

### 2-3.1 ระบบอัดอากาศทำงานอย่างไร

- (1) เครื่องอัดอากาศที่ใช้ลักษณะการแทนที่ของอากาศ (Dynamic)
- (2) เครื่องอัดอากาศที่อัดอากาศเชิงปริมาตร (Displacement)

### 2-3.2 เครื่องอัดอากาศมีกี่ประเภทและมีคุณลักษณะต่างกันอย่างไร (Type of Compressor)

- (1) เครื่องอัดอากาศประเภท (Dynamic Compressor)
- (2) เครื่องอัดอากาศประเภท (Displacement Compressor)
- (3) เครื่องเพิ่มแรงดัน (Booster)
- (4) ระบบควบคุมเครื่องอัดอากาศ

### 2-3.3 การเลือกใช้เครื่องอัดอากาศและอุปกรณ์ในระบบอัดอากาศที่เหมาะสม

- (1) การเลือกขนาดและชนิดของเครื่องอัดอากาศที่เหมาะสม
- (2) การเลือกขนาดถังเก็บอากาศ
- (3) การเลือกขนาดท่อส่งจ่ายอากาศอัดและการติดตั้งใช้งาน
- (4) การปรับปรุงคุณภาพอากาศอัด (Treatment of Compressed air)

### 2-3.4 เราสามารถอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศได้อย่างไร ?

- (1) การลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ
- (2) การปรับปรุงท่อเมนส่งจ่ายอากาศอัด
- (3) การลดแรงดันในการผลิตอากาศอัด
- (4) การลดการรั่วไหลของอากาศอัด
- (5) ปรับปรุงถังเก็บอากาศอัด (ถังเล็ก) เพื่อการประหยัดพลังงาน
- (6) การจัดโหลดเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการ
- (7) การลดพฤติกรรมการใช้อากาศอัดที่ไม่เหมาะสม
- (8) การเลือกใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง
- (9) การบำรุงรักษากรองอากาศ และจุดกรองอื่นๆของระบบอัดอากาศ
- (10) การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องอัดอากาศกลับมาใช้

### 2-3.5 การตรวจวินิจฉัย บำรุงรักษาระบบอัดอากาศเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอย่างไร ?

- (1) การตรวจวินิจฉัยระบบอัดอากาศเพื่ออนุรักษ์พลังงานอย่างไร?
- (2) การบำรุงรักษาระบบอัดอากาศเพื่อ อนุรักษ์พลังงานอย่างไร?

### 2-3.1 ระบบอัดอากาศทำงานอย่างไร

#### (1) เครื่องอัดอากาศที่ใช้ลักษณะการแทนที่ของอากาศ (Dynamic)

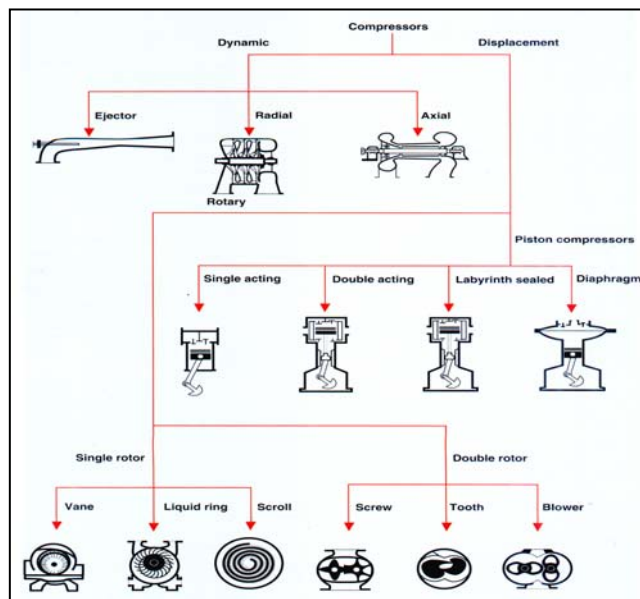
หลักการทำงาน คือให้พลังงานกลแก่อากาศทำให้อากาศมีความเร็วเพิ่มขึ้น โดยผ่านโรเตอร์ แล้วอาศัยรูปร่างของโครงสร้าง(Casing) ภายในเครื่องอัดลดความเร็วของอากาศลง ทำให้พลังงานของอากาศในรูปพลังงานจลน์เปลี่ยนเป็นความดันอากาศแล้วไหลออกทางด้านจ่าย ซึ่งมีแบบ Centrifugal, Ejector, Radial, Axial มีใช้ในอุตสาหกรรมบ้างแต่ยังไม่แพร่หลาย โดยเฉพาะ Centrifugal

#### (2) เครื่องอัดอากาศที่อัดอากาศเชิงปริมาตร (Displacement)

หลักการทำงาน คือดูดอากาศเข้าไปในปริมาตรของห้องอัด แล้วลดปริมาตรอากาศโดยใช้พลังงานจากภายนอก เช่น เครื่องยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า แรงงานกลต่างๆ เมื่ออากาศถูกลดปริมาตรลงทำให้มีความดันสูงขึ้น แล้วปล่อยออกทางด้านจ่ายเป็นอากาศอัดที่มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ มีทั้งแบบโรตารี(Rotary) และแบบที่เป็นลูกสูบ (Reciprocating หรือ Piston Compressor) นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม

### 2-3.2 เครื่องอัดอากาศมีกี่ประเภทและมีคุณลักษณะต่างกันอย่างไร (Type of Compressor)

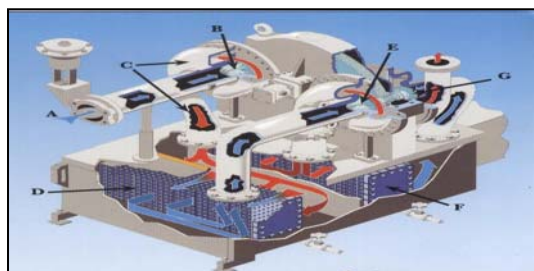
จากรูปที่ 2-3.1 เครื่องอัดอากาศมีสองประเภทแต่แยกได้หลายชนิดด้วยกัน ในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเป็นสำคัญ และข้อดีข้อเสียเครื่องอัดอากาศแต่ละชนิด



รูปที่ 2-3.1 การแบ่งชนิดของเครื่องอัดอากาศ

#### (1) เครื่องอัดอากาศประเภท (Dynamic Compressor)

มีใช้แต่ยังไม่มากเท่ากับชนิดอื่น พบในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Centrifugal Compressors



รูปที่ 2-3.2 Centrifugal Compressors

### ข้อดี

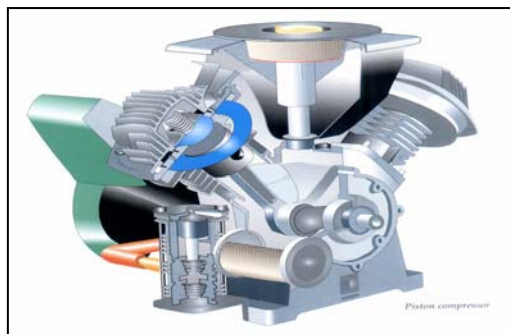
1. สามารถผลิตอากาศอัดได้มาก คือ 1 แรงม้า สามารถผลิตอากาศอัดได้ 4.4 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (CFM)
2. ผลิตอากาศอัดได้มากสามารถจ่ายอากาศอัดได้ทั้งโรงงาน (มีขนาดใหญ่ 400 HP – 1,500 HP)
3. สามารถทำงานได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง

### ข้อเสีย

1. เมื่อเครื่องเสียจะทำให้ไม่มีอากาศอัดใช้ทั้งโรงงาน
2. เนื่องจากเครื่องอัดอากาศมีขนาดใหญ่ ทำให้กินกระแสไฟฟ้ามากไม่เหมาะสำหรับโรงงานที่ใช้อากาศอัดน้อย และมีการใช้อากาศอัดที่ไม่สม่ำเสมอ (ไม่ควรให้เครื่องมีสภาวะ Unload เนื่องจากมอเตอร์กินกระแสไฟฟ้าสูง)

### (2) เครื่องอัดอากาศประเภท (Displacement Compressors)

#### - ชนิดลูกสูบ (Reciprocating)



รูปที่ 2-3.3 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

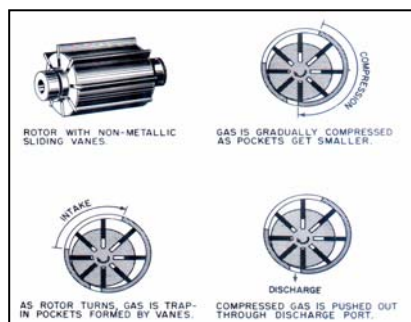
ข้อดี คือ ผลิตแรงดันอากาศได้สูง 0-20 bar และราคาถูก

### ข้อเสีย

1. ผลิตอากาศอัดได้น้อย คือ 1 แรงม้า สามารถผลิตอากาศอัดได้ประมาณ 3.4 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
2. เสียงดัง ขณะทำงาน สึกหรอมากกว่าเพราะมีส่วนที่เคลื่อนที่มากขึ้น
3. อากาศอัดที่ได้มีอุณหภูมิสูงจึงเป็นเหตุให้เกิดน้ำในระบบมากกว่าระบบอื่นๆ
4. ไม่สามารถเดินเครื่องได้ตลอด 24 ชั่วโมงมีความสึกหรองง่ายกว่าระบบอื่นๆ จึงต้อง Overhaul บ่อยครั้ง

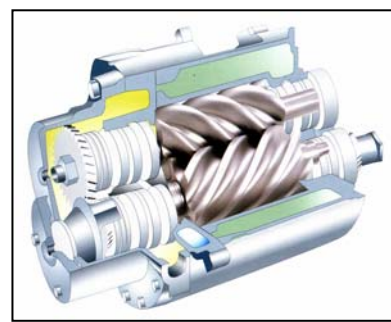
#### - ชนิดโรตารี (Rotary)

##### 2.1 แบบโรตารีแวน (Rotary Vane)



รูปที่ 2-3.4 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีแวน

##### 2.2 แบบโรตารีสกรู (Rotary Screw)



รูปที่ 2-3.5 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรู

### ข้อดี

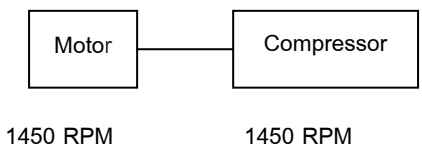
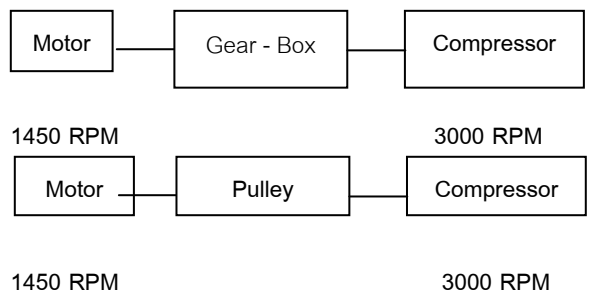
1. สามารถผลิตอากาศอัดได้มาก คือ 1 แรงม้า สามารถผลิตอากาศอัดได้ประมาณ 4.4 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

2. อากาศอัดที่ได้มีอุณหภูมิต่ำกว่าชนิดลูกสูบ
3. เสียงเครื่องเงียบ และสามารถทำงานได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง
4. มีคุณภาพของอากาศอัดสูง คือมีปริมาณน้ำมันหลุดออกไปน้อย

**ข้อเสีย** ผลิตแรงดันอากาศได้ ปริมาณ 0-13 bar และราคาสูง

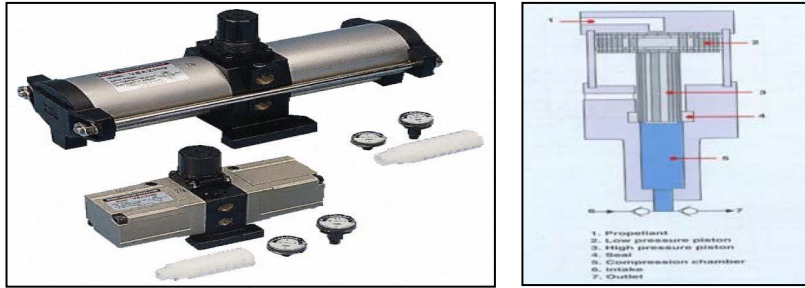
สำหรับเครื่องอัดอากาศชนิดโรตารี ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายมี 2 แบบ คือ โรตารีแวน (Rotary Van) กับ โรตารีสกรู (Rotary Screw) ซึ่งมีข้อแตกต่างกันดังตารางที่ 2-3.1

ตารางที่ 2-3.1 ข้อแตกต่างระหว่าง Rotary Vane กับ Rotary Screw

Rotary Vane	Rotary Screw
<p>1. รอบในการขับเคลื่อนอยู่ที่ประมาณ 1450 RPM โดยตรงตรงกับเพลลาของมอเตอร์</p> 	<p>1. รอบในการขับเคลื่อนจะต้องมีความเร็วรอบไม่ต่ำกว่า 3000 RPM</p> 
2. การเพิ่มปริมาณลมจะต้องเพิ่มขนาดของปั๊มลมและมอเตอร์	2. เพิ่มปั๊มลมจะต้องเปลี่ยนปั๊มลมรุ่นใหญ่ขึ้นและใช้ชุดหัวอัดเดิม แต่เพิ่มรอบในการขับและเพิ่มแรงม้าให้สูงกว่าเดิม
3. การขับเคลื่อนหัวอัดลม (Rotor) โดยการต่อตรงกับมอเตอร์ โดยอาศัย Coupling เป็นตัวขับเคลื่อนซึ่งจะมีความเร็วรอบของปั๊มลมและมอเตอร์เท่ากัน	3. การขับเคลื่อนทำได้ 2 วิธี 1) ขับเคลื่อนโดยการต่อตรง แต่ต้องอาศัยเฟืองเกียร์เพื่อเพิ่มรอบหัวอัดลมให้สูงขึ้น 2) ขับเคลื่อนโดยสายพาน โดยอาศัยการทดรอบของพูลเลย์
4. ลูกปืนหัวท้ายเครื่องปั๊มลม (Hydrovane) ไม่มีลูกปืน (Bearing) แต่จะใช้ Bearing Bush ซึ่งคล้ายกับ Shaft ของรถยนต์ซึ่งจะช่วยลดการเสียดสีระหว่าง Bearing Bush กับตัวท่อนของ Rotor ได้	4. ใช้ลูกปืน (Bearing) อย่างน้อย 6 ตัว คือ Ball Bearing 4 ตัว และ Thrust Bearing 2 ตัว ลูกปืนจะมีอายุการใช้งานและเวลาเปลี่ยนจะต้องเปลี่ยนทั้งชุด ไม่สามารถเปลี่ยนเฉพาะตัวที่เสียได้ เพราะการเปลี่ยนลูกปืนจะต้องใช้เครื่องมือพิเศษและต้องการช่างที่มีความชำนาญสูงเพราะว่าท่อนตัวผู้และตัวเมีย มีระยะห่างระหว่างกันเพียง 0.008 นิ้ว
5. ใช้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นน้อยกว่า ที่แรงม้าที่เท่ากัน	5. ใช้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นมาก ที่แรงม้าเท่ากัน
6. สามารถใช้น้ำมันทั่วไปที่มีขายในท้องตลาดเบอร์ SAE40 ได้ (น้ำมันคอมเพรสเซอร์เบอร์ทั่วไป)	6. ต้องใช้น้ำมันพิเศษเฉพาะของเครื่องระบบ Screw หรือใช้น้ำมันที่ผู้ผลิตเครื่องกำหนด
7. ดูแลรักษาเครื่องง่ายกว่าซึ่งไม่ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญมาก	7. ดูแลรักษาเครื่องยาก จะต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญสูงเท่านั้น

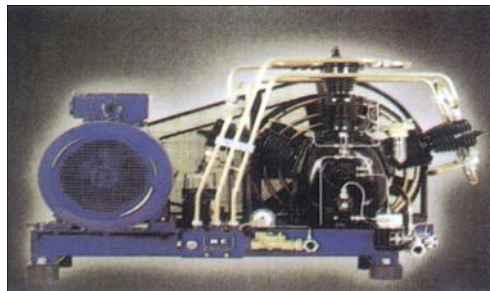
### (3) เครื่องเพิ่มแรงดัน (Booster)

1) เครื่องเพิ่มแรงดันแบบ (Pressure Booster) อาศัยแรงดันของตัวเองเพิ่มแรงดันใหม่ ปกติจะผลิตแรงดันออกมาที่ประมาณสองเท่าของแรงดันที่ป้อนเข้าเพราะถูกจำกัดด้วยปริมาณอัตราการไหลของอากาศอัดที่ค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 2-3.6 บู้สเตอร์แบบ (Pressure Booster)

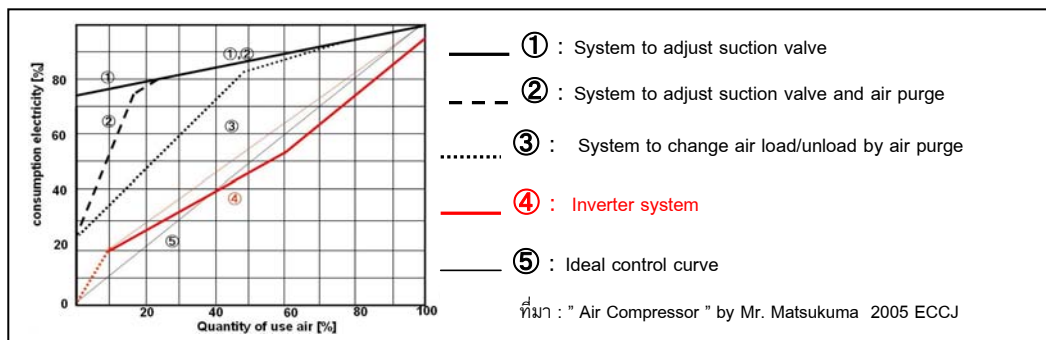
2) เครื่องเพิ่มแรงดันแบบ (Motor Booster Pump) ลักษณะทั่วไปคล้ายกับเครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ เพียงแต่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผลิตแรงดันให้สูงกว่าซึ่งอาจสูงได้ 5-6 เท่าของแรงดันใช้ปกติ (7 บาร์) หรือถ้าเป็นลักษณะงานที่พิเศษ อาจผลิตแรงดันได้สูงถึง 180 บาร์ หรือสูงกว่านั้น



รูปที่ 2-3.7 บู้สเตอร์ Motor Pump

#### (4) ระบบควบคุมเครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศมีระบบควบคุมที่แตกต่างกัน แต่รูปแบบของการควบคุมมีผลต่อการใช้พลังงาน การเลือกระบบควบคุมที่เหมาะสมจะช่วยประหยัดพลังงาน รูปที่ 2-3.8 เป็นระบบควบคุมการทำงานแบบต่างๆ ของเครื่องอัดแบบสกรู (Screw Compressor)

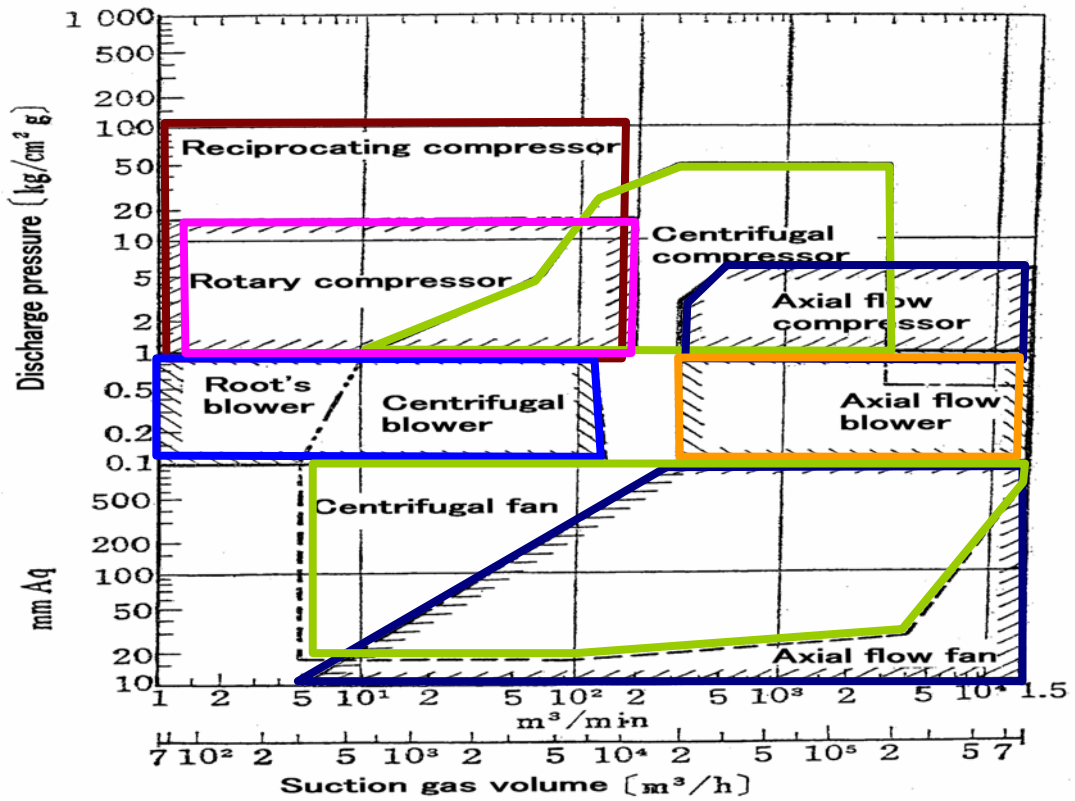


รูปที่ 2-3.8 ระบบควบคุมการทำงานแบบต่างๆ

### 2-3.3 การเลือกใช้เครื่องอัดอากาศและอุปกรณ์ในระบบอัดอากาศที่เหมาะสม

#### (1) การเลือกขนาดและชนิดของเครื่องอัดอากาศที่เหมาะสม

สิ่งที่ควรพิจารณาคือ ปริมาณตามต้องการอากาศอัดและความดันใช้งานของอุปกรณ์ในโรงงาน เมื่อทราบปริมาณความต้องการอากาศอัดแล้ว จึงพิจารณาเลือกเครื่องโดยใช้กราฟ ดังรูป 2-3.9



รูปที่ 2-3.9 กราฟแสดงย่านแรงดันต่างๆของเครื่องอัดอากาศ พัดลม และดูดสูญญากาศ

จากรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศอัดและปริมาณอากาศอัดที่คอมเพรสเซอร์ชนิดต่างๆผลิตได้ โดยสามารถเลือกช่วงของแรงดันและปริมาณอากาศอัดที่ต้องการ เราก็สามารถที่จะเลือกชนิดของเครื่องอัดอากาศได้ เป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการหาขนาดและชนิดของเครื่องอัดอากาศ โบเวอร์และพัดลม และยังสามารถเลือกได้อีกว่าจะใช้โบเวอร์แทนการใช้อากาศอัดหรือใช้เพียงพัดลมก็เพียงพอ สำหรับงานบางอย่าง เช่นงานที่ต้องการความดันไม่ถึง 1kg/m<sup>2</sup> สามารถใช้โบเวอร์แทน และในงานที่อากาศอัดไม่ถึง 0.1 kg/m<sup>2</sup> ก็ใช้เพียงพัดลมแทนเป็นต้น อย่างไรก็ตามอากาศอัดที่ใช้ในโรงงานโดยมากความต้องการความดันไม่เกิน 700 kPa (7 บาร์) และต้องการปริมาณอากาศอัดต่ำ ซึ่งก็มีอยู่ 3 ชนิดให้เลือกคือ ชนิดลูกสูบ ชนิด Rotary Van และ Rotary Screw สำหรับชนิดอื่นมีบ้างแต่พบไม่มากในอุตสาหกรรมทั่วไป

ตารางที่ 2-3.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

การเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ										
ประเภทเครื่องอัด	ประเภทการหล่อลื่น	ประเภทการระบายความร้อน	อัตราการผลิตอากาศอัด I/s	พลังงานไฟฟ้าในการอัดที่ 7 บาร์ kW//s	ประสิทธิภาพในช่วงที่ไม่มีโหลด	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	
	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	
โรตารีเวเน	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	
	Oil injected	Air	2-25	0.52	ดี	ต่ำ	สูง	ต่ำ	ต่ำ	
	Oil injected	Air	25-250	0.45	พอใช้	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	
	Oil Free	Water	250-1,000	0.45	ดี	กลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	สะอาด	
	Oil Free	Water	1,000-2,000	0.39	ดีมาก	กลาง	ปานกลาง	ต่ำ	สะอาด	
	Oil Free	Water	มากกว่า 2,000	0.36	ดีมาก	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สะอาด	
	เซนตริฟิวกัลป์หรือเทอร์โบ	Oil Free	Water	250-1,000	0.45	ดี	กลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	สะอาด
		Oil Free	Water	1,000-2,000	0.39	ดีมาก	กลาง	ปานกลาง	ต่ำ	สะอาด
	Oil Free	Water	มากกว่า 2,000	0.36	ดีมาก	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สะอาด	

(2) การเลือกขนาดถังเก็บอากาศ

ระบบอัดอากาศโดยปกติจะต้องมีถังเก็บอากาศอัดต่อหลังจากเครื่องอัดอากาศ ถึงอัดอากาศจะมีมากกว่าหนึ่งถังก็ได้แต่ต้องเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของโหลด ถังเก็บอากาศอัดที่เหมาะสมมีหน้าที่ คือ 1) เก็บอากาศอัดและ

ลดการกระเพื่อมของแรงดันอากาศอัดจากคอมเพรสเซอร์ 2) สามารถชดเชยความต้องการของไหลในลักษณะ Peak Load ได้ 3) ช่วยลดการตัดต่อของคอมเพรสเซอร์ที่บ่อยเกินไป 4) ช่วยระบายความร้อนของอากาศอัด และเป็นจุดกักน้ำตัวของน้ำและน้ำมัน ขนาดของถังเก็บอากาศอัดมี 2 ลักษณะ คือ

ระบบที่มีความต้องการปริมาณอากาศอัดคงที่ คือระบบที่มีการใช้อากาศอัดสม่ำเสมอต่อเนื่องจนหยุดการผลิต ปริมาตรถังเก็บอากาศอัดไม่จำเป็นต้องใหญ่มากนัก

ระบบที่มีความต้องการปริมาณอากาศอัดที่ไม่คงที่ คือระบบที่มีการใช้อากาศอัดไม่สม่ำเสมอมีความต้องการ ปริมาณอากาศอัดในบางช่วงเวลาต่างกันค่อนข้างสูง จึงจำเป็นที่จะต้องติดตั้งถังเก็บอากาศอัดไว้ชดเชยความต้องการ ไหล่บางช่วงที่มีความต้องการมากกว่ากำลังการผลิตของเครื่อง

การหาขนาดถังเก็บอากาศอัดที่เหมาะสม สมการที่ 2-3.1 สมการพื้นฐาน

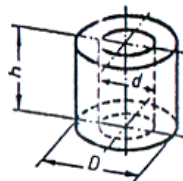
$$V_R = \frac{A \times C_o \times P_o}{P_g + P_o} m^3$$

ข้อมูล

$V_R$	คือ	ปริมาตรถังเก็บอากาศ ( $m^3$ )
$C_o$	คือ	กำลังการผลิตอากาศอัด $m^3/min$ (FAD)
$P_o$	คือ	ความดันสัมบูรณ์ของบรรยากาศ (1.013 bar)
$P_g$	คือ	ความดันแกจ (bar)
$A$	คือ	ค่าตัวประกอบของเวลาหน่วย (min) โดยปกติจะเท่ากับ 1.5 สำหรับไหลคงที่และมีค่าเท่ากับ 3 สำหรับไหลที่มีความต้องการปริมาณไม่คงที่

การคำนวณหาปริมาตรถังเก็บอากาศอัดที่อยู่ในโรงงาน

สมการที่ 2-3.2 ส่วนที่เป็นทรงกระบอก



$$v = \frac{\pi}{4} h(D^2 - d^2)$$

สำหรับความหนาของถังเก็บอากาศอัดปกติจะอยู่ที่ 7-10 มิลลิเมตร การคำนวณส่วนที่เป็น  $h_2 = h_3$  ได้ดังสมการ



$$v = \frac{2}{3} \pi \cdot r^2 h$$

$$A_o = \frac{\pi}{2} r(4h + s)$$

ส่วนที่ 2-3.3 เป็นฝาและก้นถังเก็บอากาศ

ทั้งนี้ก็มาคิดว่าปัจจุบันถังเก็บอากาศอัดของโรงงานเรามีความเหมาะสมหรือไม่

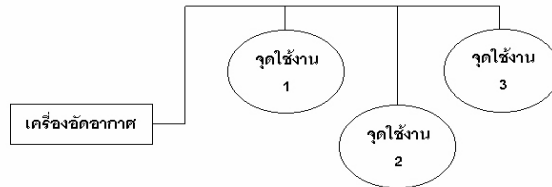
### (3) การเลือกขนาดท่อส่งจ่ายอากาศอัดและการติดตั้งใช้งาน

ท่อเมน การต่อท่อเมนอาจต่อเป็นแบบท่อประธานเดี่ยวหรือต่อเป็นแบบวงแหวนก็ได้ การต่อแบบท่อประธาน เดี่ยวนิยมใช้สำหรับส่งจ่ายอากาศอัดในระยะใกล้ๆ หากต่อในระยะที่ไกลออกไปแล้วจะทำให้เกิดปัญหาแรงดันตกเป็น อย่างมาก ส่วนการต่อแบบวงแหวนเหมาะสมกับระบบที่ใหญ่และมีอุปกรณ์ใช้อากาศอัดจำนวนมากๆ ระบบนี้จะช่วยลด ความเร็วของอากาศอัดและลดการสูญเสียความดัน สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดัน 1) แรงเสียดทาน

ระหว่างอากาศอัดกับผนังท่อ 2) การปรับทิศทางไหลของอากาศอัด 3) การเปลี่ยนความเร็วของอากาศอัดเนื่องจากการเพิ่มหรือลดขนาดท่อ

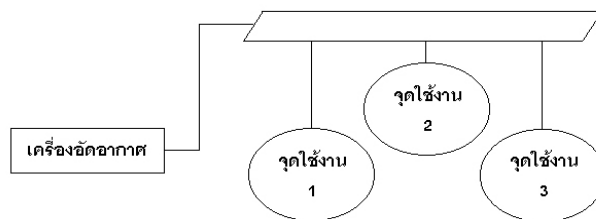
### โดยปกติการต่อท่อเมนส่งจ่ายอากาศอัดทำได้ 2 วิธี

1. การต่อท่อเมนส่งจ่ายอากาศอัดแบบท่อเดี่ยว หรือแบบก้างปลา เหมาะสำหรับการใช้งานที่ระยะทางใกล้ๆ กับเครื่องผลิตอากาศอัด หากต่อไปใช้งานไกลออกไปเมื่อมีการใช้งานพร้อมๆ กันแล้วจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องแรงดันอากาศอัดตก โรงงานทั่วไปนิยมต่อท่อเมนในลักษณะนี้ เนื่องจากการลงทุนน้อยประหยัดค่าใช้จ่าย



รูปที่ 2-3.10 ลักษณะการต่อท่อเมนแบบท่อเดี่ยว

2. การต่อท่อเมนส่งจ่ายอากาศอัดเป็นแบบวงแหวน เหมาะสมกับทุกระบบที่มีการใช้อากาศอัดปริมาณมากๆ เครื่องจักรหลายๆ ชุด เพราะการต่อท่อเมนแบบนี้จะช่วยลดปัญหาเรื่องแรงดันตกได้มาก ซึ่งการต่อท่อแบบวงแหวนนั้นความดันของอากาศอัดจะเท่ากันทุกๆ จุดที่ใช้งาน ดังนั้นเราจึงไม่ต้องผลิตแรงดันเพื่อไหลปลายทาง ปัจจุบันทางโรงงานได้เริ่มปรับปรุงมาเป็นการต่อท่อเมนแบบนี้เพิ่มขึ้น ถึงแม้การลงทุนจะสูงกว่าการต่อท่อเมนแบบท่อเดี่ยวมากก็ตาม เพราะการต่อท่อเมนแบบนี้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้อย่างมาก



รูปที่ 2-3.11 ลักษณะการต่อท่อเมนแบบวงแหวน













สรุปการประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศโดยการปรับปรุงท่อเมนนั้น คือการออกแบบท่อที่ดีจะช่วยลดปัญหาของแรงดันตกทำให้สามารถลดการผลิตแรงดันที่สูงเกินความต้องการของไหลลดลงได้ เพราะการผลิตแรงดันที่สูงย่อมทำให้เครื่องอัดอากาศต้องใช้พลังงานสูงตามไปด้วย และแรงดันที่สูงย่อมส่งผลให้มีการรั่วไหลมากกว่าแรงดันที่ต่ำกว่า ณ. ที่ขนาดรูเท่ากัน เมื่อทำการปรับปรุงท่อเมนแล้ว ควรพิจารณาลดแรงดันที่เครื่องอัดอากาศลง เพราะการลดแรงดันในการผลิตอากาศอัดลงทุกๆ 1 bar จะสามารถลดพลังงานลงได้ 7 - 11% หรือ 2 psi จะสามารถลดพลังงานลงได้ 1 % สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี แวน และสกรู

### สมการที่ 2-3.4 ความดันลดลงเนื่องจากแรงเสียดทาน

$$\Delta P = \frac{f \times L \times Q^{1.85}}{P_m \times D^5}$$

- Delta P = ความดันที่สูญเสีย, bar
- f = ตัวประกอบความเสียดทาน ( f = 450 ต่อเหล็ก)
- L = ความยาวท่อเป็นเมตร (m)
- Q = ปริมาณการไหลของอากาศ (L/s (FAD))
- P<sub>m</sub> = ความดันสัมบูรณ์เฉลี่ยในท่อ, (bar)
- D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ, (mm)

ตารางที่ 2-3.3 ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานของข้อต่อต่างๆ

Equivalent length in metres												
Component		Inner pipe diameter in mm (d)										
		25	40	50	80	100	125	200	250	300	400	
Ball valve (full flow)		0.3	0.5	0.6	1.0	1.3	1.6	1.9	2.6	3.2	3.9	5.2
		5	8	10	16	20	25	30	40	50	60	80
Diaphragm valve fully open		1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
Angle valve fully open		4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-
Poppet valve		7.5	12	15	24	30	38	45	60	-	-	-
Flap check valve		2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
Elbow R = 2d		0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	3.6	4.8
Elbow R = d		0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
90° angle		1.5	2.4	3.0	4.5	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Tee through-flow		0.3	0.4	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
Tee side-flow		1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Reducing nipple		0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.6

ขนาดของท่อเมน ควรมีขนาดใหญ่พอที่จะไม่ให้เกิดความสูญเสียความดันภายในท่อมากเกินไป โดยทั่วไปแล้ว ความดันสูญเสียไม่ควรเกิน 5% ทุก 30 เมตรของความยาวของท่อหรือที่ความเร็วของอากาศอัดในท่อไม่เกิน 6 เมตร/วินาที แต่ความดันสูญเสียทั้งระบบไม่ควรเกิน 10% โดยประมาณ หรือยอมให้ 15% ช่วงขณะความต้องการสูงสุด ในแต่ละจุดที่นำอากาศอัดไปใช้งาน ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นไม่ควรเกิน 0.1-0.2 bar ณ.ความต้องการอากาศอัดสูงสุด ขนาดของท่อย่อยก็เช่นกันแตกต่างกันตรงความเร็วของอากาศอัดไม่ควรเกิน 10 เมตร/วินาที เพื่อลดการสูญเสียแรงดัน

สมการที่ 2-3.5 การหาขนาดท่อเมน ที่ความเร็วลมในท่อประมาณ 6 m/sec

$$D_{mm} = \sqrt{\frac{3536 \times Q_{CMM} \times P_o}{P_g + P_o}}$$

$P_o$  = ความดันบรรยากาศ (1.013 bar)

$P_g$  = ความดันเกจ (bar)

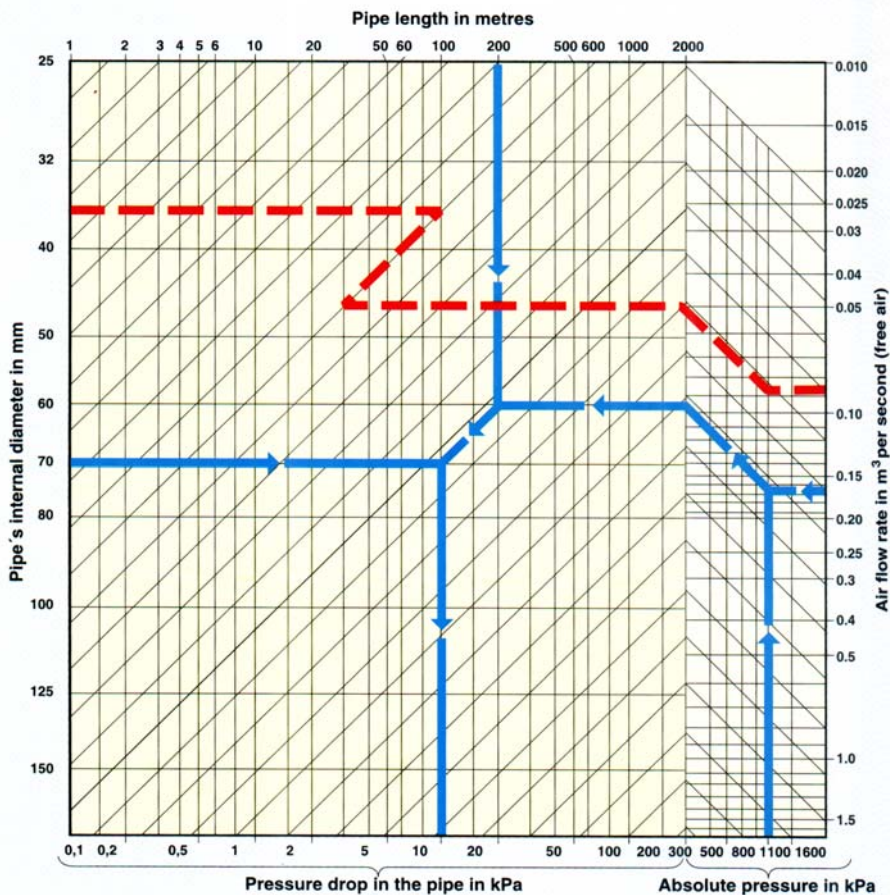
$D_{mm}$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)

$Q_{cmm}$  = กำลังการผลิตของเครื่อง (FAD  $m^3/min$ )

ตารางที่ 2-3.4 ปริมาณการไหลของอากาศอัดที่ความดันและขนาดท่อต่างๆ

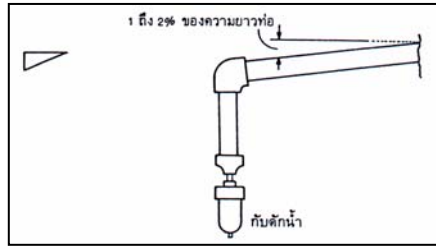
ASTM STANDARD PIPE Volume lite/sec at Pressure and Pipe Diameters (Velocity 6 m/s)												
Pipe (in)	1/2	3/4	1.0	1,1/4	1,1/2	2.0	2,1/2	3.0	3,1/2	4.0	5.0	6.0
P(bar) /Dia (mm)	15.76	50.96	26.64	35.08	40.94	52.48	62.68	77.92	90.12	102.26	128.2	154.08
4.0	5.9	10.4	16.8	29.1	39.6	65.1	92.8	143.5	191.9	247.1	388.3	561.0
4.5	6.5	11.4	18.4	32.0	43.6	71.6	102.1	157.8	211.0	271.7	427.1	616.9
5.0	7.0	12.5	20.1	34.9	47.5	78.1	111.3	172.1	230.2	296.4	465.8	672.9
5.5	7.6	13.5	21.8	37.8	51.5	84.5	120.6	186.4	249.3	321.0	504.5	728.8
6.0	8.2	14.5	23.5	40.7	55.4	91.0	129.9	200.7	268.5	345.7	543.3	784.8
6.5	8.8	15.6	25.1	43.6	59.4	97.5	139.1	215.0	287.6	370.3	582.0	840.7
7.0	9.4	16.6	26.8	46.5	63.3	104.0	148.4	229.3	306.7	395.0	620.7	896.7
7.5	10.0	17.6	28.5	49.4	67.3	110.5	157.6	243.6	325.9	419.6	659.5	952.6
8.0	10.6	18.7	30.1	52.3	71.2	117.0	166.9	257.9	345.0	444.2	698.2	1008.6
8.5	11.1	19.7	31.8	55.2	75.2	123.5	176.2	272.2	364.2	468.9	736.9	1064.5
9.0	11.7	20.7	33.5	58.1	79.1	130.0	185.4	286.5	383.3	493.5	775.7	1120.5
9.5	12.3	21.8	35.2	61.0	83.1	136.5	194.7	300.9	402.4	518.2	814.4	1176.4
10.0	12.9	22.8	36.8	63.9	87.0	143.0	203.9	315.2	421.6	542.8	853.1	1232.4

เราสามารถหาขนาดของท่อที่เหมาะสมได้ เมื่อเราทราบค่าอัตราการไหลของอากาศอัด แรงดันใช้งาน ระยะของความยาวท่อ และกำหนดแรงดันตกในระบบ เราก็จะได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อโดยใช้โมโนแกรม

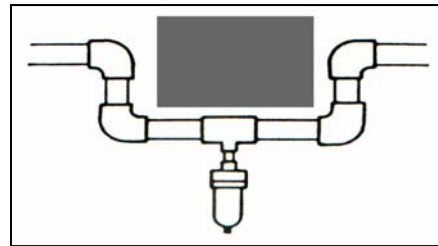


รูปที่ 2-3.12 กราฟใช้สำหรับหาขนาดท่อโดยสามารถกำหนดค่าต่างๆ ที่ต้องการ

การวางท่อส่งจ่ายอากาศอัดตามแนวนอนควรระวังให้มีมุมเอียงลาด 1 ถึง 2% ของความยาวท่อส่งจ่ายอากาศอัด และที่จุดปลายต่ำสุดหรือบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าระดับ จะต้องติดตั้งหรือกับดักน้ำสำหรับระบายน้ำที่เกิดการกลั่นตัวในท่อทิ้ง ดังรูปที่ 2-3.13

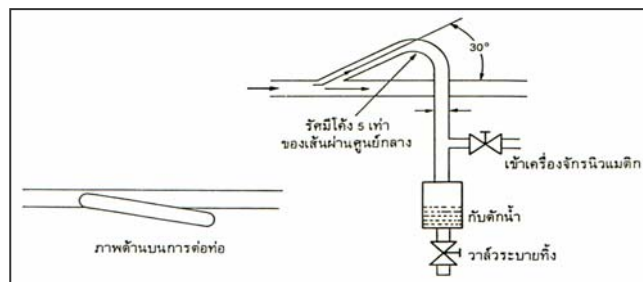


รูปที่ 2-3.13 การต่อท่อในแนวนอนให้มีมุมลาดเอียง

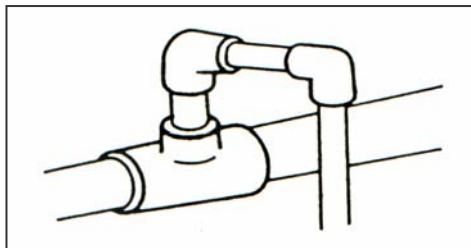


รูปที่ 2-3.14 การติดตั้งท่อในกรณีที่มีสิ่งกีดขวาง

ในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้ข้ออได้ก็ไม่ควรใช้ข้ออแบบมุมหักฉาก  $90^\circ$  แต่ควรจะใช้ข้ออโค้ง  $90^\circ$  แทน และให้การเดินท่อเมื่อมีสิ่งกีดขวาง เช่น คาน หลีกเลียงได้โดยการเดินท่อดังรูปที่ 2-3.14 และบริเวณส่วนที่ต่ำที่สุดจะต้องติดตั้งกับดักน้ำระบายอัตโนมัติไว้เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมาขังอยู่บริเวณดังกล่าว การแยกท่อส่งจ่ายอากาศอัดออกไปใช้งานจากท่อเมนควรจะต้องขึ้นทางด้านบนโดยทำมุมประมาณ  $30^\circ$  กับท่อเมนและงอโค้งลงมา ดังรูปที่ 2-3.15 แต่ถ้าไม่สามารถหาวัสดุหรือท่อโค้ง  $30^\circ$  ได้ ควรใช้ท่อสั้นๆ ต่อจากด้านบนของท่อเมนแล้วจึงใช้ข้อต่อข้อต่อลงมาดังรูปที่ 2-3.16 และ 2-3.17 ไม่ควรต่อท่อตามรูปที่ 2-3.18 และ 2-3.19 หากคุณภาพของอากาศอัดไม่ดีพอจะทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำที่ปนไปกับอากาศอัดไหลลงไปทำความเสียหายแก่อุปกรณ์



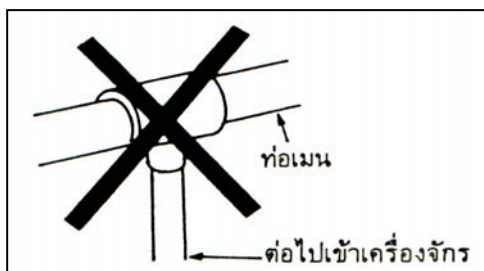
รูปที่ 2-3.15 การแยกท่อจ่ายจากท่อเมน



รูปที่ 2-3.16 การแยกท่อจ่ายจากท่อเมนอีกวิธีหนึ่ง



รูปที่ 2-3.17 การต่อท่อเมนงอโค้ง  $90^\circ$  ที่เหมาะสม



รูปที่ 2-3.18 การแยกท่อจ่ายอากาศอัดจากท่อเมนโดยวิธีที่ผิด



รูปที่ 2-3.19 การต่อท่อเมนหักฉาก  $90^\circ$  ที่ไม่เหมาะสม

#### (4) การปรับปรุงคุณภาพอากาศอัด (Treatment of Compressed air)

ตารางที่ 2-3.5 แสดงค่ามาตรฐานของคุณภาพอากาศอัด ตามมาตรฐาน ISO 8573 - 1

Class	Solid materials		Oil	Water	
	Particle Size	Particle density	Max. Oil content	Residual water	Pressure dew point
	µm	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	g/m <sup>3</sup>	°C
1	0.1	0.1	0.01	0.003	- 70
2	1	1	0.1	0.117	- 40
3	5	5	1	0.880	- 20
4	15	8	5	5.953	+ 3
5	40	10	25	7.732	+ 7
6	-	-	-	9.356	+10

คุณภาพอากาศอัดที่ดีต้องปราศจากสิ่งสกปรก น้ำ, น้ำมัน การปรับปรุงคุณภาพอากาศสูงเท่าใด ยิ่งต้องใช้พลังงานในมากยิ่งขึ้น มีวิธีการปรับปรุงคุณภาพอากาศได้ดังนี้

- After Cooler การระบายความร้อนเป็นวิธีหนึ่ง ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศอัดที่ต้นทุนต่ำ โดย สามารถ แยกน้ำออกได้ ประมาณ 70%
- Main Air Filter การกรอง สิ่งสกปรกที่ท่อเมนหรือท่อต้นทางก่อนนำอากาศอัดไปใช้
- Refrigerant Air dryer เครื่องดูดความชื้นของอากาศอัดโดยใช้ระบบทำความเย็น แยกน้ำได้ 96%
- Desiccant Air dryer เครื่องดูดความชื้นของอากาศอัดโดยใช้สารดูดความชื้น ข้อเสียคือทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเพิ่ม 15%-20% เปรียบเทียบกับปรุ้งแบบ After cooler

#### 2-3.4 เราสามารถอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศได้อย่างไร ?

การลดการสูญเสียในระบบอากาศอัดทำได้ทั้งแบบไม่มีการลงทุน ชั้นลงทุนเล็กน้อย และชั้นลงทุนสูงคือปรับปรุงระบบและเลือกใช้เครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง การใช้พลังงานจะขึ้นอยู่กับกำลังภาระทางกลที่ต้องการใช้งาน ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ประสิทธิภาพของการส่งกำลัง ประสิทธิภาพของมอเตอร์ รวมถึงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์(กรณีเครื่องอัดอากาศที่ควบคุมโดยอินเวอร์เตอร์) และชั่วโมงการใช้งาน ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{array}{c} \boxed{\text{พลังงานไฟฟ้าที่}} \\ \boxed{\text{เครื่องอัดอากาศ}} \\ \boxed{\text{ใช้}} \end{array} = \left[ \begin{array}{c} \boxed{\text{กำลังที่เพลาชั้บ}} \\ \boxed{\text{(kW)}} \quad \textcircled{1} \\ \hline \boxed{\text{ประสิทธิภาพ}} \\ \boxed{\text{การส่งผ่าน}} \\ \boxed{\text{กำลัง}} \\ \boxed{\text{Eff } \eta_t} \quad \textcircled{2} \\ \times \\ \boxed{\text{3.}} \\ \boxed{\text{ประสิทธิภาพ}} \\ \boxed{\text{มอเตอร์}} \\ \boxed{\text{Eff } \eta_m} \quad \textcircled{3} \\ \times \\ \boxed{\text{4.}} \\ \boxed{\text{ประสิทธิภาพ}} \\ \boxed{\text{อินเวอร์เตอร์}} \\ \boxed{\text{Eff } \eta_c} \quad \textcircled{4} \end{array} \right] \times \begin{array}{c} \boxed{\text{5. ชั่วโมงการ}} \\ \boxed{\text{ใช้งาน}} \\ \boxed{\text{(hr)}} \quad \textcircled{5} \end{array}$$

หมายเลข	แนวทางการประหยัดพลังงาน	มาตรการที่ดำเนินการ
1.	การลดกำลังทางกลหรือโหลดทางกลให้ต่ำที่สุด	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ</li> <li>2. การปรับปรุงท่อเมนส่งจ่ายอากาศอัด</li> <li>3. การลดแรงดันในการผลิตอากาศอัดที่เครื่องผลิต</li> <li>4. การลดการรั่วไหลของอากาศอัด</li> <li>5. การจัดโหลดเครื่องอัดอากาศ</li> <li>6. การใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงในระบบอัดอากาศ</li> <li>7. บำรุงรักษาชุดกรองและจุดกรองต่างๆ ในระบบอัดอากาศ</li> <li>8. การลดพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมของการใช้อากาศอัด</li> <li>9. ใช้ nozzle เซลล์ที่มีขนาดเล็กลง หรือเป็นชนิดประหยัดพลังงาน</li> <li>10. ใช้ชุดกรองที่มีความดันสูญเสียต่ำ</li> <li>11. การลดขนาดเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสม ไม่ใช้เครื่องอัดอากาศที่มีขนาดใหญ่เกินไป</li> <li>12. การปรับการเปิดวาล์วอากาศเข้าให้เหมาะสม</li> <li>13. การใช้เครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่แทนเครื่องขนาดเล็กหลาย ๆ เครื่อง</li> <li>14. การเลือกขนาดถังเก็บอากาศอัดที่เหมาะสม</li> </ol>
2	การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลัง	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การปรับตั้งสายพานส่งกำลัง</li> <li>2. การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง</li> <li>3. การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ</li> </ol>
3	การเพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การเลือกใช้เครื่องอัดอากาศที่ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง</li> </ol>
4	การเพิ่มประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การเลือกอินเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง</li> <li>2. การเลือกอินเวอร์เตอร์ที่เข้ากับเครื่อง</li> </ol>
5	การลดเวลาทำงานของเครื่องอัดอากาศ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การหยุดเครื่องอัดอากาศ</li> <li>2. การเลือกเครื่องอัดอากาศที่เหมาะสมกับโหลด</li> <li>3. การลดการเดินตัวเปล่าของเครื่องอัดอากาศ</li> </ol>

### (1) การลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

อุณหภูมิของอากาศที่ต่ำย่อมมีความหนาแน่นของอากาศมากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูง และเมื่ออัดเข้าไปแล้ว ย่อมได้เนื้ออากาศอัดที่มากกว่าเช่นกัน ปกติโรงงานจะติดตั้งเครื่องอัดอากาศเป็นศูนย์รวมหลายๆ ชุด หากมีการต่อท่อ ดักชำระระบายความร้อนทั้งออกนอกอาคารไม่เหมาะสมจะการระบายความร้อนของระบบอัดอากาศไม่ดีพอ ทางโรงงานควรพิจารณาในการปรับปรุงระบบระบายความร้อนเพื่อนำความร้อนออกนอกห้องเครื่องอัดอากาศ

#### ประโยชน์ของการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

1. การลดอุณหภูมิอากาศทุกๆ 3°C จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 1% ของกำลังการผลิต สมการที่ 2-3.6 ผลประหยัดพลังงานที่ได้จากการลดอุณหภูมิของอากาศขาเข้า

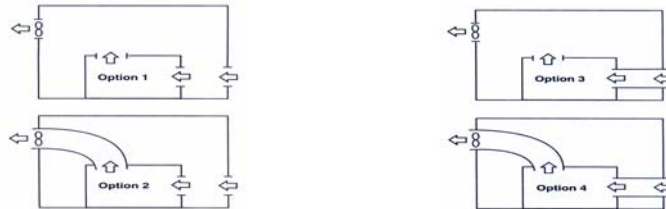
$$\Delta W_{isen} = \frac{ikR_w T_1 - T_2}{k-1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

$$p = \Delta W_{(kJ/kg)} * Da_{(kg/lite)} * FAD_{(kite/sec)} * \%L_{DU}$$

Da = ความหนาแน่นของอากาศที่ 15 °C เท่ากับ 1.225x10<sup>-3</sup> (kg / liter)

L<sub>DU</sub> = เปอร์เซนต์การ ON-LOAD ใน 1 รอบการทำงาน

- i = จำนวนขั้นตอนการอัด (Stage Compressor)
- K = 1.4 Isentropic of Air Constant
- T = อุณหภูมิปกติ 288 K (273 °K + 15°C)
- T<sub>1</sub> = อุณหภูมิก่อนการปรับปรุง                      T<sub>2</sub> = อุณหภูมิหลังการปรับปรุง
- R<sub>w</sub> = 0.2871 (kJ / kg.K) ค่าคงที่ของก๊าซสัมบูรณ์ที่ อุณหภูมิ 15°C ที่ระดับน้ำทะเล
- P<sub>1</sub> = ความดันที่ 1 บรรยากาศ (1.013 bar)              P<sub>2</sub> = แรงแดันอากาศอัดที่ผลิต



รูปที่ 2-3.20 ระบบการระบายความร้อนทิ้งจากห้องเครื่องอัดอากาศ



รูปที่ 2-3.21 การติดตั้งเครื่องอัดอากาศที่ไม่มีการทำความร้อนทิ้งออกห้อง



รูปที่ 2-3.22 การติดตั้งเครื่องอัดอากาศที่มีการทำความร้อนทิ้งออกห้อง

สภาวะการทำงานแบ่งเป็น 3 กรณีดังนี้

1. กรณีการทำงานของเครื่องอัดอากาศเป็นแบบ Load + Unload
2. และกรณีการทำงานของเครื่องอัดอากาศเป็นแบบ On + Off โหลด (เพื่อเพิ่มความแม่นยำ ควรจะหาคาบการทำงานมากกว่า 5 ครั้ง แล้วนำมาเฉลี่ย)



$$\%L_{DU} = \frac{T_{load} \times 100}{(T_{load} + T_{unload})} , \quad \frac{T_{load1} \times 100}{T_1}$$

L<sub>DU</sub> = Duty Cycle (1 รอบของการทำงาน)

3. กรณีการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบ Modulating (กลุ่ม Rotary Vane, Screw, Turbo) ที่ใช้หลักการหรือวาล์วนั้น การหาค่าเปอร์เซ็นต์โหลดทำได้ค่อนข้างยาก ทางโรงงานจึงต้องกำหนดเอง

สำหรับเครื่องอัดอากาศที่มีลักษณะการทำงานแบบ Modulating ที่ใช้หลักการหรือวาล์วนั้น การหาค่าเปอร์เซ็นต์โหลดทำได้ค่อนข้างยากลำบาก ถ้ามีการติดตั้ง Air Flow Meter ก็สามารถหาเปอร์เซ็นต์โหลด ถ้าโรงงานมีการติดตั้งเครื่องอัดอากาศแบบสกรูหรือลูกสูบที่ทำงานแบบ Load+Unload และแบบ On-Off Load ร่วมอยู่ในระบบด้วยก็จะง่าย

ขึ้น คือกำหนดให้เครื่องอัดอากาศที่ทำงานแบบ Modulating ทำงานที่ 100% แล้วให้แบบระบบอื่นเป็นตัวเสริมโหลดสามารถคำนวณผลประหยัดได้เช่นกัน

### ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งเครื่องอัดอากาศ 75 กิโลวัตต์ แบบสกรูทำงานแบบ Load+Unload ผลิตอากาศอัด 216.67 ลิตร/วินาที จากการตรวจวัดพบว่าทางโรงงานใช้แรงดันในการผลิตอากาศอัดอยู่ที่ 7.5 บาร์ ต่อโหลดที่ 6.5 บาร์ และเครื่องอัดอากาศจะทำงานช่วงโหลด 100 วินาที ช่วงไร้โหลด 20 วินาที ทำงาน 12 ชั่วโมง/วัน 300 วัน/ปี การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศจากเดิม 40°C เมื่อปรับปรุงลดอุณหภูมิในห้องลงเหลือ 35°C จะทำให้ลดพลังงานลงได้ Model/Type Air Compressor Screw Type 75 kW FAD = 216.67 at 7.5 บาร์ ทำงานเป็นแบบ Load + Unload ( $L_{DU} = (100/(100+20)) \times 100 = 83.33\%$ ) การคำนวณหาผลประหยัดที่ได้

ลำดับ	ข้อมูลจากการตรวจวัด	ตัวย่อ	50 HP	หน่วย
1	Air Inlet Temperature Before Improving	T <sub>1</sub>	40	°C
2	Air Inlet Temperature After Improving	T <sub>2</sub>	35	°C
3	Air Compressed Pressure Level	P <sub>2</sub>	7	bar
4	Air Inlet Absolute Pressure	P <sub>1</sub>	1.013	bar
5	Stage	l	1	
6	Isentropic of Air	k	1.4	
7	Gas Constant at T <sub>1</sub>	R <sub>w</sub>	0.2871	kJ / kg.K
8	Fraction of Onload status	L <sub>DU</sub>	87.50	%
9	Densities of Air	Da	1.225E-03	kg / litre
10	Free Air Delivery	FAD	98.83	l /sec
11	Energy Saving	DW	4.048	kJ / kg
12	Power Saving	P	0.43	kW
13	Operating Days per year	d	300	d/y
14	Operating Times per day	hr	24	h <sub>r</sub> /d
15	Energy Saving per year	E <sub>s</sub>	2,701.29	kWh/y
16	Energy Cost Saving per year	EC	8,455.03	B/y

\* Energy charge = 3.13 Baht/kWh

ตารางที่ 2-3.4 (1) การประมาณการผลประหยัดที่ได้จากการลดอุณหภูมิอากาศเข้าแบบง่าย ๆ กรณีรู้ภาระเฉลี่ย (LDU) และอุณหภูมิที่จะลดลงก็สามารถที่จะประมาณผลประหยัดได้ แล้วนำไปวิเคราะห์การลงทุน (การคำนวณใช้ 3,600 ชั่วโมงทำงานต่อปี แรงดัน 7 บาร์ ค่ากระแสไฟฟ้า 2.50 บาทต่อหน่วย)

ภาวะเฉลี่ย คอมเพรสเซอร์ (กิโลวัตต์)	อุณหภูมิของอากาศที่ลดลงทางด้านดูดเข้าเครื่อง (°C)							
	3°C		5°C		7°C		10°C	
	ประหยัด พลังงาน (กิโลวัตต์-ชม.)	ประหยัด เงิน (บาท)	ประหยัด พลังงาน (กิโลวัตต์-ชม.)	ประหยัด เงิน (บาท)	ประหยัด พลังงาน (กิโลวัตต์-ชม.)	ประหยัด เงิน (บาท)	ประหยัด พลังงาน (กิโลวัตต์-ชม.)	ประหยัด เงิน (บาท)
7.5	196	491	327	818	458	1,145	654	1,635
11	303	758	505	1,263	708	1,769	1,011	2,527
15	428	1,070	713	1,784	999	2,497	1,427	3,567
22	651	1,628	1,085	2,713	1,519	3,798	2,170	5,426
30	910	2,274	1,516	3,790	2,123	5,307	3,032	7,581
37	1,118	2,795	1,863	4,658	2,608	6,521	3,726	9,315
55	1,748	4,370	2,913	7,284	4,079	10,197	5,827	14,567
75	2,325	5,812	3,875	9,687	5,425	13,561	7,749	19,373
110	3,353	8,384	5,589	13,973	7,825	19,562	11,178	27,945

## (2) การปรับปรุงท่อเมนส่งจ่ายอากาศอัด

ผู้ออกแบบจะออกแบบระบบท่อเมนที่เหมาะสมกับเครื่องจักรในตอนนั้น แต่เมื่อเศรษฐกิจของโรงงานดีขึ้น มีการขยายเครื่องจักรเพิ่มขึ้น ความต้องการปริมาณอากาศอัดมากขึ้น ทางโรงงานก็มักแก้ปัญหาโดยซื้อเครื่องอัดอากาศเพิ่ม แต่ไม่ได้คำนึงถึงขนาดท่อเมนส่งจ่ายอากาศอัด ว่ามีความเหมาะสมหรือเพียงพอกับสภาวะการจ่ายอากาศอัดหรือไม่ สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดัน 1) แรงเสียดทานระหว่างอากาศกับผนังท่อ 2) การเปลี่ยนทิศทางการไหล 3) การเปลี่ยนความเร็วของอากาศอัด เนื่องจากการเพิ่มหรือลดขนาดท่อ

การปรับปรุงท่อเมนส่งจ่ายอากาศอัดนอกจากจะลดการสูญเสียความดัน แล้วยังสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ หากเราทำการปรับปรุงท่อเมนแล้ว ควรลดแรงดันที่เครื่องอัดอากาศลง เพราะการลดแรงดันในการผลิตอากาศอัดลง ทุกๆ 1 bar จะสามารถลดพลังงานลงได้ 7 - 11 % หรือ 2 psi จะสามารถลดพลังงานลงได้ 1%



รูปที่ 2-3.23 การเปลี่ยนทิศทางการไหล และการลดขนาดท่อเมนที่ทำให้เกิดการสูญเสียแรงดัน

### ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ปรับปรุงท่อส่งจ่ายอากาศอัดความยาวท่อ 100 เมตร ต้องการปริมาณอากาศอัด 217 ลิตร/วินาที ความดันใช้งาน 7 บาร์ เครื่องอัดอากาศ 75 กิโลวัตต์ ทำงาน 7,200 ชั่วโมง/ปี ใช้งาน 80% สามารถเปรียบเทียบการสูญเสียจากท่อหลายขนาดได้จากตาราง จะเห็นได้ว่าการสูญเสียความดันจะแตกต่างกัน จึงควรเลือกขนาดท่อเมนให้เหมาะสมกับการใช้งาน(อ้างอิง สมการที่ 2-3.4 ความดันลดเนื่องจากแรงเสียดทาน)

ข้อมูล		ปัจจุบัน	ตัวเลือกในการปรับปรุง			
1	ขนาดท่อ (in)	1,1/2	2.0	2,1/2	3.0	3,1/2
2	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ (mm) (ASTM)	40.94	52.48	62.68	77.92	90.12
3	ความยาวท่อเทียบเท่า (m)	100	100	100	100	100
4	ความต้องการปริมาณอากาศ ( $Q_{FAD} = l/s$ )	217	217	217	217	217
5	ความดันที่ใช้งาน (Pg bar)	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
6	ความดันตกในท่อ (bar (e)) [ $450 \times L \times Q^{1.85}$ ] / [ $D^5 \times (Pm)$ ]	1.03	0.30	0.12	0.04	0.02
7	ความดันที่ใช้งานลดลง (Pg bar)	5.97	6.70	6.88	6.96	6.98
8	คิดเป็นความดันสูญเสีย (%)	14.71	4.29	1.71	0.57	0.29
9	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูญเสียของกำลังการผลิต (%)	7.57	2.21	0.88	0.29	0.15
10	เครื่องใช้กำลังไฟในการอัด (kW)	75	75	75	75	75
11	ชั่วโมงใช้งาน (hr/y)	7200	7200	7200	7200	7200
12	เปอร์เซ็นต์ใช้งานเฉลี่ยการทำงาน (%)	80	80	80	80	80
13	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/y)	432,000	432,000	432,000	432,000	432,000
14	คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย (kWh/y)	32,705	9,526	3,810	1,270	635
15	คิดเป็นเงิน (บาท/ปี)	81,761	23,814	9,526	3,175	1,588

### (3) การลดแรงดันในการผลิตอากาศอัด

โรงงานมักจะเข้าใจผิดว่า การผลิตแรงดันอากาศอัดที่ความดันสูงๆ แล้วให้เครื่องหยุดพักในลักษณะแบบไร้อากาศ จะทำให้เครื่องได้หยุดพักและใช้พลังงานน้อยลง ซึ่งก็เป็นความจริง เครื่องอัดอากาศที่ทำงานในลักษณะไร้อากาศเป็นการที่มอเตอร์กินไฟแต่ไม่ได้จ่ายอากาศออกมา อุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดต่างๆ ไป มีความต้องการอากาศอัดที่ความดัน 4-5 บาร์เท่านั้น หากอุปกรณ์ใดมีการใช้อากาศอัดที่ความดันสูงกว่านี้จะถูกจัดไว้เป็นอุปกรณ์พิเศษ ควรจะแยกระบบออกไป หรือใช้บูสเตอร์เพรสเชอร์ (Pressure Booter) เพื่อเพิ่มแรงดันอากาศอัดเฉพาะเป็นจุดๆ ไม่ควรผลิตอากาศอัดที่แรงดันสูง เพื่อรองรับอุปกรณ์ที่ใช้ความดันพิเศษเพียงบางจุด

#### ประโยชน์ของการลดแรงดัน

1. ช่วยลดการใช้พลังงาน โดยทั่วไปการลดแรงดันในการผลิตอากาศอัดลง 1 bar จะลดการใช้พลังงาน ได้ 7.25% หรือลดแรงดันลงทุกๆ 2 psi ประหยัดพลังงานได้ 1% สำหรับสำหรับเครื่องอัดอากาศทั่วไป
2. ช่วยลดการสูญเสียเนื่องจากการรั่วไหล เนื่องจากแรงดันอากาศอัดที่สูง ย่อมรั่วไหลในปริมาณที่สูง
3. ช่วยลดการใช้อุปกรณ์ปรับลดแรงดันก่อนการใช้งาน กรณีแรงดันสูงกว่าความต้องการ
4. เมื่อลดแรงดันในการผลิตส่งผลให้เครื่องอัดอากาศสามารถผลิตอากาศอัดได้มากขึ้น

#### ขั้นตอนการลดแรงดันในการผลิต

1. ตรวจสอบการใช้แรงดันอากาศอัดทุกๆ จุดที่มักเกิดปัญหาเมื่อแรงดันตก เพื่อทำการแก้ไข
2. ตรวจสอบความต้องการแรงดันอากาศอัดของเครื่องจักร ว่าต้องการแรงดันสูงสุดเท่าไร ก่อนการปรับลดแรงดันเพื่อมิให้มีผลกระทบต่อการผลิต
3. ตรวจสอบรอยรั่วไหลของอากาศอัด แล้วทำการซ่อมรอยรั่วเสีย เพื่อลดปัญหาแรงดันตก

4. การปรับลดแรงดันควรเป็นแบบลักษณะค่อย ๆ ลด เช่น ลดจาก 7.5 บาร์ มาที่ 7 บาร์ โดยพยายามลดลงคราวละประมาณ 0.5 บาร์ หรือน้อยกว่านี้ถ้าเครื่องสามารถปรับได้

สมการที่ 2-3.7 ผลประหยัดที่ได้จากการลดความดันในการผลิตอากาศอัด

$$\Delta W_{isen} = \frac{i k R_W T}{k - 1} \left[ \frac{\left( \frac{P_{21}}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{i * k}} - \left( \frac{P_{22}}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{i * k}}}{\left( \frac{P_1}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{i * k}}} \right]$$

$$W_{isen} = \frac{i k R_W T}{k - 1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{i * k}} - 1 \right]$$

$$P = \Delta W_{(kJ/kg)} * Da_{(kg/lite)} * FAD_{(lite/sec)} * \%L_{DU}$$

- Da = ความหนาแน่นของอากาศที่ 15 °C เท่ากับ 1.225x10<sup>-3</sup> (kg / liter)
- L<sub>DU</sub> = เปอร์เซ็นต์การ ON-LOAD ใน 1 รอบการทำงาน
- i = จำนวนขั้นตอนการอัด (Stage Compressor)
- K = 1.4 Isentropic of Air Constant
- T = อุณหภูมิปกติ 288 K (273 °K + 15°C)
- T<sub>1</sub> = อุณหภูมิก่อนการปรับปรุง (°K)      T<sub>2</sub> = อุณหภูมิหลังการปรับปรุง (°K)
- R<sub>w</sub> = 0.2871 (kJ / kg.K) ค่าคงที่ของก๊าซสัมบูรณ์ที่ อุณหภูมิ 15°C ที่ระดับน้ำทะเล
- P<sub>1</sub> = ความดันที่ 1 บรรยากาศ (1.013 bar)      P<sub>2</sub> = แรงดันอากาศอัดที่ผลิต
- P<sub>21</sub> = แรงดันอากาศอัดที่ก่อนการปรับปรุง      P<sub>22</sub> = แรงดันอากาศอัดที่จะปรับปรุง

**ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ**

โรงงาน ECON ติดตั้งเครื่องอัดอากาศ 60 HP แบบโรตารีสกรู ความสามารถในการอัดอากาศ 104.44 ลิตร/วินาที ที่แรงดัน 9 บาร์ ทำงานช่วงโหลดเฉลี่ย 90% ทำงาน 300 วันต่อปี (24 ชั่วโมงต่อวัน) เดิมโรงงานใช้อากาศอัดอยู่ที่ 5 บาร์ โดยทุกจุดที่ใช้งานจะติดตั้งตัวปรับลดแรงดันจาก 9 บาร์ มาที่ 5 บาร์ หากโรงงานปรับแรงดันมาที่ 6 บาร์ จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้เท่าไร คิดเป็นเงินเท่าไรต่อปี หรือประมาณกี่เปอร์เซ็นต์

ลำดับ	ข้อมูลจากการตรวจวัด	ตัวย่อ				หน่วย
1	Absolute Pressure Befor Improving	P <sub>11</sub>	8.5	0	8.5	bar
2	Absolute Pressure After Improving	P <sub>12</sub>	0	7.5	7.5	bar
3	Air Inlet Absolute Pressure	P <sub>2</sub>	1.013	1.013	1.013	bar
4	Stage	l	1	1	1	
5	Isentropic of Air	k	1.4	1.4	1.4	
6	Temperature	T	313.15	313.15	313.15	K
7	Gas Constant	R <sub>w</sub>	0.2871	0.2871	0.2871	kJ / kg.K

ลำดับ	ข้อมูลจากการตรวจวัด	ตัวย่อ				หน่วย
8	Fraction of Onload status	L <sub>DU</sub>	90.24	90.24	90.24	%
9	Densities of Air	Da	1.225E-03	1.225E-03	1.225E-03	kg / litre
10	Free Air Delivery	FAD	91.51	91.51	91.51	l / sec
11	Energy Saving	DW	282.05	263.41	18.64	kJ / kg
12	Power Saving		28.53	26.65	1.89	kW
13	Operating Days	O <sub>Work</sub>	300	300	300	d/yy
	Operating Times		12	12	12	hr/d
14	Energy Consumption : Energy Saving	EC : ES	102,715	95,927	6,788	kWh/y
16	Cost Saving	EC			23,756	B/y

#### (4) การลดการรั่วไหลของอากาศอัด

หากทดสอบการรั่วไหลแล้วอัตราการรั่วเกินกว่า 5% โรงงานควรดำเนินการแก้ไขโดยด่วน ประโยชน์ของการลดการรั่วไหลของอากาศอัด 1) ลดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ 2) ลดปัญหาแรงดันอากาศตก 3) ลดการใช้งานของเครื่องอัดอากาศ 4) ลดต้นทุนการใช้พลังงานในส่วนของระบบอัดอากาศ ตำแหน่งการรั่วไหลที่มักพบบ่อยๆ เช่น วาล์ว, หน้าแปลน, ข้อต่อท่อต่างๆ, จุดต่อเข้าเครื่องจักร, หัวต่อสาย และตำแหน่งที่รั่วมักจะรั่วซ้ำๆ จุดเดิมอาจเนื่องมาจากการยึดท่อที่ไม่แข็งแรง หรือบริเวณใช้งานมีการเคลื่อนไหวหรือ การต่อสายท่ออ่อนไม่ถูกต้อง เป็นต้น การรั่วมีอยู่ 2 ลักษณะ คือการรั่วตรง และการรั่วซึม ส่วนมากจะเป็นรั่วซึมมากกว่า เพราะการรั่วซึม สังเกตได้ยาก เสียงเบา ส่วนการรั่วตรงส่วนใหญ่จะพบที่จุดควบคุมนิวเมตริก เช่น การรั่วไหลของวาล์วคอนโทรล หรือชุดปรับลดแรงดันก่อนเข้าอุปกรณ์

#### วิธีการตรวจสอบปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดทั้งระบบ ขณะไม่มีโหลด (No-Load Testing)

การทดสอบหาปริมาณอากาศอัดที่รั่วไหลทำได้โดยอาศัยอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบ ซึ่งไม่ต้องมีการลงทุนเพิ่มเติม แต่ต้องปิดโหลดทุกชนิดของระบบอัดอากาศที่จะทำการทดสอบ วิธีการทดสอบดังกล่าวมีอยู่ 2 กรณี ดังนี้

**วิธีที่ 1 การทดสอบเครื่องอัดอากาศที่ทำงานแบบ ON/OFF Load** ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กจำพวกลูกสูบ แต่ถ้าเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่ที่มีลักษณะการทำงานแบบนี้ ก็ใช้วิธีเดียวกัน

สมการที่ 2-3.8 คำนวณห้อัตราการรั่วไหลของอากาศอัด (Q<sub>leak</sub>)

$$Q_{leak} = Q \times \frac{T_{av}}{T_{av} + t_{av}}$$

เมื่อ Q<sub>Leak</sub> = อัตราการรั่วไหลของระบบ (l/sec)

Q = อัตราการผลิตที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้ (l/sec : FAD)

T<sub>av</sub> = เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศเริ่มทำงาน (sec)    t<sub>av</sub> = เวลาเฉลี่ยที่หยุดทำงาน (sec)

#### วิธีการทดสอบ

1. ปิดอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดในระบบทุกตัว (ปิดเครื่องจักรแต่ให้เปิดวาล์วไว้)
2. เริ่มเดินเครื่องอัดอากาศ พร้อมกับจับเวลา (T<sub>on</sub>) เครื่องอัดอากาศจะหยุดทำงานเมื่อถึงความดันที่ตั้งไว้ ทำการบันทึกเวลา ช่วงระยะเวลา หลังจากนี้อากาศที่อัดจะรั่วออกตามรอยรั่วต่างๆ ให้จับเวลาที่เครื่องหยุด (t<sub>off</sub>)
3. เมื่อความดันลดลงเครื่องอัดอากาศทำงานใหม่ให้ทำการบันทึกเวลาอีก ดำเนินการเช่นนี้ประมาณ 3-5 ครั้ง เพื่อความแม่นยำ แล้วนำมาวิเคราะห์ผล
4. นำค่าเวลาที่ได้(ตารางที่ 2-3.4 (2)) ไปแทนในสมการ เพื่อคำนวณห้อัตราการรั่วไหลของอากาศ

## ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งเครื่องอัดอากาศ 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  $(11\text{kW}/20.48\text{L/s} = 0.537 \text{ kW//sec})$  เวลาทำงาน 3,600 ชั่วโมง/ปี

จากสมการที่ 2-3.8

$$Q_{leak} = 20.48 \times \frac{45}{45 + 120} \text{ l/sec} = 5.59 \text{ l/sec}$$

$$\text{คิดเป็นพลังไฟฟ้า} = 5.59 \times 0.537 \text{ (l/sec) } \times \text{(kW//sec)} = 3.00 \text{ kW}$$

$$\text{คิดเป็นพลังงานไฟฟ้า} = 3.00 \times 3,600 = 10,800 \text{ kWh/y}$$

จะเห็นได้ว่าในขณะที่เราทำการผลิตอากาศอัด จะมีการรั่วไหลแฝงอยู่ประมาณ 3 กิโลวัตต์ หรือ 27.27% ซึ่งเป็นการสูญเสียมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นทางโรงงานจะต้องรีบดำเนินการอุดรอยรั่วโดยด่วน

**วิธีที่ 2 การทดสอบเครื่องอัดอากาศแบบ Load + Unload** ทั่วไปไม่เหมาะกับเครื่องที่ทำงานแบบ Modulate เพราะการหวั่นไหวทำให้เราหาค่าการผลิตอากาศอัดได้ยาก เครื่องอัดอากาศบางยี่ห้อหรือวาล์วแทบจะไม่ผลิตอากาศอัดออกมา แต่เครื่องอัดอากาศยังต้องใช้พลังงานมากถึง 70% ของพิกัดเครื่อง (เครื่องอัดอากาศแบบนี้ไม่ควรอย่างยิ่งที่จะนำมาทำงานในลักษณะ Load + Unload)

สมการที่ 2-3.9 คำนวณหาอัตราการรั่วไหลของอากาศอัด ( $Q_{leak}$ , liter/sec)

$$Q_{leak} = V \times \frac{[P_1 - P_2]}{T_{av}}$$

เมื่อ  $V$  = ปริมาตรทั้งหมดของถังพัก ท่อส่ง และวาล์ว (liter)

$P_1$  = ความดันสุดท้ายหรือแรงดันตัดโหลด (bar)       $P_2$  = ความดันเริ่มต้น (bar)

$T_{av}$  = เวลาเฉลี่ยจาก  $P_1$  และ  $P_2$  (sec)

$Q_{leak}$  = อัตราการรั่วไหลของระบบ (l/sec)

### 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

ตารางที่ 2-3.4 (2) การบันทึกสภาวะการทำงานของเครื่องแบบ (Load + Unload)

(\*สามารถดูรูปกราฟสภาวะการทำงาน Load + Unload ได้จากมาตรการลดอุณหภูมิ)

ครั้งที่	เวลา ณ ความดัน P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> = บาร์	เวลา ณ ความดัน P <sub>2</sub> P <sub>2</sub> = บาร์	T (วินาที)
1	T <sub>11</sub> .....	T <sub>12</sub> .....	T <sub>1</sub> = T <sub>12</sub> - T <sub>11</sub> .....
2	T <sub>21</sub> .....	T <sub>22</sub> .....	T <sub>2</sub> = T <sub>22</sub> - T <sub>21</sub> .....
3	T <sub>31</sub> .....	T <sub>32</sub> .....	T <sub>3</sub> = T <sub>32</sub> - T <sub>31</sub> .....
4	T <sub>41</sub> .....	T <sub>42</sub> .....	T <sub>4</sub> = T <sub>42</sub> - T <sub>41</sub> .....
5	T <sub>51</sub> .....	T <sub>52</sub> .....	T <sub>5</sub> = T <sub>52</sub> - T <sub>51</sub> .....
	ค่าเฉลี่ย		T <sub>avg</sub> = T <sub>1</sub> +... T <sub>5</sub> .....

### ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งเครื่องอัดอากาศ 100/75 HP/kW กำลังการผลิตอากาศอัด 243 ลิตร/วินาที (ที่ความดัน 7.5 บาร์) จากการสำรวจถังเก็บอากาศและท่อส่งจ่ายอากาศอัดมีความจุรวม 4500 ลิตร ความดันสุดท้าย (P<sub>1</sub>) = 7.5 บาร์ และความดันเริ่มต้น(P<sub>2</sub>) = 6.5 บาร์ เวลาเฉลี่ยจาก P<sub>1</sub> - P<sub>2</sub> (T<sub>av</sub>) เท่ากับ(Tavg) 150 วินาที ค่าพลังงานต่อการผลิตอากาศอัด (75 กิโลวัตต์ / 243 ลิตร/วินาที) = 0.31 kW / L/sec เวลาทำงาน 7,200 ชั่วโมง/ปี

จากสมการที่ 2-3.9

$$Q_{leak} = 4500 \times \frac{[7.5 - 6.5]}{150} \text{ l/sec} = 30 \text{ l/sec}$$

$$\text{คิดเป็นค่าพลังไฟฟ้า} = 30 \times 0.31 \text{ (l/sec)} \times \text{(kW/l/sec)} = 9.3 \text{ kW}$$

$$\text{คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า} = 9.3 \times 7200 = 66,960 \text{ kWh/y}$$

จะเห็นว่าในขณะที่ผลิตอากาศอัดเข้าไปในระบบจะมีการรั่วไหลของอากาศแฝง 9 กิโลวัตต์ หรือ 12.4%

ต่อไปก็เป็นการคิดการรั่วไหลของอากาศอัดเฉพาะจุด ซึ่งวิธีนี้ก็เหมาะสำหรับโรงงานที่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ไม่มีวันหยุด โดยต้องเดินตรวจสอบรอยรั่วไหลทั้งหมด และนำมาวิเคราะห์

สมการที่ 2-3.10 สำหรับการคิดการรั่วไหลของอากาศอัดเฉพาะจุด

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

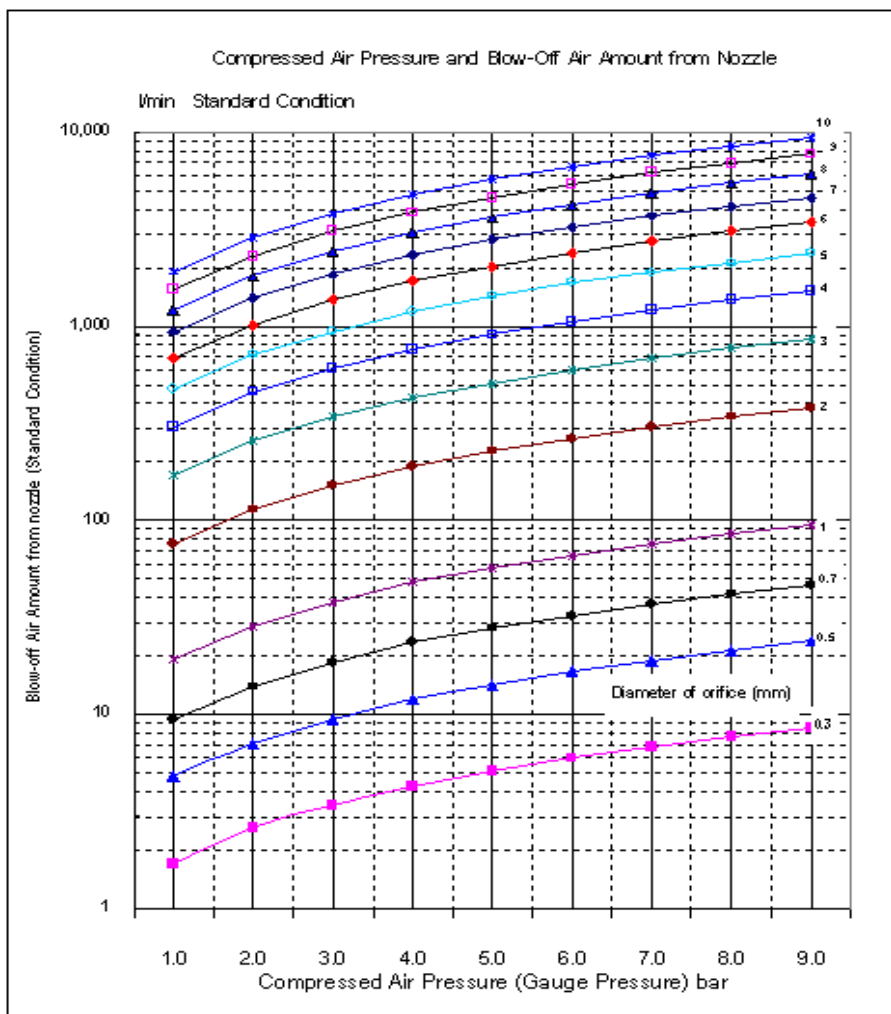
0.158 = เป็นค่าที่ได้มาจากการแทนค่าในสมการมาตรฐานตาม( ISO 1217-1986 Annex E ) (กำหนดค่า Discharge Coefficient ที่ 0.97)

$$d = \text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูรั่ว (mm)}$$

$$P_g = \text{ค่าแรงดันเกจ ณ จุดรั่วไหล (bar)} \quad P_o = \text{ความดันสัมบูรณ์ (1.013 bar)}$$

ข้อควรระวัง คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่รั่ว (d) และแรงดันอากาศอัด ณ ตำแหน่งที่รั่ว (P<sub>g</sub>) เนื่องจากแรงดันจุดใช้งานไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับอุปกรณ์นั้นๆ จึงต้องแยกการคำนวณการรั่วไหลออกแต่ละจุด เพื่อให้ง่ายต่อการหาปริมาณการรั่วไหลสามารถใช้ตารางตรวจสอบหากรูรั่วและแรงดันที่รั่ว (ตารางที่2-3.4 (3))

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



รูปที่ 2-3.24 กราฟแสดงการรั่วไหลเมื่อทราบค่าความดันของอากาศอัด



รูปที่ 2-3.25 การรื้อไหลที่ข้อต่อท่อเมน (มีน้ำมันซึมออกมา) และรื้อซิม (รอยทางมด)



รูปที่ 2-3.26 การรื้อไหลที่อุปกรณ์ควบคุม ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

#### (5) ปรับปรุงถึงเก็บอากาศอัด (ถังเล็ก) เพื่อการประหยัดพลังงาน

ในที่นี้จะพูดถึงกรณีถึงเก็บอากาศเล็ก ถึงขนาดความจุมาก ๆ ไม่มีข้อเสียเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานแต่มีข้อเสียในเรื่องการลงทุน หากเราเลือกขนาดของถังที่เหมาะสมกับโหลดแล้วจะประหยัดพลังงานลงได้และชะลอการซื้อเครื่องอัดอากาศ ประโยชน์ของถังเก็บอากาศอัด 1) เก็บอากาศอัดและลดการกระเพื่อมของแรงดันอากาศอัดจากคอมเพรสเซอร์ 2) สามารถชดเชยความต้องการของโหลดในลักษณะ Peak Load ได้ 3) ช่วยลดการตัดต่อของคอมเพรสเซอร์ที่บ่อยเกินไป 4) ช่วยระบายความร้อนของอากาศอัด และเป็นจุดกักตัวของน้ำและน้ำมัน

#### ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

ตัวอย่างที่ 1 โรงงาน ECON ติดตั้งเครื่องอัดอากาศ 100 HP แบบสกรู กำลังการผลิตอากาศอัด 13 ลูกบาศก์เมตร/นาที ที่ความดันในการผลิต 7 บาร์ ขนาดถังเก็บอากาศควรจะมีขนาดเท่าใด เพื่อรองรับความต้องการของโหลดที่เปลี่ยนแปลง (จากสมการที่ 2-3.1)

$$\text{ขนาดความจุของถังที่ } V_R = \frac{3 \times 13 \times 1.013 \text{ m}^3}{7 + 1.013} = 5 \text{ m}^3$$

นอกจากนั้น เรายังสามารถหาความสัมพันธ์ของ เวลา และความดันที่ลดลงได้ดังนี้

สมการที่ 2-3.11 ความสัมพันธ์ของถึงเก็บอากาศและเวลาทำงานของเครื่องอัดอากาศ

$$V_R = \frac{P_o \times (V_d - C_o) \times t}{(P_1 - P_2)}$$

$$t = \frac{V_R \times (P_1 - P_2)}{P_o \times (V_d - C_o)} \quad \text{min}$$

$V_d$  = ปริมาณความต้องการของอากาศอัดในระบบเป็น  $\text{m}^3/\text{min}$

$t$  = เวลาหน่วยเป็นนาที (min)

$P_1$  = แรงดันอากาศตัดโหลด (Unload) bar  $P_2$  = แรงดันอากาศต่อโหลด (Load) bar

ตัวอย่างที่ 2 จากตัวอย่างที่ 1 ถ้าความต้องการอากาศอัดในระบบช่วงเพิ่มขึ้นเป็น 16 ลูกบาศก์เมตร/นาที โดยที่กำหนดความดันในระบบลดลงได้ไม่ต่ำกว่า 6 บาร์ ถึงเก็บอากาศใบนี้จะรับโหลดได้นานกี่นาที

ข้อมูล

$$\begin{array}{llll} V_R & = & 5 & \text{m}^3 \\ P_1 & = & 7 & \text{bar} \\ P_2 & = & 6 & \text{bar} \end{array} \qquad \begin{array}{llll} P_o & = & 1.013 & \text{bar} \\ C_o & = & 13 & \text{m}^3/\text{min} \\ V_d & = & 16 & \text{m}^3/\text{min} \end{array}$$

แทนค่า

$$t = \frac{5 \times (7 - 6)}{1.013 \times (16 - 13)} = 1.65 \text{ นาที หรือ } 99 \text{ วินาที}$$

\*ถึงเก็บอากาศอัดใบนี้สามารถรับโหลดที่เพิ่มขึ้นอีก 3 m<sup>3</sup>/min ได้นาน 1.65 นาที

ตัวอย่างที่ 3 จากตัวอย่างที่ 2 สมมุติปริมาณความต้องการอากาศอัดสม่ำเสมอ 10 ลูกบาศก์เมตร/นาที และยอมให้ความดันลดลงต้องไม่ต่ำกว่า 6 บาร์ เครื่องอัดอากาศทำงานช่วง Load – Unload อย่างไร

$$\begin{array}{llll} \text{เวลาในช่วง} & t_{\text{Unload}} & = \frac{5 \times (7 - 6) \times 60}{1.013 \times (10 - 0)} & = 29.62 \text{ sec (23.08\%)} \\ \text{เวลาในช่วง} & t_{\text{load}} & = \frac{5 \times (6 - 7) \times 60}{1.013 \times (10 - 13)} & = 98.72 \text{ sec (76.92 \%)} \end{array}$$

จะพบว่าเครื่องอัดอากาศทำงานในสภาวะที่พอใช้คือ มีช่วง Unload ที่ต่ำ (23.08%) แต่หากมีความต้องการปริมาณอากาศอัดช่วงขณะเพิ่มเข้ามากจะทำให้เปอร์เซ็นต์ช่วง Unload ต่ำกว่านี้อีก และดีที่สุดสำหรับเปอร์เซ็นต์ Unload ควรจะอยู่ที่ 10-15 วินาทีของการผลิตสะสม หรือไม่มีช่วงไร้โหลดเลยจะดีที่สุด

ตัวอย่างที่ 4 เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ใช้ถังเก็บอากาศอัดกับระบบที่ไม่มีถังเก็บอากาศ เครื่องอัดอากาศ 55 กิโลวัตต์ กำลังผลิตอากาศอัด 8.47 ลูกบาศก์เมตร/นาที ความดันที่ผลิต 7 บาร์ และต่อโหลดที่ 6 บาร์ ปริมาณอากาศอัดที่ต้องการ 6 ลูกบาศก์เมตร/นาที ใช้งาน 24x300 ชั่วโมง/ปี ลักษณะการใช้งานของอากาศอัดไม่สม่ำเสมอควรเลือกขนาดถังเก็บอากาศ 3 ลูกบาศก์เมตร สามารถคำนวณเวลาการทำงานของเครื่องได้ดังนี้ (โดยค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย 2.5 B/kWh ค่าพลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศสภาวะไร้โหลด 30% ของพิกัด)

$$\begin{array}{ll} \text{เวลาในการตัดโหลด} & = \frac{\text{ขนาดถังเก็บอากาศ} \times (\text{ความดันตัด โหลด} - \text{ความดันต่อ โหลด})}{\text{ความดันบรรยากาศ} \times \text{ปริมาณอากาศอัดที่ต้องการ}} \\ & = 3 \times (7-6) / (1.013 \times 6) \text{ min} = 0.49 \text{ min หรือ } 29 \text{ sec} \\ \text{เวลาในการต่อโหลด} & = \frac{\text{ขนาดถังเก็บอากาศ} \times (\text{ความดันต่อ โหลด} - \text{ความดันตัด โหลด})}{\text{ความดันบรรยากาศ} \times (\text{ปริมาณอากาศอัดที่ต้องการ} - \text{กำลังผลิต})} \\ & = 3 \times (6-7) / (1.013 \times (6 - 8.47)) \text{ min} = 1.20 \text{ min หรือ } 72 \text{ sec} \end{array}$$

เวลารวมในการตัดและต่อโหลด (29 + 72 =101) sec

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในช่วงของการมีภาระโหลด  $72/101 \times 100 = 71.29$  เปอร์เซ็นต์

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในช่วงของการมีไร้ภาระโหลด  $29/101 \times 100 = 28.71$  เปอร์เซ็นต์

กรณีไม่มีการติดตั้งถังเก็บอากาศ

$$\begin{array}{ll} \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} & = \text{พลังไฟฟ้า} \times \text{ชั่วโมงทำงาน/วัน} \times \text{วันทำงาน/ปี} \quad \text{kWh/y} \\ & = 55 \times 24 \times 300 = 396,000 \quad \text{kWh/y} \end{array}$$

กรณีมีการติดตั้งถังเก็บอากาศ

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} = \text{พลังไฟฟ้าเฉลี่ย} \times \text{ชั่วโมงทำงาน/วัน} \times \text{วันทำงาน/ปี} \quad \text{kWh/y}$$

$$= ((55 \times 71.29\%) + (55 \times 30\% \times 28.71\%)) \times 24 \times 300 \text{ kWh/y}$$

$$= 316,415.88 \text{ kWh/y}$$

คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้ =  $396,000 - 316,415.88 = 79,584.12 \text{ kWh/y}$

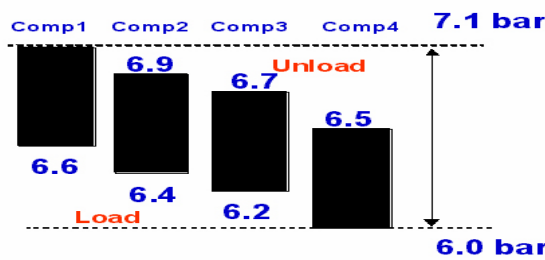
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ =  $79,584.12 \times 2.5 = 198,960.3 \text{ B/y}$

สำหรับการปรับปรุงถึงเก็บอากาศอัด จากตัวอย่างที่ผ่านมาจะเห็นได้อย่างชัดเจน เช่น ตัวอย่างที่ 2 หากในระบบมีความต้องการปริมาณอากาศอัดมากกว่ากำลังการผลิตของเครื่องในบางช่วงขณะ ถึงเก็บอากาศจะสามารถชดเชยแทนได้ หมายความว่าเราไม่จำเป็นต้องเพิ่มเครื่องอัดอากาศในช่วงความต้องการ

### (6) การจัดโหลดเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการ

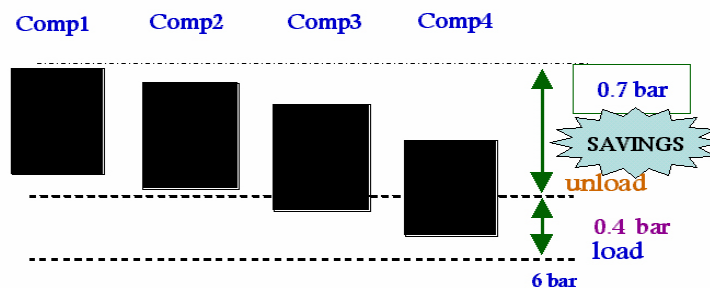
คือการวางแผนการใช้เครื่องอัดอากาศ มีประโยชน์ คือ 1) เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องให้เหมาะสมกับความต้องการ 2) เพื่อการประหยัดพลังงานโดยการเลือกเครื่องมาใช้งานตามความเหมาะสม 3) ลดปัญหาการเดินตัวเปล่าของเครื่องอัดอากาศ และการเดินเครื่องซ้ำซ้อน 4) เพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- ควรให้เครื่องที่มีกำลังการผลิตมากกว่า เป็นตัวหลักในการทำงานและเครื่องขนาดรองลงเป็นตัวเสริมโหลด
- เลือกเดินเครื่องที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเป็นตัวหลัก เพราะจะใช้พลังงานน้อยกว่า
- ใช้เครื่องควบคุมอัตโนมัติควบคุมการทำงานเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการจัดการโหลด
- ควรทราบปริมาณอากาศอัดในแต่ละช่วงเวลาเพื่อการวางแผนการเดินเครื่อง เช่น ในช่วงเวลากลางคืนความต้องการปริมาณอากาศอาจลดลง ควรเลือกเดินเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมโหลดตามช่วงเวลา



รูปที่ 2-3-27 การจัดโหลดเครื่องอัดอากาศโดยการตั้งค่าช่วงแรงดันตัดต่อโหลด

จากรูปที่ 2-3-27 จะเห็นได้ว่าการปรับตั้งแรงดันในการทำงานของเครื่องอัดอากาศจะเป็นลักษณะตัวต่อตัว และช่วงการตัดต่อของเครื่องอากาศจะกว้าง (ช่วงแรงดันจะกว้าง) การปรับตั้งค่าแรงดันแบบนี้มีความเหมาะสมอยู่บ้างหากเครื่องอัดอากาศในระบบมีหลากหลายยี่ห้อหรือรวมกัน ซึ่งมันก็เป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยาก โรงงานบางแห่งที่มีเครื่องอัดอากาศต่อรวมอยู่ในระบบหลายชุด แยกตามพื้นที่ต่างๆ พื้นที่ก็จะปรับตั้งแรงดันตัดต่อโหลดเท่า เครื่องอัดอากาศก็จะทำงานพร้อมกันแล้วก็หยุดพร้อมกัน ซึ่งจะเกิดปัญหาการเดินตัวเปล่าเป็นอย่างมาก

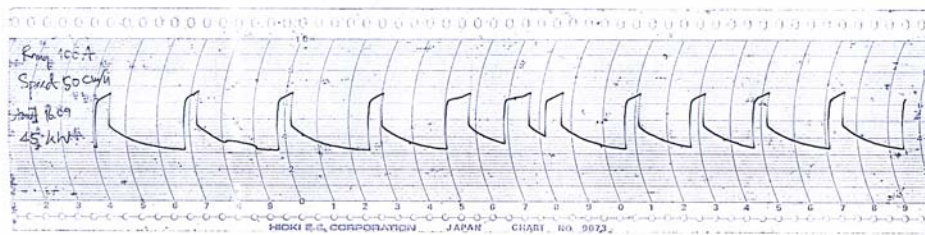


รูปที่ 2-3-28 การปรับตั้งแรงดันตัดต่อโดยใช้ชุดควบคุมอัตโนมัติ

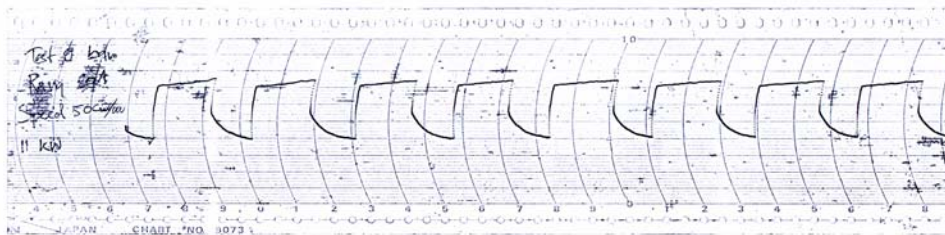
จากรูปที่ 2-3.28 การจัดโหลดเครื่องอัดอากาศโดยใช้ชุดควบคุมแบบอัตโนมัติ การจัดโหลดแบบนี้จะช่วยควบคุมช่วงความกว้างของแรงดันได้ละเอียดมากขึ้น จากรูปจะเห็นได้ว่าหากเราใช้ชุดควบคุมแบบนี้แล้ว เราสามารถที่จะลดแรงดันในการผลิตอากาศลงได้ประมาณ 0.7 บาร์ เทียบกับรูปที่ 2-3.4 (8) ระบบนี้ค่อนข้างสมบูรณ์

**ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ**

โรงงาน ECON ติดตั้งเครื่องอัดอากาศไว้ 2 ชุด ขนาด 15 HP (ติดตั้งก่อน) และ 60 HP (ติดตั้งเพิ่มทีหลัง) โดยทางโรงงานจะเลือกเดินเครื่องอัดอากาศขนาด 60 HP เป็นตัวหลัก (เดินตัวใหญ่ไว้ก่อนรับรองลมไม่ตก) ส่วนเครื่องอัดอากาศขนาด 15 HP นั้นทางโรงงานไว้เป็นตัวสำรอง เมื่อหยุดซ่อมบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศตัวใหญ่ (นำแปลนใจ เมื่อหยุดตัวใหญ่ทำไม่ตัวเล็กก็เดินแทนได้) โดยการตรวจวัดความต้องการปริมาณอากาศอัดของทางโรงงานทั้งระบบ ในสภาพก่อนการปรับปรุง มีความต้องการปริมาณอากาศอัดอยู่ที่ 19.30 ลิตร/วินาที ที่ความดัน 9 บาร์ หรือ 17.81% ของพิกัดการผลิตเครื่องขนาด 60 HP



จากข้อมูลก่อนการปรับปรุง สภาวะการทำงานของเครื่องอัดอากาศ 60 HP พบว่าเครื่องเดินในสภาวะไร้อัดมากกว่าสภาวะมีโหลด หลังปรับปรุงโรงงานได้พิจารณาเดินเครื่องอัดอากาศ 15 HP แทนเครื่องอัดอากาศ 60 HP



เครื่องอัดอากาศขนาด 15 HP กำลังการผลิตอากาศ 28.33 ลิตร/วินาที ที่แรงดัน 9 บาร์ หรือคิดเป็นความต้องการปริมาณอากาศอัดประมาณ 68.11% ของพิกัดเครื่องอัดอากาศขนาด 15 HP การจัดโหลดดังกล่าวจะสามารถทำให้ทางโรงงานมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานลงได้ประมาณ 69,322 หน่วย/ปี คิดเป็นเงิน 187,115 บาท/ปี

ข้อมูลหลังการปรับปรุงสภาวะการทำงานของเครื่องอัดอากาศ 15 HP หลังการปรับปรุง

Model/Type Air Compressor Screw Type 45 kW (No.1) and 11 kW (No.2)

$$\text{Energy Consumption} = [(P_L \times \% \text{Load}) + (P_{UL} \times \% \text{Unload}) \times \text{hr/year}] \quad (\text{kWh/year})$$

$$= \text{Power Average} \times \text{hr/year} \quad (\text{kWh/year})$$

ลำดับ	ข้อมูลจากการตรวจวัด	ตัวย่อ	Comp.1	Comp.2	หน่วย
1	Load (Power)	$P_L$	30.77	10.91	kW
2	Unload (Power)	$P_{UL}$	15.32	3.29	kW
3	Load (Time)	$T_L$	32	121	Sec
4	Unload (Time)	$T_{UL}$	146	57	Sec
5	Dutycycle (Time)	$T_{Du}$	178	178	Sec
6	Load Fraction (Load/Dutycycle)	$L_{Du}$	17.98	67.98	%
7	Unload Fraction (UnLoad/Dutycycle)	$UL_{Du}$	82.02	32.02	%
8	Power Average	$P_{Avg}$	18.10	8.47	kW
9	Operating Days	$O_{Work}$	300	300	d/y
10	Operating Times		24	24	hr/d
11	Energy Consumption	$E_{Sum}$	130,306	60,984	kWh/y
12	Energy Cost	EC	325,765	152,460	B/y
13	Energy Saving (EComp1 – EComp2) ESave			69,322	kWh/y
				173,305	B/y

\* Energy charge = 2.50 B/kWh

### (7) การลดพฤติกรรมการใช้อากาศอัดที่ไม่เหมาะสม

**ประการที่ 1.** การนำเอาอากาศอัดไปใช้ในการเป่าทำความสะอาดพื้น เราสามารถคำนวณหาความสูญเสียได้จากสมการการรั่วไหลทั่วไป เช่น รูปที่ 2-3.29 พนักงานนำอากาศอัดไปเป่าทำความสะอาดฝุ่น ก่อนส่งกะ และเป่าทำความสะอาดทั่วไป ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่ใช้เป่าประมาณ 12 มิลลิเมตร ที่แรงดัน 6 บาร์ เวลาที่เป่าต่อวัน 1.5 ชั่วโมง/วัน โรงงานทำงาน 300 วัน/ปี (กำลังการผลิตของเครื่องจักรเฉลี่ย 0.35 กิโลวัตต์/ลิตร/วินาที ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 2.50 บาท/หน่วย) (อ้างถึงสมการที่ 2-3.10)

$$\begin{aligned} \text{การสูญเสีย } Q_{\text{leak}} &= 0.158 \times 12^2 \times (6 + 1.013) = 160 \text{ l/sec} \\ \text{คิดเป็นพลังงาน} &= 160 \times 0.35 \times 1.5 \times 300 = 25,200 \text{ kWh/y} \\ \text{คิดเป็นเงิน} &= 25,200 \times 2.50 = 63,000 \text{ B/y} \end{aligned}$$



รูปที่ 2-3.29 พนักงานนำอากาศอัดไปเป่าทำความสะอาดพื้นและเครื่องจักร

**ประการที่ 2.** การนำเอาอากาศอัดไปใช้เป่าระบายความร้อน เป่าฝุ่นตัวเอง ทางโรงงานควรขอความร่วมมือจากพนักงานให้งดการใช้โดยเด็ดขาด หากแรงดันตก อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อกระบวนการผลิตอย่างมหาศาล (การคำนวณผลประหยัดเช่นเดียวประการที่ 1)



รูปที่ 2-3.30 พนักงานนำอากาศอัดไปเป่าทำความสะอาดและระบายความร้อนตนเอง

**ประการที่ 3.** การนำเอาอากาศอัดไปใช้เป่าระบายความร้อนเครื่องจักร ซึ่งก็เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมเช่นกัน ก่อนหน้านี้ใช้พัดลมโบเวอร์เป่า ภายหลังขยายพื้นที่ในการเป่าทำให้ลมไม่พอจึงตัดแปลงมาใช้อากาศอัดแทน หากเป็นเช่นนั้นเพิ่มโบเวอร์จะดีกว่า (การคำนวณผลประหยัดเช่นเดียวประการที่ 1)



รูปที่ 2-3.31 การนำเอาอากาศอัดไปเป่าระบายความร้อนเครื่องจักร

**ประการที่ 4.** การใช้ท่อยางเป่าโดยตรงโดยไม่ใช้ปืนลม การใช้อากาศอัดเป่าทำความสะอาดชิ้นงานในตำแหน่งที่ทำความสะอาดได้ยาก ควรจะพิจารณาในการใช้ปืนลมแทน โดยปกติการใช้อากาศอัดในการเป่าทำความสะอาดจะควบคุมความดันไม่เกิน 3 บาร์ ขนาดรูของปืนลม 2 mm (การคำนวณผลประหยัดเช่นเดียวประการที่ 1)



รูปที่ 2-3.32 การใช้ท่อสายยางหรือท่อเหล็กเป่าโดยตรงโดยไม่ใช้ปืนลม

**ประการที่ 5.** การนำอากาศอัดไปเป่าชิ้นงาน ซึ่งตัดแปลงแทนการใช้กระเบื้องเปีย เป็นการดัดแปลงที่ไม่เหมาะสม หากเป็นระบบที่ติดกับเครื่องจักร จะมีชุดควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติซึ่งมีการควบคุมที่ดี แต่ถ้าเป็นการดัดแปลงจากพนักงานตั้งรูป ชิ้นงานไม่มีก็เป่าอยู่ตลอดเวลา กิดการสูญเสียอย่างมาก (การคำนวณเช่นเดียวประการที่ 1)



รูปที่ 2-3.33 การนำอากาศอัดไปเป่าชิ้นงานซึ่งดัดแปลงแทนใช้กระเบื้องเปีย



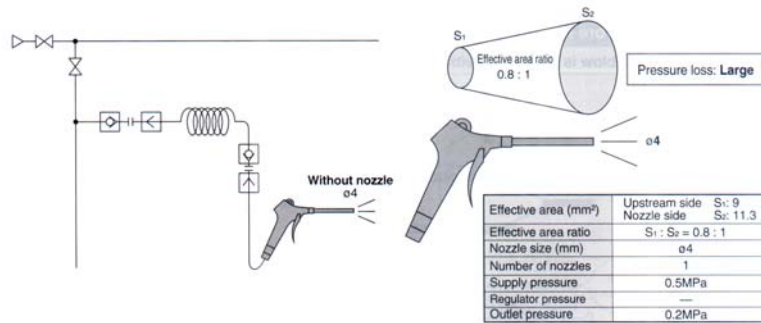
รูปที่ 2-3.34 การลืมนิปิดวาล์ว หรือการขาดจิตสำนึกที่ดีในการใช้

**ประการที่ 6.** การลืมนิปิดวาล์วหรือปิดวาล์วไม่สนิทของพนักงาน (พนักงานหักท่อสายยางแทนการปิดวาล์ว) หัวหน้าจะต้องแนะนำหรือคอยย้ำเตือนพนักงานบ่อยๆ เพื่อให้เกิดจิตสำนึกที่ดีในการประหยัดพลังงาน

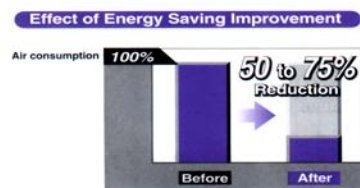
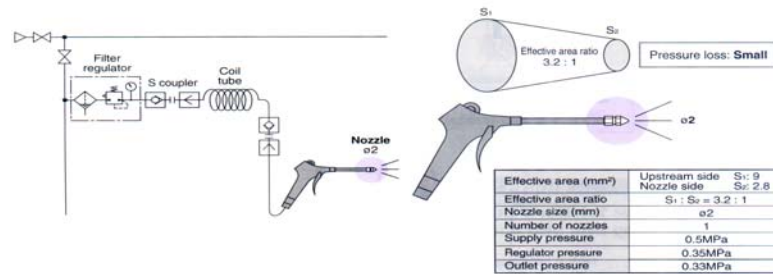
**ประการที่ 7.** ประการอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงแต่เป็นการสูญเสียอากาศอัดจากพฤติกรรมการใช้ที่ไม่เหมาะสม

(8) การเลือกใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง

1. ปืนลมประสิทธิภาพสูง คือการออกแบบให้มีความสูญเสียแรงดันต่ำและใช้ปริมาณอากาศอัดไม่มาก และสามารถถอดเปลี่ยนหัวได้หลายขนาด ปรับใช้ให้เหมาะสมกับสภาพงานและช่วยลดการใช้ปริมาณอากาศอัด



รูปที่ 2-3.35 ปืนลมทั่วไปที่ไม่ได้มีการควบคุมแรงดันใช้งานและมีขนาดของรูที่ใหญ่

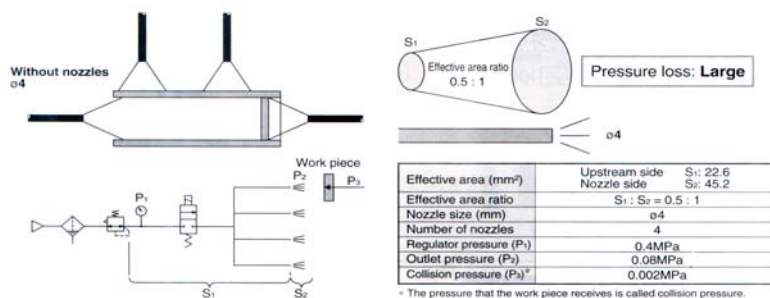


รูปที่ 2-3.36 ปืนลมที่สามารถถอดเปลี่ยนหัวได้ และยังคงควบคุมแรงดันใช้งานที่เหมาะสม

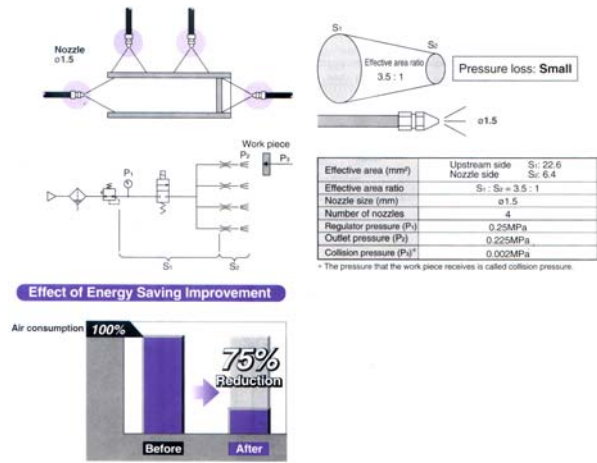
2. หัว Nozzle ประสิทธิภาพสูง ปัจจุบันก็มีการผลิตออกมาหลากหลายชนิดตามลักษณะงาน เช่น งานเป่าโปเป่าเป็นเกลียว หรือเป่าฟัน ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานในระบบอัดอากาศลงได้เป็นอย่างมาก



รูปที่ 2-3.37 หัว Nozzle ปืนลมและเป่าฟัน เป่าโป

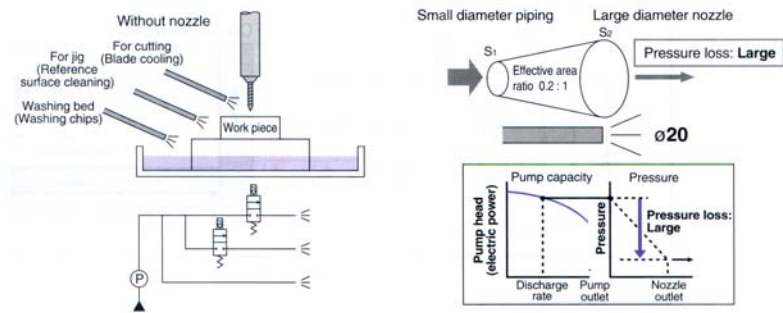


รูปที่ 2-3.38 การใช้หัว Nozzle ก่อนการปรับปรุง

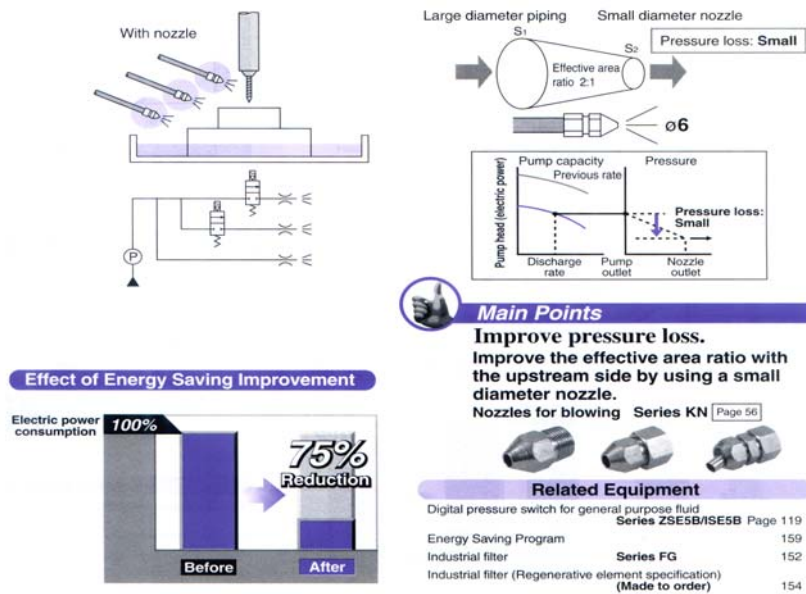


รูปที่ 2-3.39 การใช้หัว Nozzle ประสิทธิภาพสูงหลังการปรับปรุง

อีกตัวอย่างหนึ่ง ลักษณะงานที่มีความจำเป็นต้องใช้อากาศอัดเป่าระบายความร้อนและทำความสะอาด หากเราติดตั้งหัว Nozzle ประสิทธิภาพสูงเข้าไปแทนการใช้ท่ออย่างอ่อนดังรูป และลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลงก็จะช่วยลดค่าใช้จ่ายได้เช่นกัน



รูปที่ 2-3.40 การใช้หัว Nozzle ทัวไปเป่าระบายความร้อนและทำความสะอาด



รูปที่ 2-3.41 การใช้หัว Nozzle ประสิทธิภาพสูง เป่าระบายความร้อนและทำความสะอาด

จากรูปที่ 2-3.39 หากมีความจำเป็นที่ต้องใช้อากาศอัดเป่าระบายความร้อนหรือทำความสะอาดเครื่องจักร อุปกรณ์ ถ้ามีการควบคุม การใช้ที่ดีก็สามารถลดการใช้อากาศอัดลงได้เช่นกัน

**3. การเลือกใช้ Booster** เพื่อเพิ่มแรงดันในระบบที่ต้องการแรงดันอากาศอัดที่สูงกว่าเครื่องจักรอื่นๆ เราสามารถเลือกใช้บูสเตอร์แทนซึ่งจะดีกว่าการผลิตแรงดันที่สูงดังที่เคยกล่าวไว้แล้ว บูสเตอร์จะมี 2 แบบ คือ แบบธรรมดาสามารถผลิตแรงดันออกมาได้ 2 เท่าของแรงดันที่ป้อนเข้าไป และแบบปั๊มบูสเตอร์ สามารถผลิตแรงดันอากาศอัดได้ประมาณ 5-6 เท่า ของแรงดันที่ป้อนเข้า ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ต้องการใช้



รูปที่ 2-3.42 บูสเตอร์ธรรมดา และปั๊มบูสเตอร์

**4. การเลือกใช้เครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพสูง** เป็นทางเลือกสุดท้ายสำหรับระบบผลิตอากาศอัด

**5. การเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบกับเครื่องอัดอากาศ** ในการผลิตอากาศอัดเพื่อไม่ให้เครื่องอัดอากาศทำงานในสภาวะไร้โหลด เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์จะช่วยให้การควบคุมให้มอเตอร์หมุนและผลิตอากาศอัดออกมาอย่างต่อเนื่อง สิ่งสำคัญในการพิจารณา คือ 1)ค่าใช้จ่ายในการลงทุน 2)ปริมาณของพลังงานที่ประหยัดได้ 3) ควรติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบไว้ที่เครื่องอัดอากาศตัวเสริมโหลดเท่านั้น เพราะตัวเดินโหลดหลักไม่มีโอกาสทำงานในลักษณะไร้โหลด 4) ควรจะเป็นเครื่องอัดอากาศที่ทำงานในลักษณะ(Load- Unload) 5) โหลดอยู่ในช่วงมากกว่า 30-75% และค่าเฉลี่ยของการผลิตสะสม ผู้ผลิตจะแนะนำอยู่ในช่วงไม่เกิน 15 วินาที



รูปที่ 2-3.43 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบให้กับเครื่องอัดอากาศ

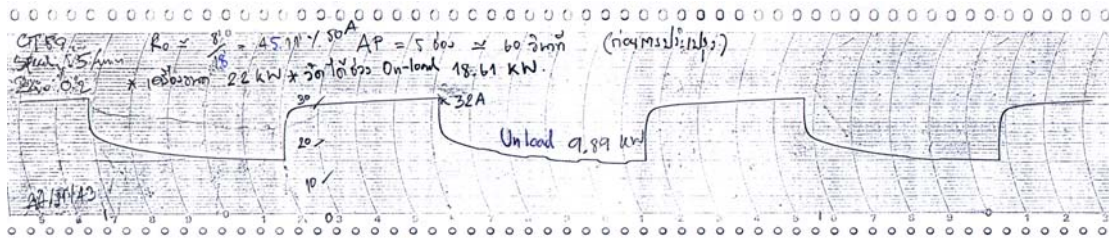
### ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ได้ติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบให้กับเครื่องอัดอากาศแบบสกรูขนาด 22 กิโลวัตต์ การทำงานของเครื่องเป็น แบบ Load + Unload ข้อมูลจากตรวจวัดก่อนและหลังการปรับปรุง

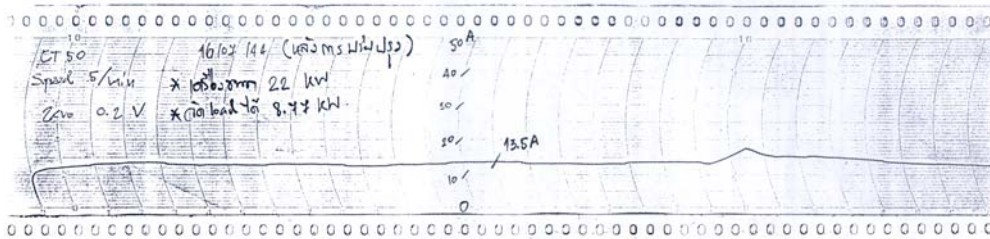
- เครื่องอัดอากาศทำงาน Load กินกำลังไฟฟ้า	=	18.61 kW (55%)
- เครื่องอัดอากาศทำงาน Unload กินกำลังไฟฟ้า	=	9.89 kW (45%)
- กำลังไฟฟ้าหลังการปรับปรุง	=	8.77 kW
- ชั่วโมงทำงาน	=	7,200 hr/y

การคำนวณผลประหยัดจากการตรวจวัด

พลังงานก่อนการปรับปรุง	=	(18.61 x 55%) + (9.89 x 45%) - 8.77	kW
พลังงานที่ประหยัดได้	=	(14.69 - 8.77) x 7,200	= 42,624 kWh/y



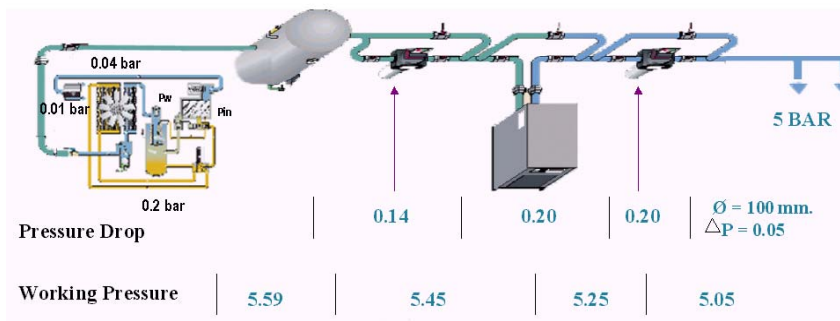
รูปที่ 2-3.44 ข้อมูลบันทึกก่อนการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ



รูปที่ 2-3.45 ข้อมูลบันทึกหลังการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ

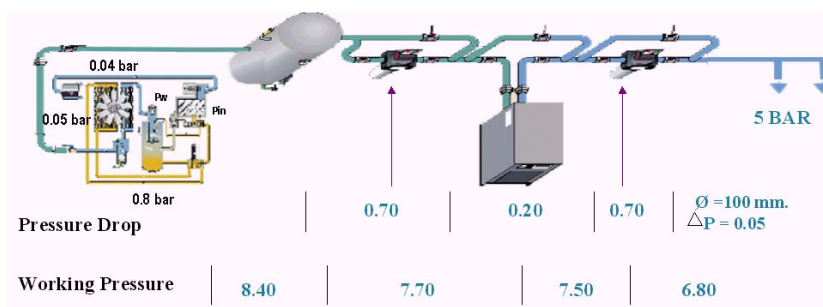
(9) การบำรุงรักษากรองอากาศ และจุดกรองอื่น ๆ ของระบบอัดอากาศ

ตัวอย่าง การบำรุงรักษาระบบอัดอากาศจากรูปที่ 2-3.46 และรูปที่ 2-3.47 ระบบต้องการอากาศอัดที่ใช้งานที่ 5 บาร์ รูปที่ 2-3.46 การบำรุงรักษาที่ดีส่งผลให้การไหลของอากาศได้สะดวก ความต้านทานในระบบต่ำ เครื่องกินกำลังในการผลิตอากาศอัดที่ 6.91 บาร์ เป็นต้น สามารถลดการใช้พลังงานลงได้เทียบกับระบบที่ขาดการบำรุงรักษาที่ดี 10-15% ต่างจากระบบที่ขาดการดูแลบำรุงรักษาอาจจะต้องผลิตแรงดันที่ 10.79 บาร์ เพราะเครื่องจะต้องออกแรงในการดูดอากาศเข้ามาอัดแล้วส่งผ่านชุดกรองต่างๆ เพื่อให้ได้แรงดันที่กำหนด



รูปที่ 2-3.46 ระบบอัดอากาศที่มีการบำรุงรักษาที่ดี

$$\text{Pressure Ratio} = \{(5.59 \times 0.04 + 0.20) + 1.013\} / (1.0 - 0.01) = 6.91 \text{ bar}$$



รูปที่ 2-3.47 รูประบบอัดอากาศที่ขาดการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง

$$\text{Pressure Ratio} = \{(8.40 \times 0.04 + 0.80) + 1.013\} / (1.0 - 0.05) = 10.79 \text{ bar}$$

จากรูประบบอัดอากาศที่ผ่านมา เราจะเห็นได้ชัดเจนว่าระบบอัดอากาศที่มีการบำรุงรักษาที่ดีจะกินกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องอัดอากาศที่ขาดการบำรุงรักษา จากรูปที่แสดงเราเทียบเป็นตารางให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

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



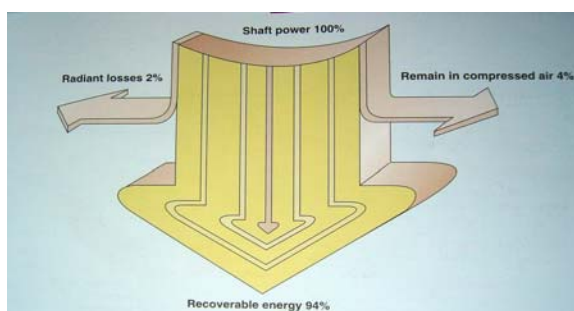
รูปที่ 2-3.48 เครื่องอัดอากาศขาดการบำรุงรักษาที่ชุดกรองอากาศก่อนเข้าเครื่อง



รูปที่ 2-3.49 ถังเก็บอากาศที่มีน้ำขัง กรองอากาศอุดตัน จุดเดรนระบายน้ำทั้งชำรุด

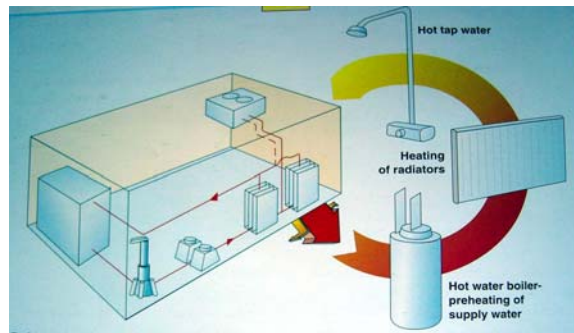
#### (10) การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องอัดอากาศกลับมาใช้

พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้นั้นจะแปรเป็นรูปพลังงานสองส่วน คือ แปรเป็นรูปพลังงานอากาศอัด และพลังงานความร้อน ซึ่งพลังงานความร้อนนี้สามารถที่จะนำกลับมาใช้ได้ถึง 94 % เมื่อเทียบกับพลังงานที่ปลายเพลลา ที่เหลือเป็นพลังงานความร้อนแผ่ 2% และเป็นพลังงานอากาศอัด 4%



รูปที่ 2-3.50 สัดส่วนการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเป็นพลังงานในรูปแบบอื่น

พลังงานความร้อนที่ปล่อยทิ้งสามารถนำกลับมาใช้ได้หลายรูปแบบ เช่น 1) การนำมาจากน้ำป้อนหม้อไอน้ำ 2) การนำกลับมาอุ่นอากาศเพื่อใช้ในการอบหรือให้ความร้อน และ 3) การนำมาแลกเปลี่ยนทำน้ำอุ่น



รูปที่ 2-3.51 การนำพลังงานความร้อนที่จากเครื่องอัดอากาศมาใช้โดยผ่านอุปกรณ์ต่างๆ

**ประโยชน์ของการนำความร้อนทิ้งจากเครื่องอัดอากาศกลับมาใช้**

1. ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนของพลังงานความร้อนในอุปกรณ์ต่างๆ
2. ลดปัญหาอุณหภูมิแวดล้อม สูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ
3. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้กับเครื่องอัดอากาศ

สามารถคำนวณพลังงานความร้อนทิ้งกลับมาใช้ได้ตามสมการที่ 2-3.12

$$W_{\text{heat}} = [(K_1 \times Q_1) + (K_2 \times Q_2)] \times T_R \times \eta \quad \text{kWh/year}$$

$W_{\text{heat}}$  = พลังงานความร้อนที่นำกลับมา (kWh/year)

- $K_1$  = เวลาทำงานของเครื่องอัดอากาศช่วงโหลด       $K_2$  = เวลาทำงานของเครื่องอัดอากาศช่วงไร้อโหลด
- $Q_1$  = กำลังไฟฟ้าช่วงโหลด (kW LOAD)                       $Q_2$  = กำลังไฟฟ้าช่วงไร้อโหลด (kW UNLOAD)
- $T_R$  = ชั่วโมงที่นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ (hours)
- $\eta$  = ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายพลังงานความร้อน

พลังงานความร้อนทิ้งจากเครื่องอัดอากาศประมาณได้จากค่าพิกัดกำลังการผลิตของเครื่อง(FAD) ทั่วๆไป การประมาณเวลาทำงานของเครื่องอัดอากาศช่วงโหลด จะถูกกำหนดไว้ที่ 90% และ 10%เป็นช่วงไร้อโหลด

Energy recoverable power			
INSTALL (HP)	FAD (m <sup>3</sup> /min)	Heat flow (kW)	Saving at 2000 oper. Hours/year (kWh/year)
50	6.4	34	68,000
60	7.4	40	80,000
90	11.4	51	102,000
110	14.0	61	122,000
150	18.7	92	184,000
175	21.6	109	218,000
190	23.2	118	236,000
230	27.9	137	274,000
280	34.8	176	352,000
350	43.1	215	430,000

## 2-8.5 การตรวจวินิจฉัย และบำรุงรักษาระบบอัดอากาศเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอย่างไร?

### (1) การตรวจวินิจฉัย ระบบอัดอากาศเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอย่างไร?

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
1. อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ	<input type="checkbox"/> สูงกว่าอากาศแวดล้อมทั่วไป <input type="checkbox"/> ต่ำกว่าอากาศแวดล้อมทั่วไป <input type="checkbox"/> เท่ากับอากาศแวดล้อมทั่วไป	อุณหภูมิที่ดูดเข้าเครื่องอัด ควรเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นต่ำ เพราะจะทำให้มวลของอากาศที่ถูกอัดมากขึ้น ดังนั้น ควรหาแนวทางในการทำอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นต่ำเข้ามาเครื่องอัด
2. กรองอากาศ	<input type="checkbox"/> สะอาด <input type="checkbox"/> ตัน/ สกปรก	กรองอากาศตันหรือสกปรก ส่งผลให้เครื่องอัดเสียพลังงานในการดูดเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องอัดลดลง ดังนั้น ควรจัดทำแผนการบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม
3. มีการใช้อากาศอัดเป่าทำความสะอาดระบายความร้อนหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	อากาศอัดเป็นอากาศที่มีคุณภาพสูง และต้นทุนสูง โดยเฉพาะถ้ามีความดันยิ่งสูง ดังนั้น ควรมีมาตรการการรณรงค์ไม่ให้ใช้ ซึ่งอาจใช้โบล์เวอร์ความดันสูงแทน
4. จุดใช้ลมต่างๆ มีปีนลมหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ปีนลมจะช่วยลดปริมาณการใช้ลมได้ประมาณ 80% ของปริมาณลมที่ใช้ กรณีที่ไม่มีใช้ลม ควรติดตั้งทุกจุด
5. มีการปิดวาล์วลมก่อนเข้าเครื่องจักรทุกครั้งก่อนเลิกงานและพักกลางวันหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	การรั่วไหลของลมส่วนใหญ่เกิดในเครื่องจักร ดังนั้น ก่อนเลิกงาน และช่วงพักกลางวัน ควรกวดขันและรณรงค์ให้ผู้ใช้ปิดวาล์วลมทั้งหมด
6. มีการปิดวาล์วที่ออกจากถังเก็บลมก่อนเลิกงานและช่วงพักกลางวันหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ระบบท่อลมจะมีลมรั่วเสมอ ดังนั้น ก่อนเลิกงานและช่วงพักกลางวัน ควรทำการปิดวาล์วลมที่ออกจากถังเก็บลมทุกวัน
7. มีการระบายน้ำออกจากถังเก็บลมทุกวันหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ควรระบายน้ำออกจากถังเก็บลมก่อนเลิกงานทุกวัน เพราะเมื่อมีน้ำอยู่ความจุของถังลมจะลดลง ส่งผลให้เครื่องอัดทำงานมากขึ้น หรืออาจต้องเดินเครื่องอัดจำนวนมากขึ้น หรือปริมาณอัดผลิตไม่พอกับการใช้งาน นอกจากนี้อากาศที่ส่งไปใช้งานอาจมีน้ำติดไปมากขึ้น
8. อุปกรณ์ระบายน้ำที่ถังลมทำงานบ่อยหรือไม่	<input type="checkbox"/> บ่อย <input type="checkbox"/> ไม่บ่อย	การทำงานของ auto drain ที่บ่อยเกินไปจะทำให้สูญเสียอากาศอัดที่หลุดออกไปกับน้ำด้วย ดังนั้น ควรปรับตั้ง auto drain ให้เหมาะสมกับการใช้งาน
9. ตั้งระยะห่างระหว่างความดันสูงและต่ำสุดที่เครื่องอัดมากหรือน้อย	<input type="checkbox"/> มาก <input type="checkbox"/> น้อย	การตั้งระยะห่างระหว่างความดันสูงและต่ำสุดห่างกันน้อยจะทำให้เครื่องอัดเดินและหยุดบ่อย ส่งผลต่อการสึกหรอและประสิทธิภาพของเครื่องอัด ดังนั้น ควรตั้งความดันต่ำให้สูงกว่าความดันสูงสุดของอุปกรณ์ที่ใช้ อากาศอัด บริเวณจุดใช้งานประมาณ 0.5 Barg. และความดันสูงสุดสูงกว่าความดันต่ำสุดประมาณ 1 Barg.
10. ปรับตั้งความดันใช้งานของอุปกรณ์ใช้อากาศอัดตามมาตรฐานหรือไม่	<input type="checkbox"/> ไม่ได้ปรับตั้ง <input type="checkbox"/> ปรับตั้งมาตรฐาน	ความดันอากาศอัดที่สูงเกินไปมาตรฐานของอุปกรณ์ใช้อากาศอัด ส่งผลให้อุปกรณ์ชำรุดเร็ว แลสิ้นเปลืองอากาศอัดมาก ดังนั้น ควรปรับตั้งให้ได้มาตรฐาน
11. อุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดที่ใช้	<input type="checkbox"/> สึกหรอมาก	อุปกรณ์ที่ใช้อากาศโดยเฉพาะอุปกรณ์ที่มีการหมุน เมื่อ

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
งานมานานมีการสึกหรอมาหรือไม่	<input type="checkbox"/> สภาพดี	ใช้ไประยะเวลาหนึ่งจะเกิดการสึกหรอของใบพัด ส่งผลให้อุปกรณ์ใช้อากาศอัดในปริมาณมากขึ้น เพราะอากาศอัดบางส่วนเกิดการรั่วออกทางช่องว่างต่างๆ ดังนั้น ควรทำการซ่อมและเปลี่ยนอะไหล่บางส่วน
12. ลดความดันอากาศอัดให้ต่ำลงได้หรือไม่	<input type="checkbox"/> ได้ <input type="checkbox"/> ไม่ได้เพราะ .....	การลดความดันเครื่องอัดอากาศส่งผลให้ต้นทุนการอัดอากาศลดลง และยังลดปริมาณอากาศที่รั่วไหลในระบบ ดังนั้นโรงงานควรตรวจอุปกรณ์ใช้อากาศอัดว่าใช้ความดันสูงเท่าใด ถ้าความดันที่จุดใช้งานสูงกว่าความดันมาตรฐานของอุปกรณ์ใช้งานมาก ให้ทดลองลดความดันที่เครื่องอัดอากาศลงทีละน้อย แล้วสังเกตดูความผิดปกติ
13. อุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดใช้ความดันหลายระดับหรือไม่	<input type="checkbox"/> ใช้ระดับเดียว <input type="checkbox"/> ใช้หลายระดับ สูงสุด .... Barg. .... % กลาง .... Barg. .... % ต่ำสุด .... Barg. .... %	การผลิตอากาศอัดที่ความดันสูงจะใช้พลังงานสูงกว่าการผลิตที่ความดันต่ำ ดังนั้น ถ้าอุปกรณ์ส่วนน้อยใช้ความดันสูง ควรลดความดันในการผลิตลง แล้วใช้บีมลมอีกชุดติดตั้งใกล้จุดใช้งานนั้น เพื่อเพิ่มความดันจากเดิมให้สูงขึ้น (Booster air compressor)
14. บางพื้นที่มีปัญหาความดันลมหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	การที่ความดันลดลงอย่างรวดเร็วจนไม่พอใช้งานกับเครื่องจักร มักเกิดกับเครื่องจักรหรือพื้นที่ที่ใช้อากาศอัดมาก ซึ่งสาเหตุมาจากการอัดผ่านท่อไม่ทันกับความต้องการ ดังนั้น อาจแก้ไขโดยการเพิ่มท่อขึ้นอีก 1 ท่อหรือติดตั้งถังเก็บลมไว้ในบริเวณที่ความดันตก หรือใช้วิธีเพิ่มความดันลมที่เครื่องอัด ก็จะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตอากาศอัดสูงขึ้น
15. มีการเดินท่อลมเชื่อมกันเป็นวงแหวน (Ring loop) หรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	การเชื่อมปลายท่อลมเป็นวงแหวนจะช่วยลดปัญหาความดันลมตก หรือไม่พอใช้ในบางจุดได้ เพราะขณะบางจุดใช้อากาศอัดปริมาณมาก อากาศจะไหลผ่านท่อลมทั้ง 2 ทาง
16. ระบบท่อลมยาว และมีข้อต่อ ข้อัด มากเกินไปหรือไม่	<input type="checkbox"/> ไม่ <input type="checkbox"/> เหมาะสม	ท่อลมที่มีความเหมาะสมหรือมีข้อต่อข้อัดมากจะสูญเสียความดันมาก ทำให้เครื่องอัดต้องผลิตอากาศอัดที่ความดันสูง โดยทั่วไปความดันตกในระบบที่ไกลที่สุดไม่ควรเกิน 0.5 Barg. ดังนั้น ถ้าความดันตกมากอาจเพิ่มจำนวนท่อเข้าไปในระบบ หรือติดตั้งถังเก็บลมเพิ่มในระหว่างท่อ หรือเดินท่อเป็นวงแหวน หรือย้ายตำแหน่งเครื่องอัดอากาศไปใกล้จุดที่ใช้อากาศอัดมาก
17. มีเครื่องอัดหลายเครื่อง แล้วเดินใช้งานสลับกันไปมาหรือไม่	<input type="checkbox"/> ใช่ <input type="checkbox"/> มีเครื่องเดียว	เครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่องจะมีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน ดังนั้นควรตรวจประสิทธิภาพเพื่อหาค่า kW/m <sup>3</sup> /min ของแต่ละเครื่อง โดยถ้าเครื่องใดมีค่าดังกล่าวต่ำ แสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง ควรนำมาเดินใช้งานให้มากกว่าเครื่องอื่น
18. มีเครื่องอัดอากาศชุดที่ผ่านการบำรุงรักษาหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	เครื่องอัดอากาศที่ผ่านการบำรุงรักษาใหม่ จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องที่ยังไม่ได้ปรับปรุง ดังนั้นควรนำ

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
		เครื่องใหม่มาใช้งานมากขึ้น
19. เครื่องอัดเดิน unload มากว่าช่วง load หรือไม่	<input type="checkbox"/> เดิน unload มากกว่า <input type="checkbox"/> เดิน unload น้อยกว่า	การเดิน unload บางเครื่องจะใช้ไฟฟ้าประมาณ 40-50% โดยไม่ได้อากาศอัดของขณะ load ซึ่งอาจเกิดจากขนาดของเครื่องใหญ่เกินไป ดังนั้น อาจหาเครื่องเล็กมาใช้แทน หรือติดตั้งอุปกรณ์ลดรอบแทนการควบบแบบ load- unload
20. ขนาดถังเก็บลมเล็กเกินไปหรือไม่	<input type="checkbox"/> เล็ก <input type="checkbox"/> เหมาะสม	ขนาดถังเก็บลมที่เล็กเกินไป จะทำให้เครื่องอัดผลิตอากาศไม่ทัน ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องอัดขนาดใหญ่เพื่อใช้งานบางเวลาเท่านั้น โดยทั่วไปขนาดถังลม ควรมีขนาดไม่ต่ำกว่า 1 GPM/ 1CFM ซึ่งหมายความว่า ที่ปริมาณลมอิสระ (FAD) 1 ลูกบาศก์เมตร/นาที ขนาดความจุของถังประมาณ 1 แกลลอน
21. ในระบบมีอากาศอัดรั่วมากหรือไม่	<input type="checkbox"/> เกิน 5% <input type="checkbox"/> ไม่เกิน 5%	อากาศอัดควรมีการรั่วไหลไม่เกิน 5% ดังนั้น โรงงานควรทดสอบ no load test โดยการหยุดใช้อากาศอัดขึ้น มา 1 เครื่อง ทำการจับเวลาในการเดินและหยุด หรือการ load unload แล้วนำเวลาในช่วง unload หาคด้วยเวลา คุณด้วยความสามารถในการผลิตลมของเครื่องนั้นๆ จะได้ปริมาณอากาศอัดที่รั่ว หลังจากนั้นนำไปหารด้วยปริมาณลมที่ใช้ทั้งหมดขณะใช้งานปกติ จะได้ร้อยละการรั่วไหล
22. ใช้งานเครื่องอัดอากาศหลายชุดพร้อมกัน มีการใช้ระบบการควบคุมการทำงานแบบใด	<input type="checkbox"/> ควบคุมเฉพาะเครื่อง <input type="checkbox"/> ควบคุมจุดเดียวกัน	อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน pressure sensor control ของแต่ละเครื่องอัดจะมีความเที่ยงตรงต่างกัน ดังนั้น เมื่อทำการปรับตั้งความดันแต่ละเครื่องแล้วการทำงานของแต่ละเครื่องตามลำดับการเดินจะไม่แน่นอน ดังนั้น ควรใช้จุดควบคุมความดันที่จุดเดียวกัน
23. ปัจจุบันมีปัญหาปริมาณอากาศอัดไม่พอหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ระบบอากาศอัดมักมีปัญหาเรื่องอากาศไม่พอใช้เมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศลดลง การรั่วของอากาศอัดในระบบมากขึ้น และการผิดปกติต่างไป ดังนั้น โรงงานควรหาสาเหตุ และแก้ไขปัญหาก่อนที่จะพิจารณาซื้อเครื่องอัดอากาศมาเพิ่มเติม
24. เปิดหอยืดเย็นมากเกินไปหรือไม่	<input type="checkbox"/> มากเกินไป <input type="checkbox"/> เหมาะสม	เครื่องอัดอากาศจะมีมาตรฐานอุณหภูมิน้ำเข้าระบายความร้อนให้กับอากาศ ดังนั้น ควรตรวจสอบว่าอุณหภูมิที่เข้าระบายความร้อนต่ำกว่ามาตรฐานหรือไม่ ถ้าต่ำกว่าให้ลดจำนวนการเดินหอยืดเย็น หรือใช้อุปกรณ์ลดรอบพัลลวมของหอยืดเย็น
25. อากาศเข้าระบายความร้อนหอยืดเย็นมีอุณหภูมิและความชื้นสูงกว่าบริเวณอื่นหรือไม่	<input type="checkbox"/> สูงกว่า <input type="checkbox"/> เท่ากัน	อุณหภูมิและความชื้นของอากาศเข้าหอยืด ถ้าสูงจะส่งผลให้อุณหภูมิที่ได้สูงขึ้น ดังนั้น ควรหาทางแก้ไข
26. สมควรเปลี่ยนเครื่องอัด	<input type="checkbox"/> สมควร	เครื่องอัดอากาศทุกเครื่องจะมีอายุการใช้งาน ดังนั้น

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
อากาศหรือไม่	เพราะ ..... <input type="checkbox"/> ไม่สมควร เพราะ .....	เมื่อหมดอายุการใช้งาน ประสิทธิภาพจะลดต่ำลง ทำให้เสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมาก ดังนั้น โรงงานควรพิจารณาเปลี่ยนเครื่องอัดใหม่ โดยเปลี่ยนค่า kW/m <sup>3</sup> /min ของเครื่องเดิม ขณะใช้งานกับเครื่องใหม่
27. นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์หรือไม่	<input type="checkbox"/> นำกลับมาใช้ .....	ความร้อนจากน้ำหรืออากาศที่ใช้ในการระบายความร้อนให้กับอากาศหลังจากถูกอัดตัว สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้ ดังนั้น ควรพิจารณานำกลับไปใช้ประโยชน์
	<input type="checkbox"/> ไม่นำกลับมาใช้	

## (2) การบำรุงรักษาระบบอัดอากาศ

รายละเอียดการดำเนินงาน	ระยะเวลาที่เหมาะสม
1. ทำความสะอาดชุดกรองอากาศ	ทุกสัปดาห์
2. ทำความสะอาดชุดกรองสารแขวนลอยในระบบน้ำหล่อเย็น	ทุกเดือน
3. ทำความสะอาดครีบบระบายความร้อนและตัวเครื่องอัด	ทุกเดือน
4. ตรวจสอบสภาพและปริมาตรของน้ำมันหล่อลื่น	ทุกวัน
5. เปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น	ตลอดอายุการใช้งาน
6. เปลี่ยนไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น	ตลอดอายุการใช้งาน
7. ตรวจสอบระบบระบายน้ำอัตโนมัติ	ทุกวัน
8. ระบายน้ำทิ้งออกจากถังเก็บอากาศ	ทุกวัน
9. อัดจารบีหรือสารหล่อลื่น	ทุก 3 เดือน
10. ทำความสะอาดหอผึ่งเย็น (Cooling tower)	ทุก 3 เดือน
11. ตรวจสอบการทำงานของเครื่องวัดต่างๆ	ทุก 3 เดือน
12. ตรวจสอบสภาพและปรับตั้งสายพานส่งกำลังหรือชุดเกียร์ส่งกำลัง	ทุกเดือน
13. ตรวจสอบและซ่อมจุดรั่วไหลของอากาศอัด	ทุกสัปดาห์
14. ตรวจสอบและบันทึกอุณหภูมิและความดันของอากาศเข้าและออกจากเครื่องอัดในแต่ละชั้น รวมทั้งอากาศในถัง	ทุกวัน
15. ตรวจสอบและบันทึกเวลาการเดิน/หยุด (on/off) หรือเวลาการรับภาระและเดินตัวเปล่า (load/unload)	ทุกวัน
16. ตรวจสอบและบันทึกอุณหภูมิเข้าและออกของน้ำหรืออากาศ ที่ใช้ระบายความร้อนของเครื่องอัด	ทุกวัน
17. ตรวจสอบและบันทึกกระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าของเครื่องอัดที่ใช้ระบายความร้อนเครื่องอัด	ทุกวัน
18. ตรวจสอบและบันทึกความดันน้ำระบายความร้อนที่เข้าและออกเครื่องอัด	ทุกวัน
19. ตรวจสอบและบันทึกอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่เข้าและออกจากหอผึ่งเย็น รวมทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ใช้ระบายความร้อน	ทุกวัน
20. ตรวจสอบและบันทึกกระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าที่ใช้กับปั๊มน้ำระบายความร้อน	ทุกวัน
21. ตรวจสอบและบันทึกกระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าที่ใช้กับหอผึ่งเย็น	ทุกวัน
22. ตรวจสอบและบันทึกคุณภาพของน้ำระบายความร้อน	ทุก 6 เดือน
23. ตรวจสอบและบันทึกอุณหภูมิผิวมอเตอร์และอุณหภูมิผิวรองเส้น	ทุกเดือน
24. ตรวจสอบวัดประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ	ทุกปี
25. ตรวจสอบวัดประสิทธิภาพของปั๊มน้ำระบายความร้อน	ทุกปี
26. ตรวจสอบวัดประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็น	ทุกปี

