักษาบนพื้นฐานของชั่วโมงการทำงานหรือสภาวะของการติดตามผลได้อีกทาง

สัญญาณเตือนภัยสามารถนำมาใช้เพื่อแสดงความผิดปกติที่เกิดขึ้นหรือเกินขอบเขตเงื่อนไขของโรงงาน และยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์กับระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการด้านพลังงาน และบ่อยครั้งสามารถนำมาใช้บ่งชี้ถึงปัญหาที่เคยเกิดขึ้นมาก่อน รูปที่ 5.3-9 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของการติดตั้งระบบควบคุมแบบรวมศูนย์



รูปที่ 5.3-9 ตัวอย่างการติดตั้งระบบควบคุมแบบรวมศูนย์

5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องอัดอากาศ

ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

กำลังขับเคลื่อนตามทฤษฎีของเครื่องอัดอากาศ จะมีความซับซ้อนเล็กน้อย ในกรณีของการอัดแบบไม่ถ่ายเทความร้อน (Isentropic Process) ความสัมพันธ์ระหว่างความดันก๊าซกับปริมาตร ดังนี้

$$pv^{\kappa} = \text{ค่าคงที่}$$

โดย κ คือ Specific heat ratio (Adiabatic index) = ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ / ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว กำลังขับเคลื่อนตามทฤษฎี P [kW] เพื่อทำการอัดปริมาณลม Q [m^3/min] ตั้งแต่ความดัน P_1 [Pa] จนถึง P_2 [Pa] จะเท่ากับ

$$P = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{p_1 Q}{60000} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] \quad [\text{kW}]$$

ดังนั้น หากให้ผลคูณของประสิทธิภาพเชิงกลและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ η [%] และให้ Tolerance เท่ากับ α จะได้กำลังขาออกที่ใช้ในมอเตอร์ P_m เท่ากัน

$$P_m = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{p_1 Q}{60000} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] \cdot \frac{100}{\eta} (1 + \alpha) \quad [kW]$$

5.5 การตรวจสอบการทำงานและประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องอัดอากาศ

การใช้เครื่องอัดอากาศภายหลังการออกแบบและติดตั้ง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาอยู่อย่างต่อเนื่องเป็นประจำเพื่อให้เครื่องอัดอากาศทำงานอย่างปกติและมีประสิทธิภาพ

ข้อมูลและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดเครื่องอัดอากาศ

5.5.1 ข้อมูลที่สำคัญที่ควรตรวจวัด

ข้อมูลในระบบอากาศอัดที่ต้องตรวจวัด จะประกอบด้วยข้อมูลเบื้องต้น และข้อมูลการใช้งานจริง โดยข้อมูลที่สำคัญ มีดังนี้

1. สำรวจข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องอัดอากาศ
2. สำรวจระบบและการเปิดใช้งานจริง
3. ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า
4. สำรวจค่าความดันของอากาศ
5. สำรวจขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อและการเดินท่อ

5.5.1.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องอัดอากาศ

ขั้นตอนแรกในการรวบรวมข้อมูล คือการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องอัดอากาศ เพื่อให้ทราบถึง Spec ของเครื่องที่มีการใช้งาน และข้อมูลประสิทธิภาพจากผู้ผลิต ซึ่งควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- ชนิดของเครื่องอัดอากาศที่ใช้งาน ว่าเป็นแบบ Centrifugal หรือ Rotary Screw หรือ แบบลูกสูบ เป็นต้น
- ขนาดของเครื่องอัดอากาศ เช่น พิกัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ พิกัดอัตราการไหลของอากาศที่พิกัดความดันที่ผลิตได้ พิกัดแรงดัน
- จำนวน และยี่ห้อของเครื่องอัดอากาศที่ใช้งาน

5.5.1.2 การสำรวจระบบและการเปิดใช้งานจริง

เพื่อให้ทราบสภาพและลักษณะการใช้งาน และการเดินเครื่องอัดอากาศ ควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- แผนผังการจัดวางเครื่องอัดอากาศ และระยะเวลาการใช้งานแต่ละเครื่อง
- เวลาการเปิด - ปิด เครื่องอัดอากาศ (ชั่วโมงการทำงาน/วัน)

5.5.1.3 การตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า

เพื่อให้ทราบค่ากำลังไฟฟ้าที่พัดลมใช้งาน ซึ่งควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- แรงดันไฟฟ้า (Volt)
- กระแสไฟฟ้า (Amps)
- Power Factor
- กำลังไฟฟ้า (kW)

5.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจวัด

5.5.2.1 ประเภทและชนิดเครื่องมือวัดที่ใช้

ประเภทและชนิดของเครื่องมือวัดที่อาจใช้ในระบบพัดลมเป็นประจำ สรุปได้ดังนี้

5.5.2.1.1 ประเภทเครื่องมือวัดด้านไฟฟ้าทั่วไป ได้แก่

ก) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์มิเตอร์

ข) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าหรือแอมป์มิเตอร์

ค) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าหรือวัตต์มิเตอร์

ง) เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกพลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง

จ) เครื่องวัดตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือเพาเวอร์แฟคเตอร์มิเตอร์ (P.F. meter) สำหรับทั้งระบบกระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC)

เครื่องมือวัดเหล่านี้ ควรเป็นแบบพกพาได้ (Portable) และใช้งานง่าย เช่น เป็นประเภทหนีบ หรือคล้องกับสายไฟ ซึ่งในปัจจุบันเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบพกพาจะสามารถวัดได้ทั้งแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในเครื่องเดียวกัน โดยสามารถดูภาพตัวอย่างของเครื่องมือวัดด้านไฟฟ้าเหล่านี้ได้ในตอนที่ 2 บทที่ 1

5.5.2.1.2 ประเภทเครื่องมือวัดด้านความร้อน ได้แก่

ก) เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิบรรยากาศ อุณหภูมิผิวแบบสัมผัส

ข) เครื่องวัดความชื้นบรรยากาศ

ค) เครื่องวัดความเร็วและอัตราการไหลของก๊าซและของเหลว

ง) เครื่องมือวัดความดัน

โดยสามารถดูภาพตัวอย่างของเครื่องมือวัดด้านความร้อนเหล่านี้ได้ในตอนที่ 3 บทที่ 1

5.6 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด

ระบบอัดอากาศมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายประเภท แต่ละโรงงานจำเป็นต้องออกแบบระบบที่ดี การเลือกใช้ประเภทและขนาดให้เหมาะสม ขนาดของถังเก็บอากาศมีปริมาณที่เพียงพอกับลักษณะงาน ขนาดของท่อเมนต้องโตพอที่จะทำให้ความเร็วของอากาศไม่สูงเกินไปจนทำให้เสียความดัน และสามารถแยกคอนเดนเสทได้ดี หมั่นตรวจสอบการรั่วไหลของอากาศอัดอย่างสม่ำเสมอ เข้าใจถึงหลักการทำงานตลอดจนการใช้อากาศอัดให้เหมาะสมกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ และ การใช้งานและการบำรุงรักษาที่ดี จะช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้ เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและยังเป็นการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย

แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัดที่ใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถทำได้ทำได้ดังต่อไปนี้
1. ลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็น (Cooling Effect) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Intercooler)
2. ปรับตั้งความดันลมของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งาน
3. เลือกใช้เครื่องอัดอากาศและระบบที่มีประสิทธิภาพสูง 4. ป้องกันการรั่วของลมจากจุดต่าง ๆ ของระบบ และจากตัวเครื่องอัดอากาศเอง
5. บริหารการใช้เครื่องอัดอากาศและระบบให้ใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
ประเด็นสำคัญในการอนุรักษ์พลังงานของระบบอากาศอัด
(1) คำนวณต้นทุนของอากาศอัด [บาท/m^3] แล้วใช้ต้นทุนนี้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายตามปริมาณความสิ้นเปลืองอากาศของอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยอากาศอัด ในจำนวนต้นทุนนี้จะมีค่าไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเป็นหลัก
(2) ปริมาณอากาศขาออกของเครื่องอัดอากาศโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 5.5-7.5 ที่กำลังขับจำเพาะ [kW/m^3/min] (ANR) กล่าวคือเท่ากับ 0.13-0.18 [m^3/min/kW] (ANR)
(3) เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กจะใช้แบบลูกสูบ ขนาดกลางจะใช้แบบสกรู และขนาดใหญ่จะใช้แบบเทอร์โบเป็นหลัก ประเด็นสำคัญในการเลือกใช้เครื่องอัดอากาศคือ จะใช้แบบใช้น้ำมันหรือไม่ใช้น้ำมัน จำนวนชั้นของการอัดอากาศ การสั่นสะเทือน เสียง และวิธีควบคุม Capacity เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระ
(4) หากมีเครื่องอัดอากาศหลายตัว แล้วใช้วิธีควบคุมจำนวนเครื่องให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงภาระจะทำให้เดินเครื่องได้อย่างอนุรักษ์พลังงานใกล้เคียงกับเส้นกราฟกำลังขับในอุดมคติ
(5) สิ่งที่สำคัญคือการอนุรักษ์พลังงานทางด้านผู้ใช้อากาศอัด (การปรับความดันให้เหมาะสม การลดการปล่อยอากาศทิ้งและอากาศรั่ว เป็นต้น)

การตรวจหาการรั่วไหลของอากาศอัด

วิธีการตรวจสอบปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดขณะไม่มีโหลด (No-Load Testing)

การทดสอบหาปริมาณอากาศอัดที่รั่วไหล สามารถกระทำได้โดยอาศัยอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบ ซึ่งไม่ต้องมีการลงทุนใดๆเพิ่มเติม มีข้อพึงปฏิบัติที่สำคัญคือ ต้องปิดโหลดทุกชนิด ของระบบอัดอากาศที่จะทำการทดสอบ วิธีการทดสอบดังกล่าวมีอยู่ 2 กรณี ดังนี้

วิธีที่ 1 การทดสอบเครื่องอัดอากาศที่ทำงานแบบ ON/OFF หรือ Load-Unload

ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กจำพวกลูกสูบ แต่ถ้าเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่ที่มีลักษณะการทำงานแบบนี้ก็ใช้วิธีเดียวกัน

สมการคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของอากาศอัด

$$\text{อัตราการรั่วไหล (ลิตร/วินาที)}\ Q_{Leak} = \frac{Q \times T_{av}}{T_{av} + t_{av}}$$

เมื่อ Q_{Leak} = อัตราการรั่วไหลของระบบ (ลิตร/วินาที)

Q = อัตราการผลิตที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้ (ลิตร/วินาที : FAD)

T_{av} = เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศเริ่มทำงาน (วินาที)

t_{av} = 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

ตัวอย่างตารางการบันทึกสภาวะการทำงานของเครื่อง

ครั้งที่	เวลาที่เครื่องอัดอากาศเริ่มทำงาน	เวลาที่เครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน	T_{on} (วินาที)	t_{off} (วินาที)
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			$T_{av} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5}$	$t_{av} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5}$

ตัวอย่างการคำนวณ

โรงงานแห่งหนึ่งติดตั้งเครื่องอัดอากาศขนาด 15/11 , HP/kW กำลังการผลิตอากาศอัด 20.48 L/sec (ที่ 10 bar) จากการทดสอบการรั่วไหลของอากาศอัด โดยการจับเวลาได้ดังนี้ ช่วงเวลาทำงานเฉลี่ย T_{av} = 45 วินาที และช่วงเวลาเครื่องหยุดเฉลี่ย t_{av} = 120 วินาที คิดเป็นการรั่วไหลเท่าไร และคิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเท่าไร (ค่าพลังงานต่อการผลิตอากาศอัดเท่ากับ 11 kW/20.48l/s = 0.537 kW/l/sec) เวลาทำงาน 3,600 ชั่วโมง/ปี

จากสมการ

$$Q_{leak} = \frac{20.48 \times 45}{45 + 120} \text{ l/sec}$$

$$= 5.59 \text{ l/sec}$$

คิดเป็นพลังไฟฟ้า = 5.59 x 0.537 (l/sec) x (kW/l/sec)

= 3.00 kW

คิดเป็นพลังงานไฟฟ้า = 3.00 x 3,600 kWh/year

= 10,800 kWh/year

จะเห็นได้ว่าในขณะที่เราทำการผลิตอากาศอัด จะมีการรั่วไหลแฝงอยู่ประมาณ 3 กิโลวัตต์ หรือประมาณ 27.27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการสูญเสียมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นทางโรงงานจะต้องรีบดำเนินการอุดรอยรั่วโดยด่วน

วิธีที่ 2 การทดสอบเครื่องอัดอากาศแบบ Modulate or Step Load + Unload

เหมาะสำหรับเครื่องที่ทำงานในสภาวะ Step Load + Unload ทั่วไปไม่เหมาะกับเครื่องที่ทำงานแบบ Modulate โดยอาศัยการหรี่วาล์ว เพราะการหรี่วาล์วทำให้เราหาค่าการผลิตอากาศอัดได้ยาก เครื่องอัดอากาศบางยี่ห้อหรี่วาล์วแทบจะไม่ผลิตอากาศอัดออกมา แต่เครื่องอัดอากาศยังต้องใช้พลังงานมากถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดเครื่อง (เครื่องอัดอากาศแบบนี้ไม่ควรอย่างยิ่งที่จะนำมาทำงานในลักษณะ Load + Unload)

สมการคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของอากาศอัด

อัตราการรั่วไหลของอากาศอัด (ลิตร/วินาที) $Q_{leak} = \frac{V \times [P_1 - P_2]}{T_{av}}$

เมื่อ V = ปริมาตรทั้งหมดของถัง ท่อส่ง และวาล์ว (ลิตร)

P_1 = ความดันสุดท้าย หรือแรงดันตัดโหลด (bar)

P_2 = ความดันเริ่มต้น หรือแรงดันต่อโหลด (bar)

T_{av} = เวลาเฉลี่ยจาก P_1 และ P_2 (วินาที)

Q_{leak} = อัตราการรั่วไหลของระบบ (ลิตร/วินาที)

วิธีการทดสอบ

1. คำนวณปริมาตรของถังเก็บอากาศ ท่อส่ง และวาล์วต่างๆ หน่วยเป็นลิตร
2. ปิดอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดในระบบทุกตัว (ปิดเครื่องจักรแต่ให้เปิดวาล์วไว้)
3. เดินเครื่องอัดอากาศ เพื่ออัดอากาศเข้าถัง จนถึงความดันที่ตั้งไว้ (P_1) แล้วทำการปิดวาล์วด้านอากาศเข้าถัง พร้อมทั้งจับเวลา รอจนกระทั่งความดันลดถึง P_2 ทำการบันทึกเวลา ดำเนินการเช่นนี้ประมาณ 3-5 ครั้ง แล้วทำการวิเคราะห์ (หรือเปิดเครื่องอัดอากาศตลอดแล้วจับช่วง Unload 3-5 ครั้งก็ได้)
4. นำค่าเวลาที่วิเคราะห์ได้จากตาราง ไปแทนในสมการ เพื่อคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของอากาศ

ตัวอย่างตารางบันทึกสภาวะการทำงานของเครื่อง

	เวลา ณ ความดัน P_1 **P_1 = ... บาร์**	**เวลา ณ ความดัน P_2** **P_2 = ... บาร์**	**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			$T_{av} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5}$

ตัวอย่างการคำนวณ

โรงงานแห่งหนึ่งติดตั้งเครื่องอัดอากาศขนาด 100/75 , HP/kW กำลังการผลิตอากาศอัด 243 L/sec (ที่ความดัน 7.5 bar) จากการสำรวจความจุของถังเก็บอากาศและท่อส่งจ่ายอากาศอัดมีความจุรวม 4500 L ความดันสุดท้าย (P_1) = 7.5 บาร์ และความดันเริ่มต้น (P_2) = 6.5 บาร์ เวลาเฉลี่ยจาก P_1 - P_2 (T_{av}) เท่ากับ 150 วินาที (ค่าพลังงานต่อการผลิตอากาศอัดเท่ากับ (75kW / 243 L/s) = 0.31 kW / L/sec เวลาทำงาน 7,200 ชั่วโมง/ปี

จากสมการ	Q_{leak}	=	$\frac{4500 \times (7.5-6.5)}{150}$	l/sec
		=	30	l/sec
คิดเป็นค่าพลังไฟฟ้า		=	30 x 0.31	(l/sec) x (kW/l/sec)
		=	9.3	kW
คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า		=	9.3 x 7200	kWh/year
		=	66,960	kWh/year

จะเห็นได้ว่าในขณะที่เราผลิตอากาศอัดเข้าไปในระบบจะมีการรั่วไหลของอากาศแฝงอยู่ประมาณ 9 กิโลวัตต์ หรือประมาณ 12.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก็มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ทางโรงงานควรรีบดำเนินการแก้ไขโดยด่วน เช่นกันต่อไปก็เป็นการคิดการรั่วไหลของอากาศอัดเฉพาะจุด ซึ่งวิธีนี้ก็เหมาะสำหรับโรงงานที่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ไม่มีวันหยุด แต่ต้องขยันมากหน่อยเนื่องจากจะต้องเดินตรวจสอบรอยรั่วไหลทั้งหมด และนำมาวิเคราะห์ก็พอจะสรุปได้เช่นเดียวกัน

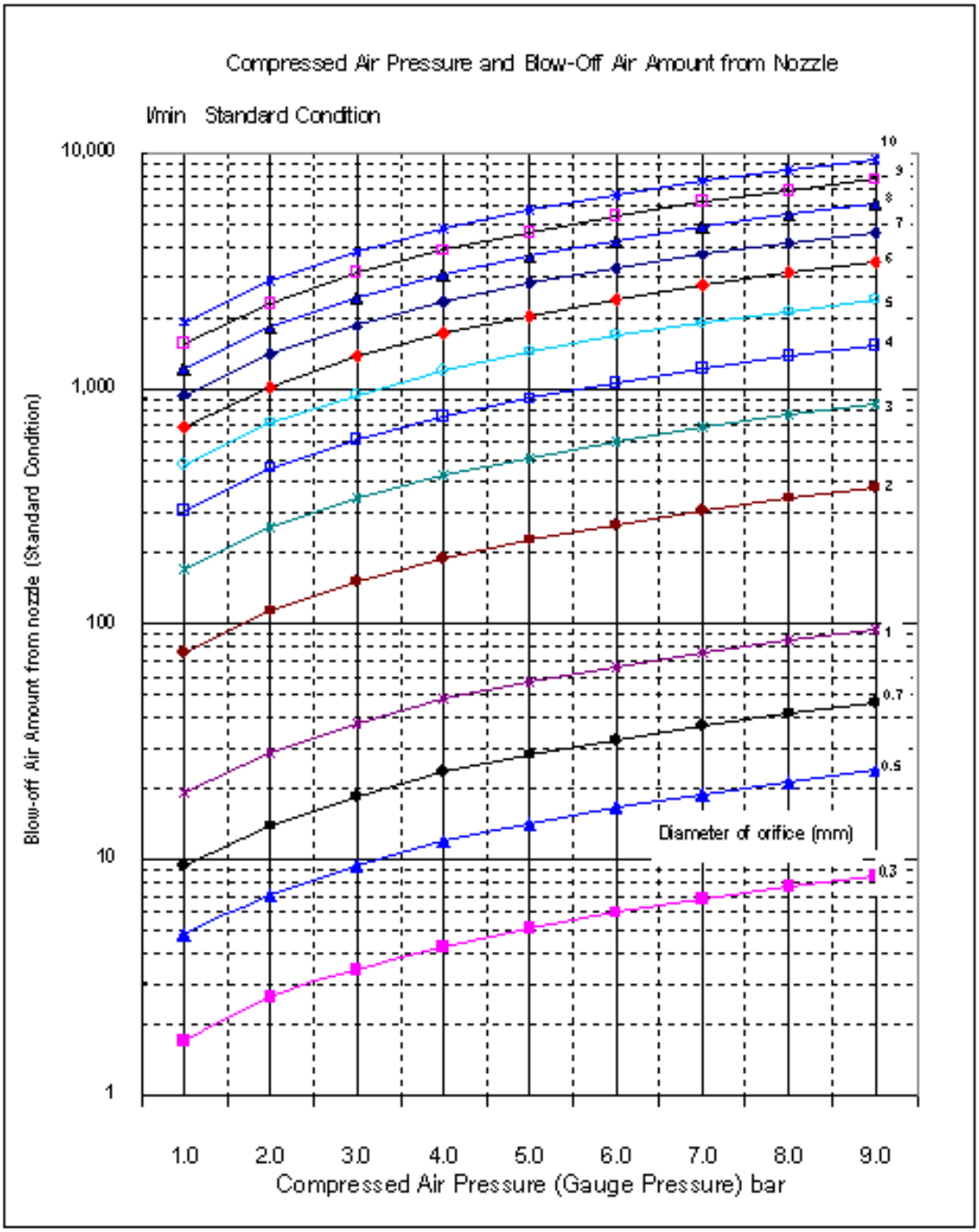
สมการสำหรับการคิดการรั่วไหลของอากาศอัดเฉพาะจุด

$$Q_{leak} = 0.158 \times d^2 \times (P_g + P_o) \quad \text{l/sec}$$

0.158	=	เป็นค่าที่ได้มาจากการแทนค่าในสมการมาตรฐานตาม (ISO 1217-1986)
d	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรั่ว (mm)
P_g	=	ค่าแรงดันเกจ ณ. จุดรั่วไหล (bar)
P_o	=	ความดันสัมบูรณ์ (1.013 bar)

ตารางการหาอัตราการรั่วไหลอย่างเร็ว เมื่อทราบขนาดความดัน ณ.จุดรั่วไหล และขนาดของรูรั่วไหล

Pressure (bar)	**Dimeter Pipe (mm) and Air Leakage**															
	0.3		0.5		0.7		1		3		5		7		10	
	l/sec	kW	l/sec	kW	l/sec	kW	l/sec	kW	l/sec	kW	l/sec	KW	L/sec	kW	l/sec	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
10.0	0.16	0.05	0.44	0.15	0.85	0.30	1.74	0.60	15.66	5.43	43.50	15.07	85.26	29.54	174.01	60.28



กราฟแสดงการรั่วไหลเมื่อทราบค่าความดันของอากาศอัด ณ.ที่จุดรั่วไหล และขนาดของรูรั่วไหลต่างๆ

แสดงปริมาณอากาศอัดที่ความดันและขนาดท่อต่างๆ

Nominal Pipe Diameter		Maximum (Velocity) For Main Pipe @ V= 6 m/s									
		Pressure @ 6 Bar		Pressure @ 7 Bar		Pressure @ 8 Bar		Pressure @ 9 Bar		Pressure @ 10 Bar	
(mm.)	(in.)	L/S	CFM	L/S	CFM	L/S	CFM	L/S	CFM	L/S	CFM
12.70 mm	1/2"	8.87	18.78	10.14	21.47	11.41	24.16	12.68	26.85	13.94	29.52
19.05 mm	3/4"	15.82	33.49	18.08	38.28	20.34	43.07	22.61	47.86	24.87	52.64
Dia.25.40 mm	1"	25.32	53.59	28.93	61.25	32.55	68.91	36.16	76.57	39.78	84.22
Dia.31.75 mm	1 1/4"	43.71	92.55	49.96	105.77	56.20	118.99	62.45	132.22	68.69	145.43
Dia.38.10 mm	1 1/2"	59.03	124.97	67.47	142.84	75.90	160.69	84.33	178.55	92.77	196.41
Dia.50.80 mm	2"	94.43	199.93	107.92	228.49	121.42	257.06	134.91	285.62	148.39	314.17
Dia.63.50 mm	2 1/2"	158.45	335.47	181.08	383.38	203.72	431.32	226.35	479.23	248.99	527.17
Dia.67.20 mm	3"	218.61	462.85	249.84	528.97	281.07	595.08	312.29	661.18	343.53	727.33
Dia.101.60 mm	4"	370.01	783.39	422.87	895.31	475.73	1,007.23	528.58	1,119.13	581.44	1,231.04
Dia.127.00 mm	5"	565.33	1,196.93	646.09	1,367.91	726.85	1,538.90	807.61	1,709.89	888.37	1,880.88
Dia.152.40 mm	6"	807.04	1,708.68	922.33	1,952.78	1,037.62	2,196.87	1,152.91	2,440.97	1,268.20	2,685.06
Dia.203.20 mm	8"	1,362.63	2,884.99	1,557.29	3,297.13	1,751.95	3,709.27	1,946.61	4,121.41	2,141.27	4,533.55
Dia.254.00 mm	10"	2,137.09	4,524.69	2,442.39	5,171.08	2,747.69	5,817.47	3,152.99	6,675.58	3,358.29	7,110.25
Dia.304.80 mm	12"	3,033.55	6,422.70	3,466.92	7,340.24	3,900.28	8,257.76	4,333.65	9,175.31	4,767.01	10,092.82

การคำนวณหาขนาดท่อระบบอัดอากาศที่ความดันต่างๆ

$$\text{Dia (mm.)} = \sqrt{\frac{3536 \times Q_{CMM} \times P_O}{P_g + P_O}}$$

P_o = ความดันที่ 1 บรรยากาศ (1.013 bar)

P_g = แรงดันอากาศที่ผลิต (bar)

Dmm = ขนาดท่อหน่วยเป็น (mm)

Qmm = อากาศอิสระ (m^3 / min)

V = ความเร็วลมในท่อ (6 m/sec)

แสดงค่าอัตราส่วนการใช้พลังไฟฟ้าเฉพาะในการอัดอากาศ (Specific Energy Consumption : SEC)

ประเภทเครื่องอัดอากาศ	จำนวนขั้นตอนอัดอากาศ	ประเภทการหล่อลื่น	ความดันอากาศอัด bar	SEC	
				ค่าระหว่าง kW/l/s	ค่าเฉลี่ย kW/l/s
ลูกสูบ (Reciprocating Compressor)	1	น้ำมัน	7	0.55 – 0.80	0.57
ขนาด 0.2 – 11 kW					
ขนาด 0.4– 11 kW	1	น้ำมัน	10	0.67 – 1.04	0.71
ขนาด 0.4– 11 kW	2	น้ำมัน	7	0.50 – 0.59	0.53
ขนาด 0.4– 11 kW	2	น้ำมัน	10	0.64 – 0.68	0.65
ขนาด 0.2 – 11 kW	1	ไม่มีน้ำมัน	7	0.58 – 0.86	0.6
ขนาด 0.4– 11 kW	1	ไม่มีน้ำมัน	10	0.71 – 1.14	0.75
ขนาด 15 -37 kW (Single Acting)	2	น้ำมัน	7	0.40 – 0.50	0.45
ขนาด 22 – 55 kW (Double Acting)	1	น้ำมัน	7	0.34 – 0.36	0.35
ขนาด 22 – 55 kW (Double Acting)	1	ไม่มีน้ำมัน	7	0.35 – 0.38	0.38
ขนาดมากกว่า 55 kW ขึ้นไป (Double Acting)	2	น้ำมัน	7	0.28 – 0.30	0.29
ขนาดมากกว่า 55 kW ขึ้นไป (Double Acting)	2	ไม่มีน้ำมัน	7	0.29 – 0.31	0.3
ขนาดมากกว่า 55 kW ขึ้นไป (Double Acting)	2	น้ำมัน	10	0.35 – 0.41	0.37
ขนาดมากกว่า 55 kW ขึ้นไป (Double Acting)	2	ไม่มีน้ำมัน	10	0.36 – 0.41	0.38
สกรู (Screw Compressor)					
สกรู (Screw Compressor)	1	น้ำมัน	7	0.33 – 0.40	0.37
สกรู (Screw Compressor)	2	ไม่มีน้ำมัน	7-8	0.36 – 0.44	0.4
สกรู (Screw Compressor)	2	ไม่มีน้ำมัน	10	0.44 – 0.50	0.47
โรตารี่เวน (Vane Compressor)					
โรตารี่เวน(Vane Compressor)	1	น้ำมัน	7	0.36 – 0.43	0.39
โรตารี่เวน(Vane Compressor)	2	น้ำมัน	10	0.45 – 0.48	0.47
เซนตริฟิวกลป์หรือเทอร์โบ (Centrifugal Compressor)					
ขนาด 1000 - 10000 cu.m/h	2	ไม่มีน้ำมัน	7	0.32 - 0.35	0.33
ขนาด 1000 - 10000 cu.m/h	2	ไม่มีน้ำมัน	9	0.35 - 0.40	0.37
ขนาดมากกว่า 10000 cu.m/h ขึ้นไป	2 & 3	ไม่มีน้ำมัน	8 - 9	0.30 - 0.32	0.31

5.7 การตรวจวินิจฉัยเพื่อหาแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน

สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบอากาศอัดนั้น เหตุของการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นควรทำการตรวจวินิจฉัยเพื่อหาสิ่งผิดปกติ เพื่อทำการแก้ไขอย่างสม่ำเสมอดังตาราง

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
1. ตรวจสอบความสะอาดของกรองอากาศ	กรองอากาศต้องไม่สกปรกและไม่ตันเพราะจะทำให้ลมดูดเข้าเครื่องลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศลดลง	• ทำความสะอาดในระยะเวลาที่เหมาะสมตามสภาพการใช้งาน • ติดตั้งท่อดูดอากาศเพื่อดูดอากาศที่สะอาดจากภายนอก • ย้ายตำแหน่งเครื่องอัดอากาศ
2. ตรวจวัดอุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศ	อุณหภูมิอากาศควรจะต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้จะส่งผลให้มวลของอากาศเข้าเครื่องอัดมากขึ้นประสิทธิภาพของเครื่องอัดจะสูงขึ้น	• ติดตั้งท่อดูดอากาศจากภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า • ติดตั้งระบบทำความเย็นเพื่อทำให้อากาศก่อนเข้าเครื่องมีอุณหภูมิลดลง • ย้ายตำแหน่งเครื่องอัดอากาศ
3. ตรวจวัดความชื้นของอากาศดูดเข้าเครื่องอัดอากาศ	อากาศที่ดูดเข้าเครื่องควรมีความชื้นต่ำที่สุดเพราะจะทำให้มวลของอากาศแห้งมากขึ้นอีกทั้งลดภาระของอุปกรณ์ลดความชื้น	• ติดตั้งท่อดูดอากาศจากภายนอกที่มีความชื้นต่ำกว่า • ติดตั้งระบบทำความเย็นเพื่อทำให้อากาศก่อนเข้าเครื่องมีความชื้นลดลง • ย้ายตำแหน่งเครื่องอัดอากาศ
4. ตรวจสอบระบบส่งกำลังของเครื่องอัดอากาศ	ระบบส่งกำลังจะต้องมีประสิทธิภาพสูง	• ปรับความตึงของสายพานให้เหมาะสม • เปลี่ยนสายพานเมื่อหมดอายุการใช้งาน • ใช้ระบบส่งกำลังที่มีประสิทธิภาพสูง
5. ตรวจสอบความดันในการผลิตอากาศอัด	ปรับลดความดันอากาศอัดให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะที่ความดันสูงขึ้นประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศจะลดลง	• ปรับลดความดันเครื่องอัดโดยดูจากความดันสูงสุดของอุปกรณ์ใช้อากาศอัด

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
6. ตรวจวัดสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศแต่ละชุด	เครื่องอัดอากาศที่มีการใช้งานสลับกันไปมาควรตรวจวัดสมรรถนะของแต่ละชุด	• จัดทำแผนการใช้งานชุดที่มีค่า $kW/m^3/min$ ต่ำที่สุดเป็นหลัก • หาสาเหตุและแก้ไขเครื่องอัดชุดที่มีค่า $kW/m^3/min$ สูง • เปลี่ยนเครื่องอัดให้มีสมรรถนะสูงขึ้น
7. ตรวจสอบพฤติกรรมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ	เครื่องอัดอากาศควรทำงานที่ภาระเต็มพิกัดตลอดเวลา โดยมีการหยุดหรือการเดินตัวเปล่า (Unload) น้อยที่สุด	• ปรับตั้งระยะห่างของความดันในการเดินและหยุดให้มากที่สุด • ติดตั้งอุปกรณ์ลดรอบขณะเดิน Unload • ใช้เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กลง • เพิ่มขนาดถังเก็บอากาศ • ถ้ามีเครื่องอัดอากาศเดินพร้อมกันหลายชุดให้ปรับตั้งความดันแต่ละชุดไม่เท่ากัน
8. ตรวจสอบความดันใช้งานของอุปกรณ์ใช้อากาศอัดทั้งหมด	ควรผลิตอากาศอัดเพื่ออุปกรณ์ใช้อากาศอัดที่มีจำนวนมาก	• แยกระบบผลิตอากาศอัดเป็นระบบความดันสูงและความดันต่ำ • ลดความดันระบบผลิตรวมแล้วใช้ Booster เพื่อเพิ่มความดันให้กับอุปกรณ์ที่ใช้ความดันสูงซึ่งเป็นส่วนน้อย • ใช้เครื่องอัดขนาดเล็กเพื่อเดินใช้งานเฉพาะจุดที่ต้องการความดันสูง
9. ตรวจสอบการใช้งานอากาศอัดตามคุณภาพ	ไม่ควรใช้อากาศอัดที่มีคุณภาพสูงกับงานที่ไม่ต้องการอากาศอัดคุณภาพสูง เช่น เป่าทำความสะอาด เป่าระบายความร้อน	• ติดตั้งท่อลมแยกโดยไม่ผ่านอุปกรณ์ปรับสภาพอากาศอัด • ติดตั้งเครื่องอัดอากาศเฉพาะงาน
10. ตรวจสอบการใช้งานอากาศอัดที่ผิดวัตถุประสงค์	ไม่ควรใช้อากาศอัดเป่าทำความสะอาดหรือระบายความร้อน	• ลดความดันในจุดที่ต้องใช้ • ใช้ Blower แทนอากาศอัด • ใช้หัวฉีดเพิ่มความเร็วเพื่อประหยัดอากาศอัด

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
11. ตรวจสอบความดันอากาศที่ต้นทางและปลายทาง	ขณะที่ภาระการใช้อากาศอัดสูง ความดันที่ปลายทางควรต่ำกว่าต้นทางไม่เกิน 0.5 Barg	• ขนาดท่อเล็กเกินไปควรเพิ่มขนาดท่อหรือเพิ่มจำนวนท่อลม • ลดความยาวท่อและข้อต่อข้องอ • เชื่อมต่อท่อให้เป็นวงแหวน (Ring Loop) • ความดันตกมากบางช่วงเวลาอาจเกิดจากเครื่องอัดมีขนาดเล็กหรือขนาดถังเก็บอากาศเล็ก • จุดที่ใช้อากาศอัดปริมาณมากควรติดตั้งถังเก็บอากาศ
12. ตรวจสอบการรั่วไหลของอากาศอัด	อากาศอัดไม่ควรมีการรั่วไหลโดยควรควบคุมให้ไม่เกิน 5% ทดสอบโดยวิธี NO LOAD TEST โดยทำการจับเวลาการทำงานและไม่ทำงานของเครื่องอัดขณะที่ไม่มีการใช้อากาศอัด	• จัดทำแบบทดสอบและซ่อมตามความเหมาะสม • รณรงค์และออกข้อกำหนดให้ผู้ใช้อากาศอัดตรวจสอบทุกวัน โดยการฟังเสียงหรือสังเกตคราบน้ำมันบริเวณข้อต่อข้องอหรือการตรวจโดยใช้ฟองสบู่
13. ตรวจสอบการปิดวาล์วลมที่ถังเก็บอากาศอัด	หยุดพักกลางวันและเลิกงานควรปิดวาล์วที่ถังเก็บอากาศอัดเพื่อลดการสูญเสียอากาศอัดที่เกิดจากการรั่วไหลภายในระบบ	• จัดทำข้อกำหนดและกำหนดผู้รับผิดชอบ
14. ตรวจสอบการทำงานของระบบปล่อยน้ำอัตโนมัติ (Auto drain)	การ Drain แต่ละครั้งไม่ควรมีอากาศมากเกินไป	• ปรับตั้งเวลา Timer ให้เหมาะสม • เลือกใช้ขนาด Auto drain ในขนาดที่เหมาะสม
15. ตรวจสอบการปิดวาล์วที่เข้าเครื่องจักรที่ไม่ได้ใช้งาน	เครื่องจักรทุกเครื่องจะมีอากาศอัดรั่วเสมอ	• รณรงค์และออกข้อกำหนดให้ปิดวาล์วเข้าเครื่องจักรทุกครั้งหลังเลิกงาน • ติดตั้งวาล์วเข้าเครื่องจักรทุกเครื่อง
16. ตรวจสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ใช้ลมที่มีการหมุน	อุปกรณ์ใช้ลมที่มีการหมุน เช่น ประแจลม สว่านลม เมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งจะใช้ปริมาณลมมากขึ้นเนื่องจากใบพัดเกิดการ	• เปลี่ยนใบพัดอุปกรณ์เมื่อใช้งานนานหรือกำลังในการขับน้อย • เปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

รายการตรวจ	เกณฑ์พิจารณา	แนวทางปฏิบัติที่ดี
	สึกหรอหรืออุปกรณ์มีความฝืดมากขึ้น	• ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแทนอุปกรณ์ลม
17. ตรวจสอบการใช้งานของระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ	เครื่องอัดอากาศที่ใช้น้ำระบายความร้อนจะมีอุปกรณ์ประกอบเพิ่มขึ้น เช่น หอผึ่งเย็น และปั๊มน้ำ	• เพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่างๆให้สูงที่สุด • ใช้งานในจำนวนที่เหมาะสมกับภาระการระบายความร้อนในแต่ละช่วงเวลา • เปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง

5.8 แบบตรวจสอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

แบบตรวจสอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานนี้มีประโยชน์ในการค้นหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานก่อนที่จะดำเนินการตรวจวิเคราะห์เชิงลึก เพื่อหาผลการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

รายการศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการตรวจสอบศักยภาพ		
	ดำเนินการแล้ว	พร้อมดำเนินการ	ไม่พร้อมดำเนินการ
1. การทำความสะอาดกรองอากาศสม่ำเสมอ			เพราะ…
2. การลดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด			เพราะ…
3. การลดการรั่วไหลในระบบอากาศอัด			เพราะ…
4. การลดความดันใช้งานของอุปกรณ์ใช้อากาศอัด			เพราะ…
5. การลดความดันในการผลิตอากาศอัด			เพราะ…
6. การใช้หัวฉีดลมเพื่อลดการใช้อากาศอัด			เพราะ…
7. การเปลี่ยนอุปกรณ์ใช้อากาศอัดที่มีการสึกหรอ			เพราะ…
8. การลดเวลาการใช้งานเครื่องอัดอากาศที่มอเตอร์เคยไหม้			เพราะ…
9. การจัดการใช้เครื่องอัดชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก			เพราะ…
10. การเดินเครื่องอัดอากาศกลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก			เพราะ…
11. การใช้ Booster กับอุปกรณ์ส่วนน้อยที่ใช้ความดันสูง			เพราะ…
12. การแยกระบบอากาศอัดเป็นความดันสูงและต่ำ			เพราะ…
13. การลดความยาวและข้อต่อข้องอในระบบท่อลม			เพราะ…
14. การเพิ่มขนาดท่อลมให้ใหญ่ขึ้นหรือเดินท่อเพิ่ม			เพราะ…
15. การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานเครื่องอัดอากาศแบบอันดับ			เพราะ…
16. การเดินท่อลมแบบวงแหวน (Loop)			เพราะ…
17. การเปลี่ยนระบบควบคุมจาก Load-Unloadเป็นการใช้ Invertor			เพราะ…
18. การเปลี่ยนเครื่องอัดให้มีขนาดเหมาะสม			เพราะ…
19. การเปลี่ยนไปใช้เครื่องอัดประสิทธิภาพสูง			เพราะ…
20. การปรับปรุงประสิทธิภาพของ Intercooler / Aftercooler			เพราะ…

5.9 โปรแกรมการวิเคราะห์มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการวิเคราะห์ผลการอนุรักษ์พลังงาน จึงทำเป็นโปรแกรม Microsoft Excel โดยผู้ใช้นำข้อมูลเบื้องต้น และข้อมูลตรวจวัดกรอกลงในช่องว่าง โปรแกรมจะคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงานที่ถูกต้องได้ทันที

มาตรการที่ 1 การปรับลดความดันอากาศอัดที่ผลิตสูงเกินความต้องการ

1. หลักการและเหตุผล

อุปกรณ์ในโรงงานใช้ความดันอากาศสูงสุด …… barg ซึ่งต่ำกว่าความดันอากาศอัดที่ผลิตมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องอัดลดต่ำลง เนื่องจากการอัดอากาศที่ความดันสูงขึ้นจะต้องใช้พลังไฟฟ้ามากขึ้น นอกจากนั้นการลดความดันอากาศอัดในระบบจะส่งผลให้ปริมาณอากาศที่สูญเสียจากการรั่วไหลลดลงด้วย ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะลดความดันในการผลิตอากาศอัดจาก..... barg เป็น .....barg

รูปการตั้งความดันอากาศอัดเดิม

รูปการตั้งความดันอากาศอัดใหม่

2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค

2.1.1 พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศ (kJ/kg)

W = ค่าคงที่ / (ค่าคงที่-1) x ค่าคงที่ของอากาศ (kJ/kg K) x อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด (K) x ((ความดันอากาศออกจากเครื่องอัด (kPa) / ความดันอากาศเข้าเครื่องอัด (kPa)) $^{(\text{ค่าคงที่-1}) / \text{ค่าคงที่})}$ -1)

2.1.2 ร้อยละพลังงานในการอัดลดลง (%)

Ws = ((พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศก่อนลดความดัน (kJ/kg) - พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศหลังลดความดัน (kJ/kg)) / พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศก่อนลดความดัน (kJ/kg)) x 100

2.1.3 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศก่อนลดความดัน (kWh/y)

E_O = พลังไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศช่วงรับ Load (kW) x ชั่วโมงการทำงานของเครื่องอัดตลอดปี (h/y) x (เวลาการเดินของเครื่องในช่วง Load (sec) / (เวลาการเดินของเครื่องในช่วง Load (sec) + เวลาการเดินของเครื่องในช่วง Unload (sec)) x ตัวประกอบการทำงาน

2.1.4 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศลดลง (kWh/y)

E_S = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศก่อนลดความดัน (kWh/y) x (ร้อยละพลังงานในการอัดลดลง / 100)

2.2 การวิเคราะห์การลงทุน

ไม่ต้องใช้เงินลงทุน

3. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล		ที่มาของข้อมูล
			No.1	No.2	
1. ข้อมูลเบื้องต้น					
1.1 ชั่วโมงการทำงานเครื่องอัดอากาศตลอดทั้งปี	h	h/y	3,000.00	3,000.00	
1.2 ค่าคงที่ของอากาศ	R	kJ/kg K	0.2871	0.2871	
1.3 ค่าคงที่ (n)	n	-	1.30	1.30	
1.4 ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C_E	฿/kWh	3.00	3.00	
1.5 ตัวประกอบการทำงาน	OF	%	75.00	75.00	
2. ข้อมูลตรวจวัด					
2.1 เวลาการเดินของเครื่องใน1Cycle หรือช่วง Load เฉลี่ย	T_L	Sec	100.00	100.00	
2.2 เวลาการหยุดเครื่องใน1 Cycle หรือช่วงUnload เฉลี่ย	T_U	Sec	20.00	30.00	
2.3 อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด	T_I	K	303.00	303.00	
2.4 ความดันอากาศเข้าเครื่องอัด	P_I	kPa	100.00	100.00	
2.5 ความดันอากาศออกจากเครื่องอัดเดิม	P_O	kPa	800.00	700.00	
2.6 ความดันอากาศอัดสูงสุดที่อุปกรณ์ในโรงงานใช้	P_U	kPa	600.00	600.00	
2.7 ความดันอากาศออกจากเครื่องอัดใหม่	P_{ON}	kPa	700.00	650.00	
2.8 พลังไฟฟ้าใช้กับเครื่องอัดช่วงรับ Load	E_I	kW	55.00	45.00	
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค					
3.1 พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศก่อนลดความดัน $W_I = (n/(n-1)) \times R \times T_I \times ((P_O/P_I)^{n-1/n} - 1)$	W_I	kJ/kg	232.16	213.67	
3.2 พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศหลังจากลดความดัน $W_{IN} = (n/(n-1)) \times R \times T_I \times ((P_{ON}/P_I)^{n-1/n} - 1)$	W_{IN}	kJ/kg	213.67	203.66	
3.3 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์พลังงานในการอัดลดลง $W_S = ((W_I - W_{IN})/W_I \times 100$	W_S	%	7.96	4.68	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล		ที่มาของข้อมูล
			No.1	No.2	
3.4 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศก่อนลดความดัน $E_O = E_I \times h \times (T_L/(T_L+T_U)) \times OF$	E_O	kWh/y	103,125.00	77,884.62	
3.5 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศลดลง $E_S = E_O \times (W_S/100)$	E_S	kWh/y	8,208.75	3,645.00	
3.6 คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $S_E = E_S \times C_E$	S_E	฿/y	24,626.25	10,935.00	
4. การวิเคราะห์การลงทุน การดำเนินงานไม่ใช้เงินลงทุน					
5. สรุปผลที่ได้จากกการวิเคราะห์					
5.1 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศลดลง	E_S	kWh/y	8,208.75	3,645.00	
5.2 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	S_E	฿/y	24,626.25	10,935.00	

มาตรการที่ 2 การลดการรั่วไหลของอากาศอัดโดยการทดสอบแบบ NO LOAD TEST

1. หลักการและเหตุผล

ปกติโรงงานเดินใช้งานเครื่องอัดอากาศจำนวน.....ชุด หลายเลข..... อากาศอัดเป็นอากาศที่มีต้นทุนสูงโดยอากาศอัดที่มีความดันสูงมากก็จะมีต้นทุนสูงมาก นอกจากนั้นการรั่วไหลของอากาศในระบบ บริเวณข้อต่อ ข้องอ และวาล์ต่างๆ จะมากขึ้นตามความดันของอากาศด้วย ปัจจุบันโรงงานมีจุดรั่วไหลของอากาศมาก จึงมีแนวคิดที่จะลดการรั่วไหลของอากาศอัดลงให้ได้ไม่เกิน 5% ของอากาศอัดที่ใช้ทั้งระบบ

2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค

2.1.1 ปริมาณอากาศอิสระของแต่ละเครื่องที่ทำได้(m^3/min)

FAD_A = ปริมาตรถังลมที่ใช้ทดสอบ(m^3)/ เวลาที่ใช้ในการอัดเพิ่มความดันขึ้น 1 barg (min)

2.1.2 ดัชนีการใช้พลังงานของแต่ละเครื่อง (kW/m^3/min)

IA = พลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดใช้ขณะอัดลมเข้าถัง (kW)/ปริมาณอากาศอิสระของแต่ละเครื่องที่ทำได้(m^3/min)

2.1.3 ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศรวม (kW/m^3/min)

I_S = พลังไฟฟ้าของเครื่องอัดรวมขณะเดินใช้งานจริง (kW) / ปริมาณอากาศอิสระรวมที่โรงงานใช้ใน 1 นาที ขณะใช้งานจริง (m^3/min)

2.1.4 อัตราการรั่วไหลของอากาศแต่ละเครื่องที่เดินทดสอบอัดทั้งระบบ(m^3/min)

A_L = ปริมาณอากาศอิสระของเครื่องที่เดินใช้งาน (m^3/min) x (เวลาที่ใช้ขณะอัดอากาศ/(เวลาที่ใช้ขณะอัดอากาศ+ เวลาที่ใช้ขณะไม่อัดอากาศ))

2.1.5 อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดรวม(m^3/min)

A_{LT} = ผลรวมของอัตราการรั่วไหลของอากาศอัดแต่ละเครื่องที่เดินทดสอบทั้งระบบ

2.1.6 เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของอากาศอัดทั้งระบบ(%)

Q_L = (อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดรวม(m^3/min)/ ปริมาณอากาศอิสระรวมที่โรงงานใช้ใน 1 นาทีขณะใช้งานจริง (m3/min)) x 100

2.1.7 อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดตลอดทั้งปี(m^3/y)

A_{LY} = อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดรวม(m^3/min) x ชั่วโมงการใช้งานต่อปี x 60

2.1.8 พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียจากการรั่วไหล (kWh/y)

E_S = ดัชนีการใช้พลังงานของระบบอัดอากาศ (kW/m^3/min) x อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดรวม(m^3/min) x ชั่วโมงการใช้งานต่อปี

2.2 การวิเคราะห์การลงทุน

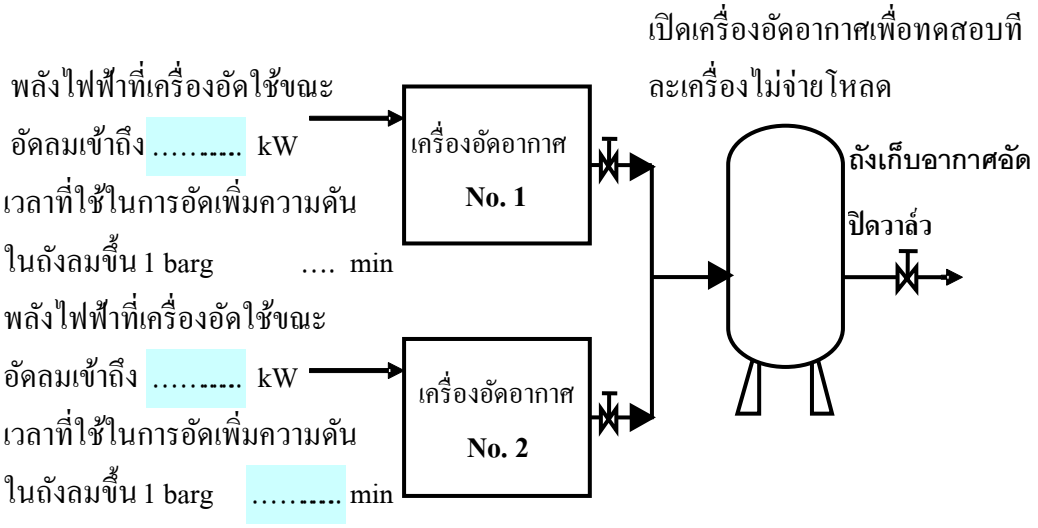
2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y)

PB =ค่าใช้จ่ายในการซ่อมรูรั่ว (฿) / ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (฿/y)

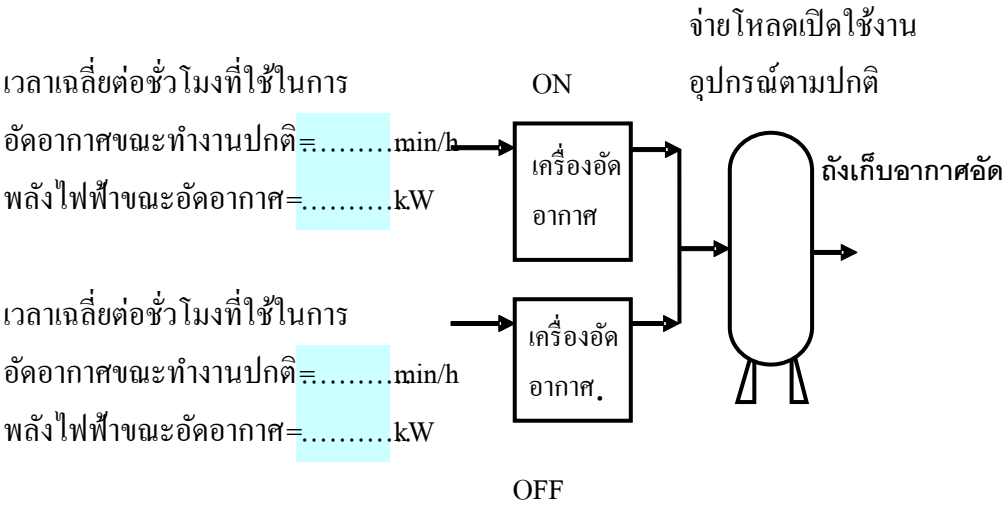
3. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า

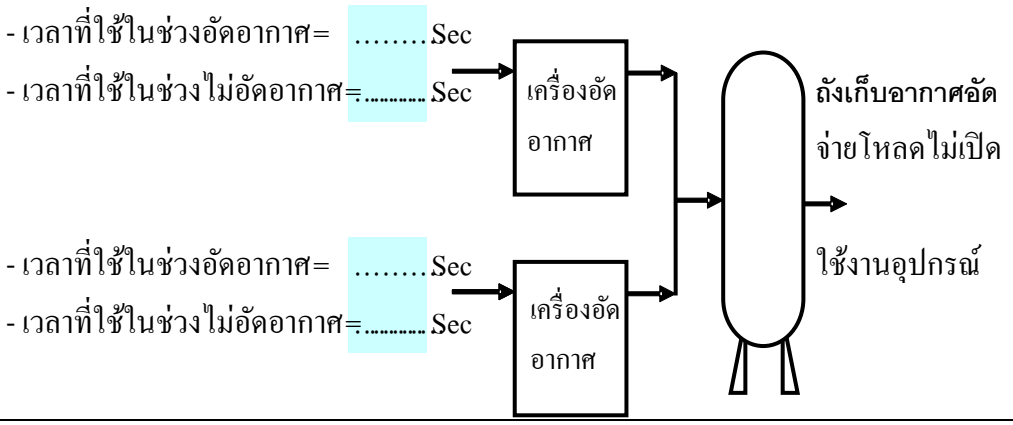
การทดสอบหาดัชนีการใช้พลังของเครื่องอัดแต่ละเครื่อง



การหาปริมาณอากาศอัดทั้งระบบขณะใช้งานจริง



การเดินเครื่องอัดบางชุดเพื่อทดสอบการรั่วไหลของอากาศอัดในระบบ



รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล		ที่มาของข้อมูล
			No.1	No.2	
1. ข้อมูลเบื้องต้น					
1.1 ชั่วโมงการทำงานของระบบอากาศอัด	h	h/y	2,700.00	1,000.00	
1.2 พิกัดอากาศอิสระของเครื่องอัด	FAD_L	m^3/min	10.00	15.00	
1.3 พิกัดพลังไฟฟ้าของเครื่องอัด	kW_L	kW	37.00	37.00	
1.4 ปริมาตรถังลมที่ใช้ทดสอบ	V_R	m^3	5.00	5.00	
1.5 ราคาค่าไฟฟ้าฉลี่ยต่อหน่วย	C_E	฿/kWh	3.00	3.00	
1.6 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมรูรั่ว	C_I	฿	1,000.00	1,000.00	
2. ข้อมูลตรวจวัด					
2.1 ทดสอบหาปริมาณอากาศอิสระโดยวิธี อัดลมเข้าถังทีละชุด (ปิดลมออกจากถัง)					
- เวลาที่ใช้ในการอัดเพิ่มความดันในถังลมขึ้น 1 barg	T_T	min	1.00	1.00	
- พลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดใช้ขณะอัดลมเข้าถัง	kW_T	kW	35.00	35.50	
2.2 เวลาเฉลี่ยต่อชั่วโมงที่ใช้ในการ Load ของเครื่องอัดแต่ละเครื่องขณะทำงานปกติ (ตามจำนวนเครื่องอัดที่เปิดใช้งานจริง)	T_h	min/h	40.00	45.00	
2 พลังไฟฟ้าของเครื่องอัดขณะ Load (ตามจำนวนเครื่องอัดที่เปิดใช้งานจริง)	kW_A	kW	35.00	35.50	
2.4 ทดสอบหาปริมาณอากาศรั่วไหลเดิม โดยวิธี No Load Test (ปิดอุปกรณ์ใช้อากาศอัดทั้งหมด)					
- กรอกหมายเลข1ในช่องของเครื่องที่จะเดินทดสอบ	No.O	-	1.00		
- เวลาที่ใช้ในช่วงทำงานอัดลม (Load) กรอกเฉพาะในช่องของเครื่องที่เดินทดสอบ	T_{LO}	Sec	120.00		
- เวลาที่ใช้ในช่วงไม่ทำงานอัดลม (Unload)	T_{UO}	Sec	20.00		

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล		ที่มาของข้อมูล
			No.1	No.2	
2.5 ทดสอบหาปริมาณอากาศรั่วไหลใหม่โดยวิธี NO LOAD TEST (ปิดอุปกรณ์ใช้อากาศอัดทั้งหมด)					
- กรอกหมายเลข1ในช่องของเครื่องที่จะเดินทดสอบ	No.N	-	1.00		
- เวลาที่ใช้ในช่วงทำงานอัดลม(Load) กรอกเฉพาะในช่องของเครื่องที่เดินทดสอบ	T_{LN}	Sec	80.00		
- เวลาที่ใช้ในช่วงไม่ทำงานอัดลม (Unload) กรอกเฉพาะในช่องของเครื่องที่เดินทดสอบ	T_{UN}	Sec	20.00		
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค					
3.1 ดัชนีการใช้พลังงานพิกัดของเครื่องอัด $I_L = kW_L / FAD_L$	I_L	$kW/m^3/min$	3.70	2.47	
3.2 ปริมาณอากาศอิสระของแต่ละเครื่องที่ทำได้ $FAD_A = V_R / T_T$	FAD_A	m3/min	5.00	5.00	
3.3 ดัชนีการใช้พลังงานจริงของเครื่องอัด $I_A = kW_T / FAD_A$	I_A	$kW/m^3/min$	7.00	7.10	
3.4 ปริมาณอากาศอิสระที่แต่ละเครื่องทำได้ในหนึ่งชั่วโมงขณะใช้งานจริง $FAD_h = FAD_A \times T_h$	FAD_h	m^3/h	200.00	225.00	
3.5 ปริมาณอากาศอิสระรวมที่โรงงานใช้ใน 1 นาที ขณะใช้งานจริง $FAD_T = (FAD_{hNo.1} + FAD_{hNo.2} + FADhNo.3)/60$	FAD_T	m^3/min	7.08	-	
3.6 พลังไฟฟ้าของเครื่องอัดรวมขณะเดินใช้งานจริง $kW_{AT} = kW_{ANo.1} + kW_{ANo.2} + kW_{ANo.3}$	kW_{AT}	kW	70.50	-	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล		ที่มาของข้อมูล
			No.1	No.2	
3.7 ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศรวม $I_S = kW_{AT}/FAD_T$	I_S	$kW/m^3/min$	9.96	-	
3.8 อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดแต่ละเครื่องที่เดินทดสอบทั้งระบบเดิม $A_{LO} = Noo \times FAD_A \times (T_{LO}/(T_{LO} + T_{UO}))$	A_{LO}	m^3/min	4.29	0.00	
3.9 อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดรวมเดิม $A_{LTO} = A_{LONo.1}+A_{LONo.2}+A_{LONo.3}$	A_{LTO}	m^3/min	4.29	-	
3.10 เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของอากาศอัดทั้งระบบเดิม $Q_{LO} = (A_{LTO}/FAD_T) \times 100$	Q_{LO}	%	60.59	-	
3.11 อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดตลอดทั้งปีเดิม $A_{LYO} = A_{LTO} \times h \times 60$	A_{LYO}	m^3/y	694,980	-	
3.12 พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียจากการรั่วไหลเดิม $E_{SO} = I_S \times A_{LTO} \times h$	E_{SO}	kWh/y	115,366.68	-	
3.13 อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดแต่ละเครื่องที่เดินทดสอบทั้งระบบใหม่ $A_{LN} = N_{ON} \times FAD_A \times (T_{LN}/(T_{LN} + T_{UN})$	A_{LN}	m^3/min	4.00	0.00	
3.14 อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดรวมใหม่ $A_{LTN} = A_{LNNo.1}+A_{LNNo.2}+A_{LNNo.3}$	A_{LTN}	m^3/min	4.00	-	
3.15 เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของอากาศอัดทั้งระบบใหม่ $Q_{LN} = (A_{LTN}/FAD_T) \times 100$	Q_{LN}	%	56.50	-	
3.16 อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดตลอดทั้งปีใหม่ $A_{LYN} = A_{LTN} \times h \times 60$	A_{LYN}	m^3/y	648,000	-	

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล		ที่มาของข้อมูล
			No.1	No.2	
3.17 พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียจากการรั่วไหลใหม่ $E_{SN} = I_S \times A_{LTN} \times h$	E_{SN}	kWh/y	107,568.00	-	
3.18 พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียลดลง $E_S = E_{SO} - E_{SN}$	E_S	kWh/y	7,798.68	-	
3.19 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง $S_C = E_S \times C_E$	S_C	฿/y	23,396.04	-	
4. การวิเคราะห์การลงทุน					
4.1 ระยะเวลาคืนทุน $PB = C_I / SC$	PB	y	0.04		
5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์					
5.1 พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียลดลง	E_S	kWh/y	7,798.68		
5.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง	S_C	฿/y	23,396.04		
5.3 ระยะเวลาคืนทุน	PB	y	0.04		

มาตรการที่ 3 การลดอุณหภูมิอากาศที่ดูดเข้าเครื่องอัดอากาศ

1. หลักการและเหตุผล

อุณหภูมิอากาศภายนอกโดยเฉลี่ยประมาณ ……^{O}C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องประมาณ …. ^{O}C การที่อุณหภูมิอากาศที่ดูดเข้าเครื่องมีอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้มวลของอากาศที่ได้จากการอัดลดต่ำลง ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องอัดลดลง ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการลดอุณหภูมิอากาศที่ดูดเข้าเครื่องโดยการต่อท่อดูดอากาศจากภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า

2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเทคนิค

2.1.1 พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศ (kJ/kg)

W = ค่าคงที่ / (ค่าคงที่-1) x ค่าคงที่ของอากาศ(kJ/kg K) x อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด(K) x (((ความดันอากาศออกจากเครื่องอัด(kPa) / ความดันอากาศเข้าเครื่องอัด(kPa))$^{(ค่าคงที่-1) / ค่าคงที่)}$ -1)

2.1.2 ร้อยละพลังงานในการอัดลดลง (%)

W_S = ((พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศก่อนลดความดัน(kJ / kg) - พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศหลังลดความดัน(kJ/kg)) / พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศก่อนลดความดัน(kJ/kg)) x 100

2.1.3 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศก่อนลดความดัน (kWh/y)

E_O = พลังไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศช่วงรับ Load (kW) x ชั่วโมงการทำงานของเครื่องอัดตลอดปี (h/y) x (เวลาการเดินของเครื่องในช่วง Load (Sec) / (เวลาการเดินของเครื่องในช่วง Load (Sec) + เวลาการเดินของเครื่องในช่วง Unload (Sec)) x ตัวประกอบการทำงาน

2.1.4 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศลดลง (kWh/y)

E_S = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศก่อนลดความดัน (kWh/y) x (ร้อยละพลังงานในการอัดลดลง / 100)

2.2 การวิเคราะห์การลงทุน

2.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (y)

PB = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนปรับปรุง (฿) / ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (฿/y)

3. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม Excel ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยป้อนข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลตรวจวัดใส่ในช่องสีฟ้า

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	
			No.1	No.2
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ชั่วโมงการทำงานเครื่องอัดอากาศตลอดทั้งปี	h	h/y		
1.2 ค่าคงที่ของอากาศ	R	kJ/kg K	0.29	0.29
1.3 ค่าคงที่ (n)	n	-	1.30	1.30
1.4 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C_E	฿/kWh		
1.5 ตัวประกอบการทำงาน	OF	-		
1.6 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนปรับปรุง	C_I	฿		
2. ข้อมูลตรวจวัด				
2.1 เวลาการเดินของเครื่องใน 1 Cycle หรือช่วง Load เฉลี่ย	T_L	Sec		
2.2 เวลาการหยุดเครื่องใน 1 Cycle หรือช่วง Unload เฉลี่ย	T_U	Sec		
2.3 อุณหภูมิอากาศออกจากเครื่องอัด	T_O	K		
2.4 อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด (เดิม)	T_I	K		
2.5 อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด หลังจากปรับปรุง	T_{IN}	K		
2.6 ความดันอากาศเข้าเครื่องอัด	P_I	kPa		
2.7 ความดันอากาศออกจากเครื่องอัด	P_O	kPa		
2.8 พลังไฟฟ้าใช้กับเครื่องอัดช่วงรับ Load	E_I	kW		
3. การวิเคราะห์ทางเทคนิค				
3.1 พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศก่อนปรับปรุง $W_I = n/(n-1) \times R \times T_I \times ((P_O/P_I)^{n-1/n} - 1)$	W_I	kJ/kg	0.00	0.00
3.2 พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศหลังจากลดความดัน				

$W_I = n/n-1) \times R \times T_{IN} \times ((P_O/P_I)^{n-1/n}-1)$	W_{IN}	kJ/kg	0.00	0.00
3.3 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์พลังงานในการอัดลดลง				
$W_S = ((W_I - W_{IN})/W_I \times 100$	W_S	%	0.00	0.00
3.4 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศลดลง				
$E_S = E_I \times h \times T_L/(T_L+T_U) \times (W_S/100) \times$ OF	E_S	kWh/y	0.00	0.00
3.5 คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้				
$S_E = E_S \times C_E$	S_E	฿/y	0.00	0.00
4. การวิเคราะห์การลงทุน				
4.1 ระยะเวลาคืนทุน				
$PB = C_I / S_E$ ที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)	PB	y	0.00	0.00
5. สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์				
5.1 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศลดลง	E_S	kWh/y	0.00	0.00
5.2 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	S_E	฿/y	0.00	0.00
5.3 ระยะเวลาคืนทุน	PB	y	0.00	0.00

5.10 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาถือเป็นต้นแบบของมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ประสบผลสำเร็จในการอนุรักษ์พลังงานที่โรงงานสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดผลการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นรูปธรรมต่อไป

กรณีศึกษาที่ 1 : การเดินเครื่องอัดอากาศแบบสกรูทดแทนการเดินเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการติดตั้งใช้งานเครื่องอัดอากาศทั้งสิ้นจำนวน 4 ชุด เป็นแบบลูกสูบขนาดพิกัดไฟฟ้า 22 kW พิกัดการผลิตลมอัด 2.58 m^3/min จำนวน 2 ชุด และแบบสกรูขนาดพิกัดไฟฟ้า 37 kW พิกัดการผลิตลมอัด 5.81 m^3/min จำนวน 2 ชุด โดยต่อวงจรของท่ออากาศอัดร่วมกันทั้งหมด และเดินเครื่องอัดอากาศแบบสกรูจำนวน 1 ชุด และแบบลูกสูบจำนวน 2 ชุด ควบคุมการทำงานเครื่องอัดอากาศแบบรับ-ปลดภาระ (Load-Unload) ที่ความดัน 7.8 barg (100 Psig)

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบสกรู และมีอายุการใช้งานมากกว่า รวมถึงติดตั้งอยู่ในบริเวณที่มีความชื้นสูงกว่าส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตอากาศอัดลดลงมากขึ้น นอกจากนั้นดัชนีการใช้พลังงานที่พิกัดของแบบลูกสูบสูงกว่าแบบสกรู ดังนั้นการเลือกเดินเครื่องอัดอย่างเหมาะสมจะส่งผลให้ลดการใช้พลังงานได้

รูปที่ 5.10-1 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและเครื่องอัดอากาศแบบสกรูที่ใช้

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ควรจัดการเดินเครื่องอัดอากาศใหม่โดยเปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศแบบสกรู 2 ชุดซึ่งมีพิกัดดัชนีการใช้พลังงานรวม 6.368 kW/m^3/min ต่ำกว่าการเดิน 3 ชุดแบบเดิมซึ่งมีพิกัดดัชนีการใช้พลังงานรวม 7.475 kW/m^3/min จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตอากาศอัดได้

4. สภาพก่อนปรับปรุง

สถานประกอบการเปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศครั้งละ 3 ชุด เป็นแบบลูกสูบ 2 ชุดและแบบสกรู 1 ชุดคิดเป็นปริมาณการผลิตอากาศอัดที่พิกัดติดตั้งรวม 10.97 m3/min และพิกัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ติดตั้งรวม 82 kW (110 HP) คิดเป็นดัชนีการใช้พลังงาน 7.475 kW/m^3/min

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

5. สภาพหลังปรับปรุง

ทำการเปลี่ยนการเดินเครื่องอัดอากาศใหม่โดยเปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศแบบสกรู 2 ชุด แทนแบบเดิมโดยมีพิกัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ติดตั้งรวม 75 kW (100HP) และพิกัดอากาศอัดรวม 11.62 m3/min คิดเป็นดัชนีการใช้พลังงาน 6.368 kW/m^3/min จะเห็นว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าการเดินเครื่องแบบเดิมเป็นอย่างมากส่งผลให้ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า 78,732.55 บาท/ปี โดยยังใช้ประโยชน์จากถังอากาศอัดของเครื่องชุดลูกสูบ โดยเปิดวาล์วให้ลมอัดเข้าไปเก็บเพื่อเพิ่มปริมาตรการกักเก็บลมอัดของระบบด้วย

กรณีศึกษาที่ 2 : มาตรการลดลมรั่วในระบบอากาศอัด

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการติดตั้งเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบขนาด 11 kW จำนวน 5 เครื่อง ใช้ระบบการควบคุมการทำงานเป็นแบบ On/Off โดยอากาศอัดที่ได้นำไปใช้ในอุปกรณ์นิวเมติกส์

รูปที่ 5.10-2 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบที่ใช้งาน

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการเดินสำรวจการรั่วไหลของอากาศอัดโดยวิธีการฟังเสียงพบว่ามีอากาศอัดรั่วไหลเป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปปริมาณอากาศอัดที่รั่วไหลไม่ควรมีค่าเกิน 5 % ของปริมาณอากาศอัดที่ผลิต

รูปที่ 5.10-3 อากาศอัดที่รั่วบริเวณข้อต่อ

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

จัดอบรมวิธีการทดสอบหารอยรั่ว และปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดในระบบ แล้วทำการซ่อมรอยรั่ว โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

- ทดสอบหาปริมาณการรั่วไหลของระบบลมอัดทั้งหมด
- หารอยรั่วตามจุดต่าง ๆ
- วิเคราะห์และประเมินผลประหยัด และการลงทุน
- ดำเนินการซ่อมแซมรอยรั่ว
- วิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานที่ได้

4. สภาพก่อนปรับปรุง

จากการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของอากาศอัดในระบบ โดยวิธีการปิดอุปกรณ์ใช้อากาศอัดและเดินเครื่องอัดอากาศ NO.1-5 แล้วจับเวลาในช่วงการทำงานและหยุดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ แล้วนำมาวิเคราะห์ปรากฏว่ามีการรั่วไหลของอากาศอัดในระบบคิดเป็น 11.98% ของอัตราการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศ NO.1-5 ซึ่งถือว่ามีอัตราการรั่วไหลที่สูง

5. สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากทำการทดสอบหารอยรั่วและซ่อมรอยรั่วของอากาศอัดในระบบแล้ว ผลปรากฏว่าการรั่วไหลของอากาศอัดในระบบคิดเป็น 5.01% ของอัตราการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศ NO.1-5 ซึ่งทำให้ลดการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศลงได้ โดยสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 16,403.90 kWh/ ปี

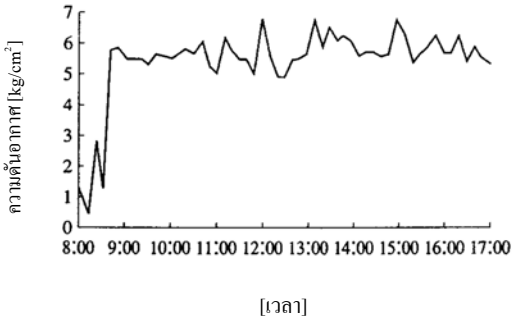
กรณีศึกษาที่ 3 : การอนุรักษ์พลังงานของเครื่องอัดอากาศในโรงงาน Forging

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

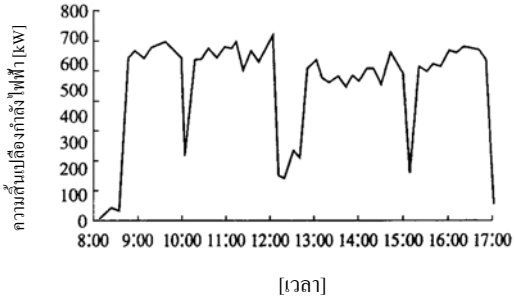
สถานประกอบการผลิตภัณฑ์เหล็ก Forging มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 10,630 MWh/ปี และน้ำมันเตา 1,260 kL/ปี มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอากาศอัดร้อยละ 25 ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด โดยอากาศอัดนำไปใช้ในการขับเครื่อง Forging และใช้ในการทำ Air blow

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

สถานประกอบการปล่อยให้พนักงานเดินใช้งานเครื่องอัดอากาศให้สอดคล้องกับการทำงานของกระบวนการผลิต ส่งผลให้มีการเดินเครื่องอัดอากาศมากเกินความจำเป็น และในระบบอากาศอัดมีการรั่วไหลมาก รวมทั้งอุปกรณ์ใช้อากาศอัดมีประสิทธิภาพต่ำ การเปลี่ยนแปลงความดันที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 5.10-4 และรูปที่ 5.10-5 ตามลำดับ โดยการเปลี่ยนแปลงความดันมีลักษณะกระเพื่อมรุนแรง มีช่วงการเปลี่ยนแปลงถึง 2 kg/cm^2 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความดัน โดยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 620 kW การใช้ Air blow และปริมาณอากาศรั่วมีค่า 1,590 m^3/h ซึ่งมีค่าสูงกว่า Capacity ของเครื่องอัดอากาศขนาด 150 kW 1 ตัว ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานมาก



รูปที่ 5.10-4 การเปลี่ยนแปลงความดัน



รูปที่ 5.10-5 การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

การรั่วไหลของอากาศอัดส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยไม่เกิดประโยชน์และอุปกรณ์ใช้อากาศอัดที่มีประสิทธิภาพต่ำส่งผลให้สิ้นเปลืองอากาศอัดมาก รวมทั้งการผลิตและใช้อากาศอัดที่ความดันสูงส่งผลให้ต้นทุนและการรั่วไหลสูง จึงดำเนินการตรวจหารอยรั่วทั้งหมดและสำรวจอุปกรณ์ใช้อากาศเพื่อทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น ตรวจสอบการรั่วของอากาศทั้งหมดด้วยเสียงอากาศรั่ว (เสียงชู่ว...ว) และทำการซ่อมแซมให้หมด ลดพื้นที่ช่องเปิดของ Air nozzle สำหรับพ่นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์และอื่นๆ ลดความดันของอากาศที่ใช้ในการพ่น และปรับปรุงวิธีพ่นให้มีประสิทธิผลดียิ่งขึ้น ใช้เครื่องตั้งเวลาและสวิตซ์เท้าเพื่อหยุดการป้อนอากาศโดยอัตโนมัติเมื่อไม่ได้ใช้งาน

4. สภาพก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจด้วยการฟังเสียงพบว่าระบบอากาศอัดมีการรั่วไหลมาก และอุปกรณ์บางส่วนใช้อากาศอัดและความดันสูงเกินพิกัด

5. สภาพหลังปรับปรุง

ทำการซ่อมรูรั่วทั้งหมด ลดพื้นที่ช่องเปิดของ Air nozzle สำหรับพ่นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์และอื่นๆ ลดความดันของอากาศที่ใช้ในการพ่น และปรับปรุงวิธีพ่นให้มีประสิทธิผลดียิ่งขึ้น ใช้เครื่องตั้งเวลาและสวิตซ์เท้าเพื่อหยุดการป้อนอากาศโดยอัตโนมัติเมื่อไม่ได้ใช้งาน ส่งผลให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า 1,445 MWh/ปี คิดเป็นร้อยละ 13.59 ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด ส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 1,229,880 บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 4: การลดความดันของระบบอากาศอัด

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการใช้เครื่องอัดอากาศขนาด 50 hp ความจุ 212 cfm จำนวน 5 เครื่อง โดยปรับตั้งความดันในการตัดต่อไว้ที่ 7-8 kg/cm^2 ขณะที่มีอุปกรณ์ใช้แรงดันสูงสุด 4 kg/cm^2 ซึ่งสูงกว่าแรงดันต่ำสุดที่ปรับตั้งประมาณ 3 kg/cm^2 ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตอากาศอัดสูงและการสูญเสียจากการรั่วไหลในระบบเพิ่มมากขึ้น

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

การผลิตอากาศอัดที่ความดันสูงกว่าความดันใช้งานของอุปกรณ์ที่ต้องการความดันสูงที่สุดนั้นจะส่งผลให้ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ (kW/Nm^3-min)สูงขึ้น โดยทั่วไปการลดความดันลง 1 bar จะส่งผลให้เครื่องอัดอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงประมาณ 6-10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5.10-1 การลดแรงดันส่งผลต่อดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ

(Confederation of Indian Industries)

การลดลงของแรงดัน		**ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า** (kW/Nm^3-min)		
จาก (บาร์)	ถึง (บาร์)	ขั้นตอนเดียว หล่อเย็นด้วยน้ำ	สองขั้นตอน หล่อเย็นด้วยน้ำ	สองขั้นตอน หล่อเย็นด้วยอากาศ
6.8	6.1	4	4	2.6
6.8	5.5	9	11	6.5

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการตรวจวัดความดันในการผลิตอากาศอัดและความดันปลายทางในตำแหน่งที่มีอุปกรณ์ใช้อากาศอัดสูงสุด เพื่อดูว่าในขณะใช้งานความดันอากาศอัดที่เข้าอุปกรณ์สูงกว่าความต้องการของอุปกรณ์มากเพียงใด และทำการบันทึกพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้ หลังจากนั้นทำการลดความดันในการผลิตอากาศอัดลง โดยทั่วไปจะสูงกว่าความดันที่อุปกรณ์ใช้ความดันสูงสุดประมาณ 30% แล้วทำการบันทึกพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

4. สภาพก่อนปรับปรุง

ปรับตั้งความดันการผลิตอากาศที่ 7-8 kg/cm^2 อุปกรณ์ใช้ความดันสูงสุดที่ 4 kg/cm^2 พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้ 1,669.65 kWh/วัน

รูปที่ 5.10-6 การตั้งความดันในการผลิตอากาศอัดก่อนปรับปรุง

5. สภาพหลังปรับปรุง

ปรับตั้งความดันการผลิตอากาศลดลงจาก 7-8 kg/cm^2 เป็น 6-7 kg/cm^2 อุปกรณ์ใช้ความดันสูงสุดที่ 4 kg/cm^2 พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้ 1,527.52 kWh/วัน ใช้งาน 24 ชั่วโมง/วัน 365 วัน/ปี

รูปที่ 5.10-7 การตั้งความดันในการผลิตอากาศอัดหลังปรับปรุง

6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

ชั่วโมงการใช้งาน	=	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันใช้งาน	=	365	วัน/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	=	2.85	บาท/kWh
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับตั้ง	=	1,669.65	kWh/วัน
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับตั้ง	=	1,527.52	kWh/วัน
พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้	=	142.13	kWh/วัน
	=	142.13 x24 x365	
	=	**42,600**	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	42,600 x2.85	
	=	**121,410**	บาท/ปี

7. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

เงินลงทุน	=	-	บาท
ผลประหยัดพลังงาน	=	**121,410**	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	-	ปี

กรณีศึกษาที่ 5: การลดความดันใช้งานของระบบอากาศอัดที่อาคาร A

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

อาคาร A มีเครื่องอัดอากาศขนาด 37 kW จำนวน 3 เครื่อง โดยเปิดใช้งานครั้งละ 2 เครื่อง ตลอด 24 ชั่วโมง ปรับตั้งความดันในการผลิตอากาศอัดที่ 7.8 บาร์ แต่อุปกรณ์ใช้อากาศอัดที่ต้องการความดันต่ำกว่าที่ควบคุม ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะลดความดันที่เครื่องอัดอากาศลงเพื่อประหยัดพลังงาน

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

การผลิตอากาศอัดที่สูงจะส่งผลให้เครื่องอัดอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มและการสูญเสียจากการรั่วไหลสูง

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการสำรวจความต้องการใช้ความดันอากาศอัดในกระบวนการผลิตทั้งหมด พบว่าสามารถลดความดันของเครื่องอัดอากาศลงเหลือ 7.6 บาร์ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และทำการตรวจวัดค่าต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

4. สภาพก่อนปรับปรุง

เครื่องอัดอากาศทำงานในช่วง LOAD ใช้เวลา 100 วินาที ช่วง UNLOAD 20 วินาที ใช้กำลังไฟฟ้า 74 กิโลวัตต์ ที่ความดัน 7.8 บาร์ ใช้งาน 8,640 ชั่วโมง/ปี

รูปที่ 5.10-8 เครื่องอัดอากาศที่ทำการปรับลดความดัน

5. สภาพหลังปรับปรุง

ปรับตั้งความดันในการผลิตอากาศอัดเป็น 7.6 บาร์ โดยไม่ส่งผลต่อการผลิตและเกิดผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า 25,681 บาท/ปี

6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

ชั่วโมงการใช้งาน	(h)	=	8,640	h/y
เวลาการเดินของเครื่องใน 1 รอบการทำงานหรือช่วงมีภาระ	(T_L)	=	100	S
เวลาการหยุดของเครื่องใน 1 รอบการทำงานหรือช่วงไร้ภาระ	(T_U)	=	20	S
ค่าคงที่ของอากาศ	(R)	=	0.29	kJ/kg-K
ค่าคงที่ของกระบวนการอัดอากาศ	(n)	=	1.30	-
อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด	(T_i)	=	303	K
ความดันอากาศเข้าเครื่องอัด	(P_i)	=	101.33	kPa

ความดันอากาศออกจากเครื่องอัดเดิม	(P_o)	=	780	kPa
ความดันอากาศออกจากเครื่องอัดใหม่	(P_{on})	=	760	kPa
กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดช่วงรับภาระ	(E_i)	=	74	kW
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	(C_E)	=	2.41	฿/kWh
พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศ ก่อนลดความดัน	(W_i)	=	$(n/(n-1) \times R \times T_i \times ((P_o/P_i)^{(n-1)/n}-1)$	
		=	227	kJ/kg
พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศ หลังจากลดความดัน	(W_{in})	=	$(n/(n-1) \times R \times T_i \times ((P_{on}/P_i)^{(n-1)/n}-1)$	
		=	223	kJ/kg
เปอร์เซ็นต์พลังงานในการอัดที่ลดลง	(W_s)	=	$((W_i-W_{in})/W_i) \times 100$	%
		=	2	%
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนลดความดัน	(E_o)	=	$E_i \times h \times (T_L/(T_L+T_U))$	kWh/y
		=	532,800	kWh/y
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ที่ลดลง	(E_{save})	=	$E_o \times (W_s/100)$	kWh/y
		=	**10,656**	kWh/y
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	(M_{save})	=	$E_{save} \times CE$	฿/y
		=	**25,681**	฿/y

7. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

เงินลงทุน	=	-	บาท
ผลประหยัดพลังงาน	=	**25,681**	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	-	ปี

กรณีศึกษาที่ 6: การติดตั้ง Air Shut off Valve เพื่อลดการรั่วไหลในระบบท่อส่ง

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการผลิตอากาศอัดที่ความดัน 5.6 bar จ่ายไปใช้งานใน 7 ส่วนการผลิตโดยมีวาล์ว (Ball Valve) ที่ใช้ในการปิดเมื่อส่วนงานต่างๆไม่มีการผลิตในช่วงเวลาที่บางส่วนงานมีการทำงานนอกเวลา(OT) การปิดวาล์วเพื่อไม่ให้อากาศอัดส่งไปยังส่วนที่ไม่ใช้งานนั้นจะส่งผลให้ลดการสูญเสียจากการรั่วไหลของอากาศอัดในบริเวณต่างๆได้

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

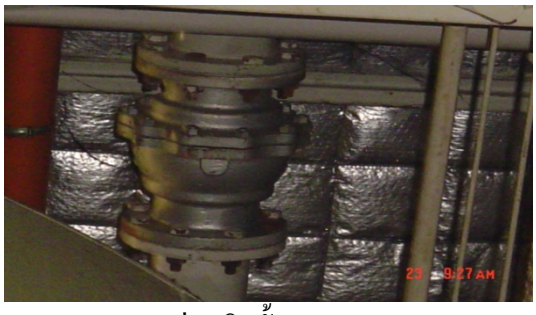
วาล์วดังกล่าวมีการติดตั้งไว้สูงมากจึงไม่สามารถดำเนินการปิดได้ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

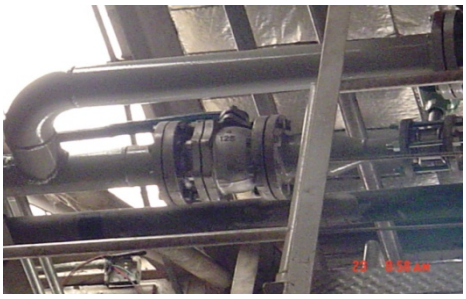
ทำการติดตั้ง Air Shut off Valve ในแต่ละส่วนการผลิต ทั้งหมด เพื่อควบคุมที่จะไม่จ่ายลมไปยังส่วนที่ไม่มีการผลิต และทำการตรวจวัดปริมาณอากาศอัดที่ผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เพื่อวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงาน (kWh/m^3) ก่อนและหลังการปรับปรุง

4. สภาพก่อนปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ผลิตอากาศอัด 568,660 kWh ปริมาณอากาศอัดที่ผลิต 4,483,661 m^3 และดัชนีการใช้พลังงาน 0.1268 kWh/m^3



Ball Valve ก่อนติดตั้ง Air Shutoff Valve Trim/Final



Ball Valve ก่อนติดตั้ง Air Shutoff Valve Stamping

รูปที่ 5.10-9 แสดง Ball Valve ก่อนติดตั้ง Air Shutoff Valve

5. สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากทำการติดตั้ง Air Shutoff Valve ในแต่ละส่วนการผลิตทั้งหมด และเพื่อควบคุมการเปิด-ปิด ในห้องควบคุม ส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ผลิตอากาศอัดลดลงเป็น 330,590 kWh ปริมาณอากาศอัดที่ผลิต 3,577,3214 m^3 และดัชนีการใช้พลังงาน 0.0924 kWh/m^3

รูปที่ 5.10-10 แสดงการติดตั้ง Air Shutoff Valve

6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	2.84	บาท/ kWh
ปริมาณลมที่ใช้ใน 1 ปี (2548)	=	48,706,614	m^3/ ปี
ดัชนีการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง	=	0.1268	kWh/m^3
ดัชนีการใช้พลังงานหลังปรับปรุง	=	0.0924	kWh/m^3
ประหยัดพลังงานไฟฟ้า	=	(0.1268-0.0924) x 48,706,614	
	=	**1,675,507.52**	kWh/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง	=	1,675,507.52 x 2.84	
	=	**4,758,442.72**	บาท/ปี

7. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

เงินลงทุน	=	**2,600,000**	บาท
ผลประหยัดพลังงาน	=	**4,758,442.72**	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	4,758,442.72/2,600,000	
	=	**0.55**	ปี

กรณีศึกษาที่ 7: การลดการรั่วไหลของอากาศอัดในพื้นที่ผสมวัตถุดิบ

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการใช้เครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาดพิกัด 75 kW ดัชนีการใช้พลังงาน 0.30 kW/l/sec จำนวนรวม 1 เครื่อง ผลิตอากาศอัดที่ความดัน 6 บาร์ เพื่อใช้ในกระบวนการผสมวัตถุดิบและกระบอกสูบของเครื่อง Press โดยเครื่องอากาศใช้งาน 24 ชั่วโมง/วัน 250 วัน/ปี

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจการใช้อากาศอัดของสถานประกอบการ พบว่าในพื้นที่ผสมวัตถุดิบ มีอากาศอัดรั่ว ขนาดรูประมาณ 3 มม. จำนวน 1 รู ส่งผลให้เกิดความสูญเสียพลังงานโดยไม่เกิดประโยชน์ โดยทั่วไปในขนาดรูรั่วที่เท่ากันปริมาณอากาศอัดจะรั่วมากขึ้นเมื่อความดันอากาศอัดในระบบสูงขึ้น

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการสำรวจและบันทึกจำนวน ขนาดรูรั่ว และความดันอากาศอัดในบริเวณต่างๆของสถานประกอบการ รวมทั้งตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย

ตารางที่ 5.10-2 อัตราการรั่วไหลของอากาศอัดที่ขนาดรูรั่วและความดันต่างๆ

Pressure	Dimeter Pipe (mm) and Air Leakage															
	0.3		0.5		0.7		1.0		3.0		5.0		7.0		10.0	
(bar)	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
10.0	0.16	0.05	0.44	0.15	0.85	0.30	1.74	0.60	15.66	5.43	43.50	15.07	85.26	29.54	174.01	60.28

4. สภาพก่อนปรับปรุง

ตรวจพบรูรั่วขนาด 3 มิลลิเมตร ความดัน 6 บาร์ จำนวน 1 รู บริเวณ ข้อต่อลมของเครื่องเครื่องสั่น (Shake) เครื่องอัดอากาศใช้กำลังไฟฟ้า 69.0 kW

รูปที่ 5.10-11 รูรั่วบริเวณข้อต่อ เข้าเครื่องสั่น (Shake) ของหน่วยงานเตรียมผสมน้ำดิน

5. สภาพหลังปรับปรุง

ทำการซ่อมข้อต่อท่อลมเข้าเครื่องทำให้สามารถลดอัตราการรั่วไหลได้ประมาณ 9.97 ลิตร/วินานาที คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ประมาณ 52,575.84 บาท/ปี

รูปที่ 5.10-12 แสดงการปรับปรุง เปลี่ยนข้อต่อลม

6. การวิเคราะห์ทางเทคนิค			
กำลังไฟฟ้าของระบบอัดอากาศ	=	69.0	kW
ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัด	=	0.30	kW/L/sec
อัตราการรั่วไหล	=	9.97	ลิตร/นาที
กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	=	0.30 x 9.97	kW
	=	2.99	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	=	2.99 x 24 x 365	
	=	**17,946.00**	หน่วย/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	=	17,946.00 x 2.93	
	=	**52,575.84**	บาท/ปี
7. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน			
เงินลงทุน	=	-	บาท
ผลประหยัดพลังงาน	=	**52,575.84**	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	-	ปี

กรณีศึกษาที่ 8 : การลดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการผลิตภัณฑ์จากเมล็ดโกโก้ ในกระบวนการผลิตของโรงงาน มีการใช้อากาศอัดในกระบวนการผลิตโดยทางโรงงานตั้งความดันใช้งานเครื่องอัดอากาศไว้ที่ 7.2 บาร์เกจ และมีเครื่องอัดอากาศทั้งหมด 3 เครื่อง ชั่วโมงการทำงานของเครื่องอัดอากาศ 24 ชั่วโมง/วัน 340 วัน/ปี

รูปที่ 5.10-13 การใช้เครื่องอัดอากาศภายในโรงงาน

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจของทีมอนุรักษ์พลังงานพบว่าอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง เนื่องจากความร้อนจากการระบายความร้อนของเครื่องผลิตลมอัดที่ทำงานตลอดเวลาจากการตรวจวัดพบว่ามีอุณหภูมิประมาณ 42 ^{o}C จึงมีแนวความคิดที่จะทำการลดอุณหภูมิของลมอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ ให้มีอุณหภูมิลดต่ำลง

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการปรับปรุงโดย ทำการต่อท่อระบายลมร้อนของเครื่องอัดอากาศให้มีขนาดยาวขึ้นเพื่อให้ลมร้อนที่ระบายออกจากเครื่องอัดอากาศแล้วไม่กลับเข้ามายังเครื่องอัดอากาศอีก

รูปที่ 5.10-14 การต่อท่อระบายลมร้อนออกจากเครื่องอัดอากาศ

4. สภาพหลังปรับปรุง

หลังปรับปรุงพบว่าอุณหภูมิขาเข้าของเครื่องอัดอากาศมีอุณหภูมิลดต่ำลงวัดอุณหภูมิอากาศหลังปรับปรุงได้เท่ากับ 35 ^{o}C โดยคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้ 10,260.44 kWh/y

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

จากการตรวจวัดพบว่ามีการใช้พลังไฟฟ้ารวมช่วง load ประมาณ 67.9 kW

จากการตรวจวัดพบว่ามีการใช้พลังไฟฟ้ารวมช่วง unload ประมาณ 32 kW

ใน 1 ชั่วโมงจะมีการทำงานช่วง load ประมาณ	50 นาที	
ใน 1 ชั่วโมงจะมีการทำงานช่วง unload ประมาณ	10 นาที	
ชั่วโมงการทำงานของระบบอัดอากาศ	24	ชั่วโมง/วัน
วันการทำงานของระบบอัดอากาศ	340	วัน/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าของโรงงาน	= 2.85	บาท/kWh
อุณหภูมิที่ออกจากเครื่องอัดอากาศเฉลี่ย	55 ^{o}C	
อุณหภูมิเข้าเครื่องอัดอากาศเฉลี่ยก่อนปรับปรุง	42 ^{o}C	
อุณหภูมิเข้าเครื่องอัดอากาศเฉลี่ยหลังปรับปรุง	35 ^{o}C	
ความดันอากาศออกจากเครื่องอัดอากาศ (Absolute)	8.2 bar	

ตารางแสดงการคำนวณผลประหยัด

รายการ	หน่วย	ตัวย่อ	No.1		
ข้อมูล					
ชั่วโมงการใช้งานเครื่องอัดอากาศตลอดปี	h/y	h	8,160.00		
เวลาการเดินของเครื่องใน 1 Cycle หรือช่วง Load	Sec	T_L	50		
เวลาการหยุดของเครื่องใน 1 Cycle หรือ Unload	Sec	T_U	10		
ค่าคงที่ของอากาศ	kJ/kg K	R	0.2871		
ค่าคงที่ (n)	-	n	1.3		
อุณหภูมิอากาศออกจากเครื่องอัด	K	T_O	328		
อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด (เดิม)	K	T_I	315		
อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด หลังจากปรับปรุง	K	T_{IN}	308		
ความดันอากาศเข้าเครื่องอัด	kPa	P_I	100		
ความดันอากาศออกเครื่องอัด	kPa	P_O	820		
พลังไฟฟ้าใช้กับเครื่องอัดช่วงรับ Load	kW	E_I	67.9		
ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	฿/kWh	C_E	2.85		
การคำนวณ					
พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศก่อนปรับปรุง					
$W_I = (n/(n-1) \times R \times T_I \times ((P_O/P_I)^{n-1/n}-1)$	kJ/kg	W_I	244.97		
พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศหลังจากลดความดัน					
$W_I = (n/(n-1) \times R \times T_{IN} \times ((P_O/P_I)^{n-1/n}-1)$	kJ/kg	W_{IN}	239.53		
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์พลังงานในการอัดลดลง					
$W_S = ((W_I-W_{IN})/W_I) \times 100$	%	W_S	2.22		
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศลดลง					
$E_S = E_I \times h \times (T_L/(T_L+T_U) \times (W_S/100)$	kWh/y	E_S	10,260.44		
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้					
$S_E = E_S \times C_E$	฿/y	S_E	29,242.27		

หมายเหตุ : K = 273+ °C

คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ = **10,260.44** kWh/year

คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด = 10,260.44 x 2.85

= **29,242.27** บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 9 : การลดการรั่วไหลในระบบอากาศอัด

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน ในส่วนของโรงประกอบตู้เย็น มีการใช้งานระบบอัดอากาศ โดยติดตั้งเครื่องอัดอากาศขนาด 180 kW จำนวน 1 ชุด และขนาด 160 kW จำนวน 2 ชุด เปิดใช้งานครั้งละ 3 ชุด ตั้งความดันในการผลิตที่ 6.0 – 6.5 บาร์ และติดตั้ง Air dryer จำนวน 2 ชุด ในการทำให้ลมเย็นและลดความชื้นของลมที่ผลิต เปิดใช้งานวันละ 13 ชั่วโมง 300 วันต่อปี

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

การปรับตั้งความดันของลมอัดที่สูงเกินไปจะทำให้อุปกรณ์ที่มีการใช้ลม เช่น กระบอกสูบลม ข้อต่อ วาล์ว อื่นๆ มีการสึกหรอเกิดการรั่วไหล ยิ่งทำการผลิตลมที่ความดันสูงปริมาณที่รั่วก็จะเกิดการรั่วมากยิ่งขึ้น เมื่อเกิดการรั่วในระบบก็จะมากขึ้นและแรงดันในระบบก็จะตกลงทั้งระบบ บางเครื่องที่ใช้แรงดันสูงก็จะหยุดทำงานเกิดผลเสียต่อกระบวนการผลิต และทางโรงงานก็จะต้องเดินเครื่องอัดอากาศเพิ่มขึ้น และเครื่องอัดอากาศจะทำงานอยู่ตลอดเวลาไม่เกินการ Unload เลย จึงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้

รูปที่ 5.10-15 ระบบอากาศอัด

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทีมงานดำเนินการสำรวจจุดที่มีการรั่วไหลหรือรณรงค์ให้เจ้าหน้าที่ ที่ใช้เครื่องมือลมได้ตรวจสอบอุปกรณ์ที่ตนเองใช้งานอยู่ว่ามีการรั่วของลมตรงจุดใดบ้าง และแจ้งส่วนงานที่ดูแลรับผิดชอบให้ทำการแก้ไขเพื่อลดการรั่วไหลของระบบอัดอากาศ

4. สภาพหลังปรับปรุง

ดำเนินการเปลี่ยนอุปกรณ์และสายลมที่มีการรั่วไหลในการผลิตของโรงประกอบตู้เย็น สามารถลดการเดินเครื่องอัดอากาศจากเดินพร้อมกัน 3 ชุด เหลือเดินเครื่องอัดอากาศขนาด 180 kW จำนวน 1 ชุด และเครื่องขนาด 160 kW จำนวน 1 ชุด ก็เพียงพอกับการใช้งาน สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอัดอากาศได้ 210,483.00 kWh / ปี

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

<u>การใช้พลังงานก่อนปรับปรุง</u>

ชั่วโมงการใช้งาน	=	13 x 300	
	=	3,900	ชั่วโมงต่อปี
พลังไฟฟ้าของเครื่อง No.3 ขนาด 180 kW			
load	=	182	kW
Unload	=	79.0	kW
เวลาการทำงานช่วง load	=	67.77	%
เวลาการทำงานช่วง Unload	=	32.23	%
พลังไฟฟ้าของเครื่อง No.1 ขนาด 160 kW			
load	=	163	kW
Unload	=	68.5	kW
เวลาการทำงานช่วง load	=	43.34	%
เวลาการทำงานช่วง Unload	=	56.66	%
พลังไฟฟ้าของเครื่อง No.2 ขนาด 160 kW			
load	=	161	kW
Unload	=	69.8	kW
เวลาการทำงานช่วง load	=	31.75	%
เวลาการทำงานช่วง Unload	=	68.25	%
คิดเป็นพลังไฟฟ้าที่ใช้	=	[(182 x 0.6777)+(79 x 0.3223)+(163 x 0.433	
		+ (68.5 x 0.5666)+(161 x 0.3175)	
		+ (69.8 x 0.6825)]	
	=	357.02	kW
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	357.02 x 3,900	
	=	1,392,378.00	kWh/ปี

<u>การใช้พลังงานหลังปรับปรุง</u>

พลังไฟฟ้าของเครื่อง No.3 ขนาด 180 kW			
load	=	182	kW
Unload	=	79.0	kW
เวลาการทำงานช่วง load	=	61.21	%
เวลาการทำงานช่วง Unload	=	38.79	%
พลังไฟฟ้าของเครื่อง No.2 ขนาด 160 kW			
load	=	161	kW
เวลาการทำงานช่วง load	=	100	%

คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	[(182 x 0.6121)+(79 x 0.3879)+(161 x 1.00)] x 3,900
	=	303.05 kW
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	303.05 x 3,900
	=	1,181,895.00 kWh/ปี
คิกเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	1,392,378.00 – 1,181,895.00
	=	**210,483.00** kWh /ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	210,483.00 x 3.07
	=	**646,182.81** บาท/ปี

6. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

เงินลงทุน	=	**100,000** บาท
ผลการประหยัด	=	**646,182.81** บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	100,000/646,182.81
	=	**0.06** ปี

กรณีศึกษาที่ 10 : การใช้พัดลมแรงดันสูงแทนเครื่องอัดอากาศในกระบวนการการเป่าแผ่นอลูมิเนียม

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ในกระบวนการผลิตเหรียญอลูมิเนียมจะต้องหลอมอลูมิเนียมเพื่อผลิตเป็นแผ่นอลูมิเนียมให้ได้ขนาดและความหนาที่ต้องการ ซึ่งหลังจากแผ่นอลูมิเนียมผ่านน้ำระบายความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิจะต้องเป่าน้ำที่เกาะแผ่นออกให้หมดเพื่อส่งแผ่นอลูมิเนียมเก็บม้วนหรือเข้าสู่กระบวนการต่อไป การเป่าแห้งของหน่วยงานที่ใช้งานอยู่ปัจจุบันใช้อากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศขนาดพิกัดมอเตอร์ 75 kW พิกัดผลิตอากาศ 450 m^3/min (FAD) จำนวน 1 ชุดเพื่อใช้ในการจ่ายอากาศในการเป่าแห้งโดยเฉพาะ

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

การใช้อากาศอัดความดัน 7.0 barg ที่ผลิตจากเครื่องอัดอากาศซึ่งถือว่าเป็นต้นทุนที่สูง(ดัชนี 6.0 kW/ m^3/min) เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ส่วนหนึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลิตอากาศอัดที่ความดันสูงขึ้นดังนั้นการผลิตอากาศอัดที่ความดัน 7.0 barg เพื่อส่งไปยังหัวเป่าปล่อยสู่บรรยากาศซึ่งมีการรั่วไหลระหว่างทาง จึงเป็นการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปกับการเลือกใช้อุปกรณ์ไม่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานที่มากเกินไป

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

การเป่าเพื่อไล่ลมออกจากแผ่นอลูมิเนียมเพื่อให้แห้งสามารถใช้พัดลมแรงดันสูงที่สามารถผลิตลมที่มีแรงดันเพียงพอต่อการใช้งานและได้ปริมาณมาก (ดัชนี 1.5-2.0 kW/ m^3/min) จะช่วยลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และกำจัดการสูญเสียเนื่องจากการรั่วไหลในระบบส่งจ่ายลงได้ เนื่องจากสามารถติดตั้งใกล้กับจุดใช้งาน

ยิ่งขึ้น จากดัชนีการใช้พลังงานที่แตกต่างกันคิดเป็นผลการประหยัดพลังงานที่ลดลงได้มากกว่า 50% ทั้งนี้ ปริมาณลมที่จะใช้เป่าแผ่นหลังจากเปลี่ยนไปใช้ใบพัดลมแล้วจะเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมจำนวนหนึ่ง เนื่องจากต้องเพิ่มระยะทางและเวลาเป่าให้นานขึ้นเพื่อทดแทนหรือชดเชยกับแรงดันที่ต่ำกว่าลมที่ได้จากเครื่องอัดอากาศ

4. สภาพหลังปรับปรุง

สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 941,892 kWh/ปี

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

รายการ	หน่วย	ตัวย่อ	ผลวิเคราะห์
ข้อมูลเบื้องต้น			
ชั่วโมงการทำงานของระบบอากาศอัด	h	h/y	4,368
ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศเฉลี่ย	I_E	kW/m^3/min	7.60
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูใช้งาน	d	mm	10
จำนวนรูรั่วใช้งาน	n	unit	24
ความดันบรรยากาศ	Pa	bar	1.01325
ความดันอากาศออกจากรูใช้งาน	Pg	bar	1
แฟคเตอร์การใช้งานเครื่องจักร	%	OF	70
ราคาค่าไฟฟ้าฉลี่ยต่อหน่วย	C_E	฿/kWh	3.00
การคำนวณ (ก่อนปรับปรุง)			
อัตราการไหลของลมอัดต่อนาที $Q = [0.158 \times d^2 \times (Pg + Pa) \times 60] / 1,000$	Q	m^3/min	1.91
กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศ $E1 = I_E \times Q$	E1	kW	10.15
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศ $E2 = E1 \times h \times n \times OF$	E2	kWh/y	1,064,443.162
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ $S = E2 \times CE$	S	฿/y	3,193,329.485
การคำนวณ (หลังปรับปรุง)			
ดัชนีการใช้พลังงานเฉลี่ยพัดลมแรงดันสูง	I_N	kW/m3/min	1.75
จำนวนพัดลมแรงดันสูง	n_N	unit	12
กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับพัดลมแรงดันสูง $E1_N = n_N \times I_N \times Q_N$	$E1_N$	kW	3.34
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศ $E2 = E1_N \times h \times n \times OF$	$E2_N$	kWh/y	122,550.443
รายการ	**หน่วย**	**ตัวย่อ**	**ผลวิเคราะห์**

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้			
$S_N = E2_N \times C_E$	S_N	฿/y	367,651.328
ผลประหยัด			
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง			
$E_S = E - E_N$	kWh/yr	E_S	941,892.72
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้			
$S_E = E_S \times C_E$	฿/yr	S_E	2,825,678.16

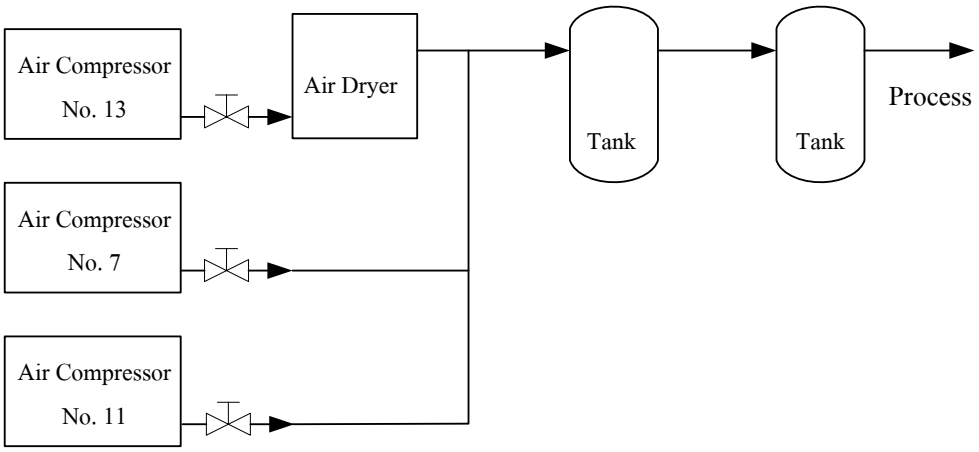
6. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

เงินลงทุน	=	**360,000**	บาท
ผลการประหยัด	=	**2,825,678.16**	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	360,000/2,825,678.16	
	=	**0.13**	ปี

กรณีศึกษาที่ 11 : การปิดเครื่องอัดอากาศชุดที่ประสิทธิภาพต่ำ

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการติดตั้งใช้งานเครื่องอัดอากาศจำนวนรวม 3 ชุด ประกอบด้วยเครื่องอัดอากาศขนาด 37 kW ปกติมีการเดินใช้งานทั้ง 3 ชุด ทำการเดินใช้งานเฉลี่ย 16 ชั่วโมง/วัน 270 วัน/ปี การใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ในเครื่องมือใช้ลมและการในการพ่นสีชิ้นงาน โดยความดันต้องการใช้งานประมาณ 6.0 ถึง 8 บาร์เกจ



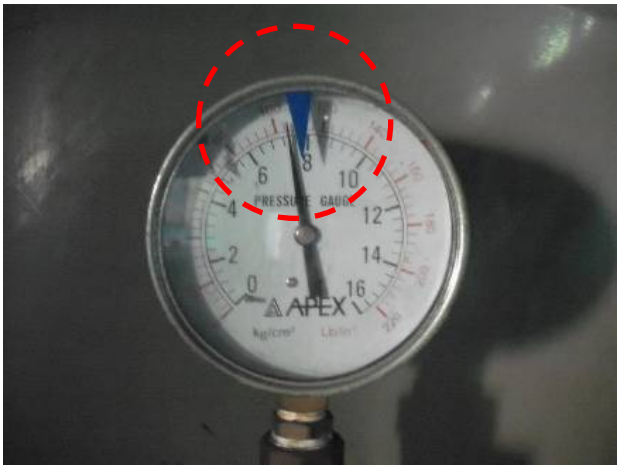
รูปที่ 5.10-16 ระบบเครื่องอัดอากาศจำนวน 3 ชุด

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศที่ใช้งานทั้งหมดพบว่า เครื่องอัดอากาศแต่ละชุดมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน ความหมายก็คือหากเครื่องอัดแต่ละชุดต้องการผลิตลมให้ได้ 1 ลูกบาศก์

เมตรต่อนาที พลังไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการผลิตลมในแต่ละชุดนั้นมีความแตกต่างกัน บางชุดต้องใช้พลังไฟฟ้ามากกว่าชุดอื่น ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้ามาก

รายละเอียด	No.7	No.11	No.13
พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	38.68	37.06	35.69
ความเร็วลมเข้าเครื่องอัด (m/s)	12.9	8.57	5.73
พื้นที่ทางลมเข้าเครื่องอัด (m^2)	0.0086	0.0086	0.0086
ปริมาณลมที่เครื่องผลิต (m^3/min)	6.656	4.422	2.956
ประสิทธิภาพเครื่องอัด (kW/m^3/min)	5.81	8.38	12.07
ลักษณะการเดินใช้งาน (%)	100	100	100



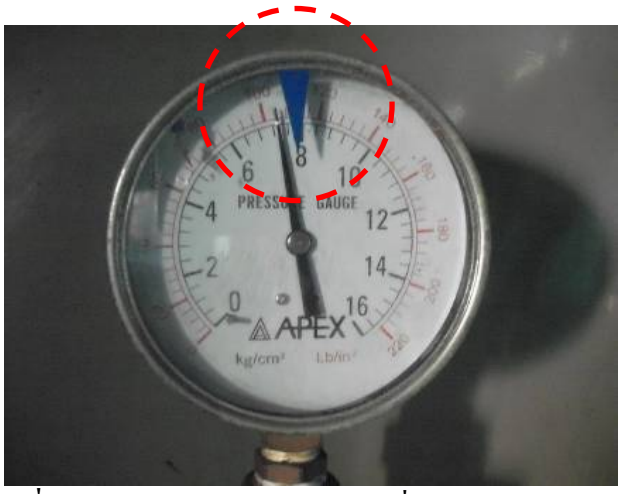
รูปที่ 5.10-17 ความดันก่อนการปิดเครื่องอัดอากาศ No.13

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทีมที่ปรึกษาได้ทำความเข้าใจกับทีมคณะทำงานของหน่วยงานเพื่อให้ทราบถึงหลักในการคิดจึงทดลองปิดเครื่องอัดอากาศชุดที่มีประสิทธิภาพต่ำ

4. สภาพหลังปรับปรุง

คณะทำงานของหน่วยงานทำการปิดเครื่องอัดอากาศ No.13 ทำให้สามารถลดพลังไฟฟ้า 35.69 kW ส่งผลทำให้ความดันลดลงจาก 7.4 bar_g เป็น 7.2 bar_g ความดันหลังจากการปิดเครื่องอัดอากาศ No.13 ไม่มีผลกับกระบวนการผลิต



รูปที่ 5.10-18 ความดันหลังการปิดเครื่องอัดอากาศ No.13

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	=	(38.68 + 37.06 + 35.69) x 16 x 270 x 0.8
	=	385,102.08 kWh/y
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	=	(38.68 + 37.06) x 16 x 270 x 0.8
	=	261,757.44 kWh/y
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	385,102.08 – 261,757.44
	=	**123,344.64** kWh/y
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	123,344.64 x 3.03
	=	**373,734.25** Baht/y

กรณีศึกษาที่ 12 : จัดการเดิน Air comp. No. 1-2 มากกว่า 1-1

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการใช้งานระบบอัดอากาศขนาด 75 kW 2 ชุด สลับกันเดินใช้งาน ระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยทำการติดตั้งปั๊มน้ำขนาด 3 HP จำนวน 2 ชุด ใช้งานในการปั๊มน้ำเข้าระบายความร้อนเครื่องอัดอากาศและส่งน้ำไประบายความร้อนที่หอผึ่งน้ำเย็นบนหลังคาอาคาร

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ปัจจุบัน เครื่องอัดอากาศที่เดินใช้งานสลับกันนั้น แต่ละเครื่องใช้พลังไฟฟ้าในการอัดอากาศไม่เท่ากัน โดยชุดที่ 1-1 ใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า ชุดที่ 1-2 ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ดำเนินการปรับปรุงโดย ทำการเปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศชุดที่ 1-2 ให้มากกว่าชุด 1-1 โดยกำหนดเป็นตารางการเดินใช้งาน ให้ชุดที่ 1-2 เดินใช้งาน 90 % ชุดที่ 2 เดินใช้งาน 10 % และทำการปิดวาล์วส่งจ่ายอากาศอัดออกจากเครื่องอัดอากาศชุดที่ไม่ได้เดินใช้ เนื่องจากชุดที่ 1-2 ใช้พลังไฟฟ้าน้อยกว่าชุดที่ 1-1 ประมาณ 1.40 kW

4. สภาพหลังปรับปรุง

สามารถการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 4,032.0 kWh/y

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

พลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศชุดที่ 1-1	=	71.20	kW
พลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศชุดที่ 1-2	=	69.80	kW
จำนวนชั่วโมงที่เดินใช้งานเดิม	=	24	hr/day
วันทำงานทั้งปี	=	300	day/year
ค่าพลังงานไฟฟ้าของโรงงาน	=	2.877	บาท/kWh
ชั่วโมงทำงานใหม่ชุดที่ 1-1	=	24 x 300 x 0.1	
	=	720	hr/y
ชั่วโมงทำงานใหม่ชุดที่ 1-2	=	24 x 300 x 0.9	
	=	6,480	hr/y
ชั่วโมงทำงานที่ประหยัด	=	6,480 – (24 x 300 x 0.5)	
	=	2,880.00	hr/y
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้	=	(71.20-69.80) x 2,880.0	
	=	4,032.00	kWh/year
คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	=	4,032.00 x 2.877	
	=	11,600.06	บาท/ปี

กรณีศึกษาที่ 13 : การเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศใหม่

1. ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

จากการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องอัดอากาศพบว่าเครื่องอัดอากาศขนาด 75 kW จำนวน 2 ชุด มีสมรรถนะต่ำมาก เนื่องจากมีอายุการใช้งานยาวนานมากกว่า 20 ปี

2. ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

เครื่องอัดอากาศ N0.12 มีค่าสมรรถนะ 0.551 kW/l/sec และ N0.13 ประมาณ 0.566 kW/l/sec ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก

รูปก่อนการปรับปรุง

3. แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการเปลี่ยนเป็นเครื่องที่มีสมรรถนะสูงโดยมีค่าประมาณ 0.366 kW/l/sec จะส่งผลให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มาก

4. สภาพหลังปรับปรุง

สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 440,476.8 kWh/ปี

รูปหลังการปรับปรุง

5. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

ลำดับ	รายการ	สัญลักษณ์	การคำนวณ	เครื่องที่ 12	เครื่องที่ 13	รวม	หน่วย
1	สถานที่ติดตั้ง		Audit	อาคาร A	อาคาร A		
2	ชั่วโมงการทำงานต่อปี	H_y	Audit	7,680	7,680		ชั่วโมง/ปี
3	Factor การใช้งาน	F_1	Audit	0.85	0.85		

4	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	E_c	ข้อมูลค่าไฟฟ้า	3.68	3.68		บาท/ kWh
การคำนวณสมรรถนะเครื่องอัดอากาศ							
ก่อนปรับปรุง							
5	พิกัดอัตราการผลิตอากาศ(FAD)	Q	ข้อมูลผู้ผลิต	205	205		1 / s
6	กำลังไฟฟ้าที่เครื่องใช้	kW	Aud it	73.59	72.81	146.40	kW
7	พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	E_1	H_y x F_1 X kW	480,395.52	475,303.68	955,699.20	kWh/ ปี
8	ค่าไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	B_1	E_1 x E_c	1,767,855.51	1,749,117.54	3,516,973.06	บาท/ปี
9	ปริมาตรท่ออากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศถึงถังเก็บอากาศ	V_P	Audit	130	140		l it e
10	ปริมาตรถังเก็บอากาศ	V_T	Audit	5,000	5,000		l it e
11	ความดันบรรยากาศ	P_o	standard air	1.013	1.013		bar
10	ความดันอากาศอัดเริ่มต้น	Ps	Audit	5	5		bar_g
11	ความดันอากาศอัดสุดท้าย	P_f	Audit	6.90	6.90		bar_g
12	ช่วงเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำงาน (Load)	t	Audit	72	75		sec
13	ปริมาณอากาศอิสระ	Q_T	(P_f-P_s/ P_o) x$(V_T+ V_P)$	9,621.92	9,640.67		l it e
14	อัตราการไหลโดยปริมาตรของอากาศอิสระ	FAD	Q_T/ t	133.64	128.54		1 / s
15	สมรรถนะเครื่องอัดอากาศเดิม	SECo	kW/FAD	0.551	0.566		kW/ 1 / s
หลังปรับปรุง							
16	สมรรถนะเครื่องอัดอากาศใหม่	SECn	kW/ FAD	0.366	0.366		kW/ 1 / s
17	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง	E_2	SECn x FAD x H_y x F_1	319,299.10	307,113.93	626,413.03	kWh/ ปี
18	ค่าไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	B_2	E_{12} x E_c	1,175,020.69	1,130,179.26	2,305,199.95	บาท/ปี
ผลประหยัด							
19	พลังงานไฟฟ้าลดลง	E_s	E_1 - E_2	161,096.42	168,189.75	329,286.17	kWh/ปี
20	ค่าไฟฟ้าลดลง	B_s	E_s x E_c	592,834.83	618,938.28	1,211,773.11	บาท/ปี

6. การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน			
เงินลงทุน	=	**1,800,000**	บาท
ผลการประหยัด	=	**1,211,773**	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	1,800,000/1,211,773	
	=	**1.48**	ปี

สรุปเนื้อหาวิชา

1. ระบบอากาศอัดมีส่วนประกอบที่สำคัญทั้งหมด 3 ส่วน
1.1 ส่วนการสร้างอากาศอัด (Air Compressor Section)
ประกอบด้วยเครื่องอัดอากาศ (Compressor) เครื่องกรองอากาศและระงับเสียงบริเวณทางเข้า (Silencer/Filter) อุปกรณ์ระบายความร้อนหลังการอัด (Aftercooler) และถังเก็บอากาศ (Air Receiver)
1.2 ส่วนการจ่ายอากาศอัด (Distribution Section)
ประกอบด้วย ท่อจ่ายลมหลัก (Supply Line) ท่อแยก (Branch) อุปกรณ์กรองฝุ่นและความชื้น (Filter) อุปกรณ์จ่ายน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator) และอุปกรณ์ควบคุมระดับความดันลม (Regulator)
1.3 ส่วนการใช้อากาศอัด
ประกอบด้วย อุปกรณ์หรือเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ลมในการใช้งาน เช่น กระบอกสูบ (Air Cylinder) เครื่องเป่าลม (Blower) เครื่องเจาะถนนแบบกระแทก เป็นต้น
2. อุปกรณ์ในระบบอากาศอัด
2.1 เครื่องอัดอากาศ
(1) เครื่องอัดอากาศ**แบบลูกสูบ** เป็นเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง ยิ่งมีจำนวนขั้น (Stage) เพิ่มขึ้นยิ่งมีประสิทธิภาพสูง ส่วนใหญ่ใช้เพียง 2 ขั้น เครื่องอัดอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเหมาะสมกับการรับโหลดที่ไม่สม่ำเสมอได้ดี เนื่องจากมีอุปกรณ์ Un-load ที่ดี ใช้อุปกรณ์ Un-load น้อยมากเมื่อเทียบกับเครื่องแบบอื่นๆ การควบคุมยังสามารถทำเป็นแบบ Multi step ในช่วงการเดิน Part load จะให้ประสิทธิภาพดี (2) เครื่องอัดอากาศ**แบบโรตารี่สกรู** เป็นเครื่องที่มีความสึกหรอน้อยเนื่องจากตัวสกรูไม่ได้สัมผัสกัน การอัดอากาศมีประสิทธิภาพพอสมควรแต่โครงสร้างเป็นตัวสกรูทำให้มีอัตราส่วนความดันคงที่ เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรูจะเหมาะกับการรับโหลดเต็มพิกัดและสม่ำเสมอ จึงจะให้ประสิทธิภาพที่ดีได้ (3) เครื่องอัดอากาศ**แบบหอยโข่ง** เป็นเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงพอควรเหมาะกับระบบที่มีความต้องการอากาศมาก
2.2 ท่อดูดอากาศ
การออกแบบท่อดูดอากาศ ควรให้ท่อดูดอากาศจากภายนอก โดยอากาศต้องเย็น แห้งและสะอาด อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำลง 3 $^{\circ}$C จะทำให้ใช้พลังงานลดลง 1% การอัดอากาศที่แห้งจะช่วยลดการอัดไอน้ำให้ได้ความดันเท่าอากาศ และความดันไอน้ำจะควบแน่นเป็นหยดน้ำ เรียกว่า คอนเดนเสท ซึ่งไม่สามารถใช้ประโยชน์ใดๆ ได้และต้องหาวิธีกำจัดด้วยวิธีต่างๆ ความสะอาดของอากาศจะมีผลต่อฟิลเตอร์ หากมีฝุ่นมากจะทำให้ฟิลเตอร์อุดตัน มีผลให้อากาศไหลเข้าน้อย อัตราส่วนความดันจะสูงขึ้น ทำให้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น
2.3 After Cooler
เนื่องจากอากาศที่ดูดเข้าไปจะมีอุณหภูมิสูงและมีความชื้นอยู่มาก After Coolerจะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิลง ซึ่งจะทำให้ความชื้นที่อยู่ในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ดังนั้นการติดตั้ง After Cooler จะช่วยลดปัญหาการเกิดน้ำคอนเดนเสทได้มาก

2.4 Air Dryer

งานบางอย่างต้องการความชื้นในอากาศน้อยหรือมีความสะอาดมาก เช่น อุตสาหกรรมพ่นสี อุตสาหกรรมอาหารและยา Air Dryer จะช่วยลดความชื้นและทำให้อากาศมีความแห้งมาก

2.5 ถังเก็บอากาศ

ระบบที่ต้องการความดันอากาศที่สม่ำเสมอ ถังเก็บอากาศจะช่วยให้ลมในระบบมีความสม่ำเสมอ ถังเก็บอากาศยังช่วยลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้น้ำคอนเดนเสทแยกจากอากาศอัดได้บางส่วน

2.6 ท่อเมน

ท่อเมนจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะไม่ให้ความเร็วของอากาศภายในสูงเกินไป ลักษณะการต่อท่อเมนในระบบใหญ่นิยมต่อเป็นวงแหวน สำหรับระบบขนาดเล็กต่อเป็นแนวตรงก็ใช้ได้ ระบบท่อเมนต้องดูแลให้มีการรั่วของอากาศไม่เกิน 5 %

3. ความดันของอากาศอัด

(1) การใช้ความดันของอากาศอัด ควรตั้งความดัน ของอากาศให้เพียงพอกับความดันที่ใช้งาน ต้องไม่มากเกินไป

(2) ในกรณีที่ความดันของอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ระดับ เช่น กลุ่มหนึ่งใช้ความดัน 6 บาร์ อีกกลุ่มหนึ่งใช้ความดัน 3 บาร์ ทั้งสองกลุ่มมีปริมาณการใช้อากาศใกล้เคียงกัน ควรผลิตอากาศแยกระบบกัน จะทำให้ลดพลังงานลง 33 **%**

(3) ในกรณีที่ความดันของอากาศ แบ่งเป็น 2 ระดับ แต่ในระดับสูงมีจำนวนใช้ที่น้อยกว่า เช่น โรงงานแห่งหนึ่งใช้ความดันที่ 6 บาร์ และ 10 บาร์ แต่ความดันที่ 10 บาร์ มีความต้องการใช้อยู่ระหว่าง 10-15% ของการใช้ทั้งหมด ลักษณะนี้อาจจะผลิตอากาศที่ความดัน 7 บาร์ แล้วติดตั้ง Booster เพื่ออัดอากาศจากความดัน 7 บาร์ เป็น 11 บาร์ เพื่อป้อนให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการความดัน 10 บาร์ การจัดการลักษณะนี้จะช่วยลดการใช้พลังงานได้อย่างมาก

4. หลักการทำงานของระบบอากาศอัด

การทำงานของเครื่องอัดอากาศเริ่มจากดูดอากาศเข้าทางท่อลมเข้า (Air Intake) เพื่อส่งเข้าไปยังเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) บริเวณทางเข้าเครื่องอัดอากาศจะติดตั้งเครื่องกรองอากาศ (Filter) กรองสิ่งเจือปนต่าง ๆ เช่น ฝุ่นละออง เศษใบไม้ที่อาจลอยมากับอากาศ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับเครื่องอัดอากาศ อากาศที่ผ่านเครื่องอัดอากาศแล้ว จะระบายความร้อนด้วยอุปกรณ์ระบายความร้อนหลังจากอัด (After cooler) แล้วนำไปเก็บไว้ในถังเก็บอากาศ จากนั้นอากาศอัดจะทำให้แห้งด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Air dryer ก่อนนำไปใช้งานต่อไป

อากาศที่มีความดันสูงจะถูกส่งผ่านจากท่อจ่ายอากาศหลัก (Supply Line) และแยกไปใช้งานตามจุดต่าง ๆ ผ่านท่อแยก (Branch) แต่ก่อนที่อากาศจะเข้าไปยังเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น กระบอกสูบ หรือพู่กันลม ต้องมีการดักและกรองสิ่งที่ปนมากับอากาศ ซึ่งได้แก่ ฝุ่นละออง สิ่งสกปรกจากภายในท่อ และน้ำมันหล่อลื่นเสียก่อน โดยใช้อุปกรณ์กรองละอองน้ำและฝุ่น (Filter)

5. การติดตั้งเครื่องอัดอากาศแบบรวมศูนย์กับแบบกระจาย

การติดตั้งเครื่องอัดอากาศแบบรวมศูนย์ เพื่อจ่ายอากาศอัดไปทั่วโรงงานตามท่อ ในกรณีที่ใช้เครื่องอัดอากาศที่มี Capacity สูง ค่ากำลังขับจำเพาะ (ความสิ้นเปลืองกำลังขับต่อปริมาณอากาศหนึ่งหน่วย, FAD) จะยิ่งลดลง ดังนั้นจึงควรติดตั้งเครื่องอัดอากาศที่มี Capacity สูงๆ จำนวนน้อยเครื่องจะดีกว่าการติดตั้งเครื่องที่มี Capacity ที่น้อยกว่าจำนวนมาก อย่างไรก็ตามการติดตั้งแบบนี้จะเดินเครื่องด้วยความดันสูงสุดที่ต้องการภายในช่วงเวลาหนึ่ง ดังนั้นในช่วงเวลาที่ไม่ได้ใช้ความดันสูงจะไม่ประหยัดพลังงาน

กรณีที่ติดตั้งเครื่องอัดอากาศกระจายในแต่ละจุดที่ต้องการอากาศอัด เครื่องอัดอากาศที่ใช้จะมี Capacity ต่ำ กำลังขับจำเพาะจึงมีค่าต่ำ อนึ่งการติดตั้งแบบกระจายจะมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงกว่าการติดตั้งแบบรวมศูนย์ แต่จะสามารถเดินเครื่องด้วยความดันอากาศที่เหมาะสม ทำให้ไม่เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

6. **การควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ**

เครื่องอัดอากาศส่วนใหญ่ที่ใช้งานอยู่จะทำงานต่ำกว่าพิกัดโดยเป็นเรื่องที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เพราะต้องทำงานแปรผันไปตามความต้องการในแต่ละวัน การควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศอย่างมีประสิทธิภาพโดยการปิดเครื่องเมื่อไม่มีความจำเป็นต้องใช้งาน จะสามารถทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 5 – 20 % ของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งมีหลักเกณฑ์การควบคุมเครื่องอัดอากาศ 3 หลักเกณฑ์ที่ควรคำนึงถึงคือ

1. การควบคุมเครื่องอัดอากาศแยกแต่ละเครื่อง
2. การควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบหลายเครื่อง
3. การควบคุมระบบโดยรวม

6.1 การควบคุมเครื่องอัดอากาศแยกแต่ละเครื่อง

เครื่องอัดอากาศมีหลากหลายรูปแบบและมีวิธีการควบคุมจำนวนมาก โดยรูปแบบการควบคุมเครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้มากที่สุดคือ

- การเปิด/ปิด ส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องขนาดเล็ก
- มีภาระ/ปลดภาระ (On-Line/Off-Line)
- ลดโหลด (Unloading) ใช้กับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ
- แบบมอดูเลติ้ง (Modulating)

6.2 การควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบหลายเครื่อง (Multiple Compressor Control)

โรงงานส่วนใหญ่จะมีเครื่องอัดอากาศมากกว่า 1 เครื่อง เพื่อให้ทำงานร่วมกันอย่างดีที่สุด การจัดลำดับหมุนเวียนให้เครื่องอัดอากาศทำงาน จะทำให้แต่ละเครื่องเสื่อมสภาพเท่ากัน และยังมีความเป็นไปได้ที่จะหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องที่ไม่มีประสิทธิภาพ วิธีการควบคุมแบบอัตโนมัติที่เหมาะกับการควบคุมเครื่องอัดอากาศที่ติดตั้งหลายๆเครื่องที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 วิธี คือ

- การควบคุมความดันตามลำดับขั้น (Cascade pressure control)
- การควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control)

6.3 การควบคุมระบบโดยรวม (Overall System Control)

โดยทั่วไประบบควบคุมที่มีความซับซ้อนมากจะสามารถยืดหยุ่นและประหยัดได้มากขึ้น แต่บ่อยครั้งที่จำเป็นต้องระมัดระวังถึงระดับความต้องการอากาศของระบบทั้งหมด บางระดับจะต้องติดตามตรวจวัดผลก็เพื่อทำให้มั่นใจว่า ทำงานถูกต้องอย่างต่อเนื่อง และเชื่อมต่อกับระบบการจัดการอาคารสำนักงาน (Building Management system) ซึ่งเป็น วิธีการที่สมบูรณ์ของการทำให้บรรลุความสำเร็จของวิธีนี้

1. การควบคุมอย่างง่าย
- ระบบจำเป็นต้องสัมพันธ์กันกับพื้นที่ควบคุมที่ไม่ซับซ้อน และยอมให้บางส่วนของระบบหยุดการทำงานเมื่อไม่ใช้งาน
- การควบคุมด้วยสวิตซ์เวลาอย่างง่ายๆ เป็นรูปแบบพื้นฐานที่นิยมนำมาใช้กันมากที่สุดของการควบคุมตามเวลาที่กำหนด ซึ่งสามารถนำมาใช้กับจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของการผลิตอากาศที่อยู่ไกลออกไปเมื่อไม่จำเป็นต้องใช้งานเพื่อประหยัดพลังงาน

2. การควบคุมแบบรวมศูนย์ (Integrated Control)

การควบคุมแบบรวมศูนย์อาจนำมาบรรจุเป็นส่วนหนึ่งของระบบการจัดการอาคาร (Building Management system) สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องติดตามผลปฏิบัติงานในโรงงาน ความต้องการอากาศอัด การใช้พลังงานไฟฟ้าและอื่นๆแล้ว ยังสามารถนำมาแสดงให้เห็นถึงความต้องการ การบำรุงรักษาบนพื้นฐานของชั่วโมงการทำงานหรือสภาวะของการติดตามผลได้อีกทาง

7. แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด

แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัดที่ใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถทำได้ทำได้ดังต่อไปนี้

1. ลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็น (Cooling Effect) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Intercooler)
2. ปรับตั้งความดันลมของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งาน
3. เลือกใช้เครื่องอัดอากาศและระบบที่มีประสิทธิภาพสูง
4. ป้องกันการรั่วของลมจากจุดต่าง ๆ ของระบบ และจากตัวเครื่องอัดอากาศเอง
5. บริหารการใช้เครื่องอัดอากาศและระบบให้ใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

เนื่องจากระบบอัดอากาศมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายประเภท แต่ละโรงงานจำเป็นต้องเลือกเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งาน หมั่นตรวจสอบการรั่วไหลของอากาศอัดอย่างสม่ำเสมอ เข้าใจถึงหลักการทำงานตลอดจนการใช้อากาศอัดให้เหมาะสมกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ จะช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้ เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและยังเป็นการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย

ตัวอย่างแนวทางการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในเครื่องอัดอากาศและระบบอากาศอัดนั้น มีดังนี้

(1) คำนวณต้นทุนของอากาศอัด [บาท/m^3] แล้วใช้ต้นทุนนี้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายตามปริมาณความสิ้นเปลืองอากาศของอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยอากาศอัด ในจำนวนต้นทุนนี้จะมีค่าไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเป็นหลัก

(2) ปริมาณอากาศขาออกของเครื่องอัดอากาศโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 5.5-7.5 ที่กำลังขับจำเพาะ [kW/m3/min] (ANR) กล่าวคือเท่ากับ 0.13-0.18 [m3/min/kW] (ANR)

(3) เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กจะใช้แบบลูกสูบ ขนาดกลางจะใช้แบบสกรู และขนาดใหญ่จะใช้แบบเทอร์โบเป็นหลัก ประเด็นสำคัญในการเลือกใช้เครื่องอัดอากาศคือ จะใช้แบบใช้น้ำมันหรือไม่ใช้น้ำมัน จำนวนชั้นของการอัดอากาศ การสั่นสะเทือน เสียง และวิธีควบคุม Capacity เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระ

(4) หากมีเครื่องอัดอากาศหลายตัว แล้วใช้วิธีควบคุมจำนวนเครื่องให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงภาระจะทำให้เดินเครื่องได้อย่างอนุรักษ์พลังงานใกล้เคียงกับเส้นกราฟกำลังขับในอุดมคติ

(5) สิ่งที่สำคัญคือการอนุรักษ์พลังงานทางด้านผู้ใช้อากาศอัด (การปรับความดันให้เหมาะสม การลดการปล่อยอากาศทิ้งและอากาศรั่ว เป็นต้น)

การประหยัดพลังงานของระบบอัดอากาศต้องประกอบด้วย การออกแบบระบบที่ดี การเลือกใช้ประเภทและขนาดให้เหมาะสม ขนาดของถังเก็บอากาศมีปริมาณที่เพียงพอกับลักษณะงาน ขนาดของท่อเมนต้องโตพอที่จะทำให้ความเร็วของอากาศไม่สูงเกินไปจนทำให้เสียความดัน และสามารถแยกคอนเดนเสทได้ดี การใช้งานและการบำรุงรักษาที่ดี

เอกสารอ้างอิง

[1] MOTOKI MAYSUO. เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม. แปลโดย ดร.บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ และคณะ. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543

[2] กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. การบำรุงรักษาระบบอัดอากาศ. กรุงเทพฯ.,2545

[3] กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. การอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศ. กรุงเทพฯ.,2545

[4] เอกสารเผยแพร่ คู่มือการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ หมายเลข 7. การใช้พลังงานในเครื่องอัดอากาศ. ศูนย์ทรัพยากรการฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพฯ 2545

[5] อนุตร จำลองกุล. เครื่องสูบ เครื่องอัด พัดลม.. กรุงเทพฯ. คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 2541

[6] ศุภชัย ปัญญาวีร์ และ จตุพร สถากุลเจริญ,การลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงาน,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ,2549

[7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2554), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจ

[8] อุทัย วงศ์เขื่อนแก้ว, เทคนิคประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศ, http://lib.dede.go.th/