บทที่ 2 ทฤษฎีการออกแบบ

หลักการและการจำแนกประเภทของเครื่องอัด

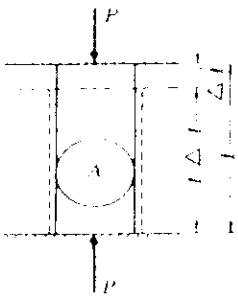
เครื่องอัดเป็นเครื่องที่เพิ่มความดันของอากาศหรือก๊าซ ความดันขาเข้าของเครื่องอัดส่วนมากจะเป็นความดันบรรยากาศ เครื่องอัดที่ได้รับความดันขาเข้าสูงกว่าความดันบรรยากาศ เรียกว่า เครื่องเพิ่มความดัน (booster) และเครื่องที่ดูดก๊าซที่มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เรียกว่า เครื่องดูด (vacuum)

2.1 หลักการของเครื่องอัด

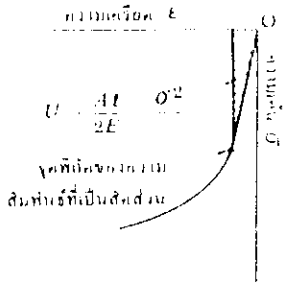
ตามปกติก๊าซจะถูกอัดให้ความความดันสูงถูกส่งไปเก็บในถังเพื่อใช้งานตามความต้องการแต่ของแข็งก็ถูกอัดได้เหมือนกัน ดังแสดงในรูป 2.1 ท่อนของแข็งมีพื้นที่หน้าตัด "A" ถูกอัดโดยแผ่นบนและแผ่นล่าง ถ้าแรงอัดเท่ากับ p และความสูงเดิม " 1 " ลดลง $\Delta 1$ เนื่องจากถูกอัด ความเค้นอัดและความเครียดอัดจะเป็นดังนี้

ความเค้นอัด $\sigma = P / A$

ความเครียดอัด $\varepsilon = \Delta 1 / 1$



รูปที่ 2.1 การอัดของแข็ง



รูปที่ 2.2 พลังงานเนื่องจากยืดหยุ่น

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะเป็นไปตามรูปที่ 2.2 σ เป็นสัดส่วนกับ ε จนกระทั่ง ε มีค่าระดับหนึ่ง ความสัมพันธ์นี้แสดงด้วยสมการ

$$\sigma = E \varepsilon$$

E เป็นโมดุลัสของความยืดหยุ่นและพลังงาน U ที่อยู่ในท่อนแข็งคืองานที่กระทำโดยแรง P

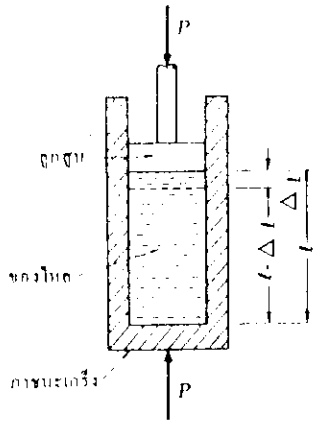
$$U = (1/ 2) P . \Delta 1 = (1/ 2)\sigma \ A . \varepsilon 1 = (Al / 2) . (\sigma^2 / E) \qquad (2.1)$$

ดังนั้นของแข็งถูกอัดได้และสามารถเก็บพลังงานไว้ได้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ สปริง แต่ในกรณีของ ของแข็งจะนำพลังงานนี้ไปยังที่ที่ต้องการใช้พลังงานได้ยากจะได้กล่าวถึงกรณีที่ของไหลถูกอัด ของไหลอาจแบ่งออกได้เป็นของเหลวและก๊าซ และทั้งสองอย่างเข้าไปอยู่ในภาชนะรูปร่างอะไรก็ได้ ของเหลวมีผิวที่แปรเปลี่ยนได้ส่วนก๊าซไม่มีผิวแต่จะแพร่ (diffuse) เข้าไปสู่รูปร่างของภาชนะบรรจุตามหลักของ Pascal ความดันที่กระทำกับส่วนใดของของไหลในภาชนะปิดจะทำให้เกิดความดันนั้นโดยทั่วไปและในทุกทิศทาง

(แต่ในกรณีของของแข็งในรูปที่ 2.1 จะต่างจากของไหล ความเค้น σ จะเกิดขึ้นเฉพาะในทิศทางของแรง P ส่วนความเค้นในทิศทางอื่นจะต่ำกว่า σ)

จะวิเคราะห์ของไหลที่บรรจุอยู่ในภาชนะเกร็ง (rigid) ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A และความลึกดังในรูปที่ 2.3 และของไหลนี้ถูกอัดด้วยลูกสูบโดยแรง P ความดันในของไหลจะเป็นไปตามสมการ

$$P = P / A$$



รูปที่ 2.3 การอัดของไหล

ความดันนี้จะแผ่ไปทั่วทุกจุดในกระบอก ทำให้ความดันเท่ากันทั่วทุกจุด ถ้าของไหลซึ่งมีปริมาตรเดิม V ถูกอัดจนปริมาตรลดลง ΔV ความเครียดเชิงปริมาตร $\Delta V / V$ เป็นไปตามสมการ

$$p = K (\Delta V / V) = K (\Delta l / l) \qquad (2.2)$$

($\Delta V / V$) = ($\Delta l / l$) สำหรับการอัดในรูปที่ 2.3

K เป็นโมดุลัสเชิงปริมาตร (bulk modulus) และขึ้นกับประเภทและสภาวะของของไหล สำหรับของเหลวถือได้ว่า K มีค่าคงที่ สำหรับทุกความเค้น ดังนั้นพลังงานที่อยู่ในของเหลวจะเป็นดังนี้

$$U = (1/ 2) P . \Delta l = (1/ 2) Ap (lp/ K) = (Al/ 2) (p^2 / K) \qquad (2.3)$$

สูตรข้างบนคล้ายกับสมการ (2.1) ของของแข็งมาก

ถ้าของไหลเป็นก๊าซ โมดุลัสเชิงปริมาตร K จะเปลี่ยนค่าถ้าความดันเปลี่ยนและจากสมการ (2.4) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป K หาได้จากสมการ

$$K = dp / (dv / v) = k . p \qquad 2.4$$

k : อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะของก๊าซ

p : ความดันสัมบูรณ์ของก๊าซ

สำหรับกรณีของรูปที่ 2.3 k p หาได้จาก

$$k\,p = dp / (dl / l)$$

ดังนั้น

เห็นได้ว่า U ขึ้นกับ ความแตกต่างระหว่างความดันก่อนและหลังการอัดขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ

ค่าของพลังงานที่เก็บอยู่ในของแข็ง ของเหลวและก๊าซซึ่งมีปริมาตรเท่ากัน (A * l)มีอยู่ในตารางที่ 2.1

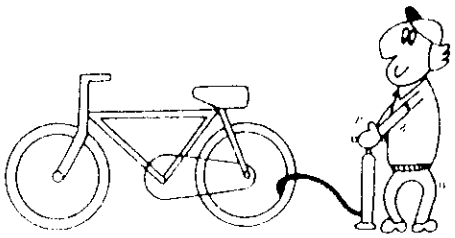
ตารางที่ 2.1 พลังงานที่เก็บไว้ได้โดยการอัด

	ของแข็ง : เหล็กเหนียวที่ผ่านการทำให้แข็ง	ของเหลว : น้ำ		ก๊าซ : อากาศ	
สูตร	(1.1)	(1.3)		(1.6)	
σ	8×10^4 kgf/m^2 $\{780\times10^4$ kPa$\}$	p	8×10^4 kgf/m^2 $\{780\times10^4$ kPa$\}$	$\triangle p$	7×10^4 kgf/m^2 $\{690\times10^4$ kPa$\}$
E	2.1×10^{10} kgf/m^2 $\{206\times10^{10}$ kPa$\}$	K	2.1×10^{8} kgf/m^2 $\{206\times10^{10}$ kPa$\}$	p_1	10^4 kgf/m^2 $\{98\times10^4$ kPa$\}$
$\frac{\sigma^2}{2E}$	1.5×10^{-1} kgf/m^2 $\{14.7$ kPa$\}$	$\frac{p^2}{2K}$	15 kgf/m^2 $\{1470$ kPa$\}$	p_2	8×10^4 kgf/m^2 $\{780\times10^4$ kPa$\}$
				κ	1.4
				$\frac{\triangle p}{\kappa}$	5×10^4 kgf/m^2 $\{490\times10^3$ kPa$\}$

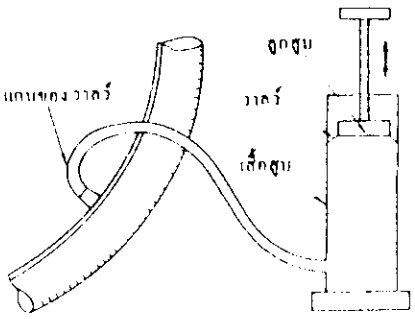
เมื่อเปรียบเทียบค่าของ $\sigma^2 / 2E$ $p^2 / 2K$ และ $\Delta p / k$ ของตารางนี้จะเห็นว่าค่าของอากาศสูงกว่าค่าของอย่างอื่นมาก

ดังนั้นก๊าซจะเก็บพลังงานได้มากต่อหน่วยปริมาตร เมื่อความดันเพิ่มขึ้นถ้ามีพลังงานเก็บอยู่ในภาชนะจะสามารถจ่ายพลังงานไปได้ตามท่อ แต่ก็มีข้อควรระวังหลายประการเกี่ยวกับการจัดและจ่ายก๊าซ เนื่องจากอุณหภูมิก๊าซจะสูงขึ้นเมื่อถูกอัดอุณหภูมิจะลดลงมากเมื่อปล่อยพลังงานออกไป และก๊าซรั่วได้ง่าย

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของเครื่องอัดที่อัดและเก็บอากาศ ถ้าก๊าซถูกใส่และปิดไว้ในภาชนะแล้วปริมาตรลดลงก๊าซจะถูกอัด เครื่องอัดชนิดนี้เรียกว่า เครื่องอัดลดปริมาตร (displacement) ถ้าการพัฒนาการอัดในรูป 2.3 ต่อไปจะได้เครื่องอัดลดปริมาตร ซึ่งมีลูกสูบวิ่งกลับไปมาเป็นจังหวะ ทำให้เกิดการดูดอัดและส่งก๊าซออก สำหรับเครื่องอัดนี้ส่วนที่เสียดสีกันระหว่างเสื้อสูบและลูกสูบจะต้องไม่ปล่อยให้อากาศรั่วหรือมีการติดขัดของลูกสูบ หน้าที่ที่ยากนี้เป็นหน้าที่ของแหวนลูกสูบเครื่องอัดประเภทนี้ที่ซับซ้อนน้อยและใช้กันมากคือเครื่องสูบยางรถจักรยานในรูปที่ 2.4 และ 2.5



รูปที่ 2.4 เครื่องสูบยางจักยาน

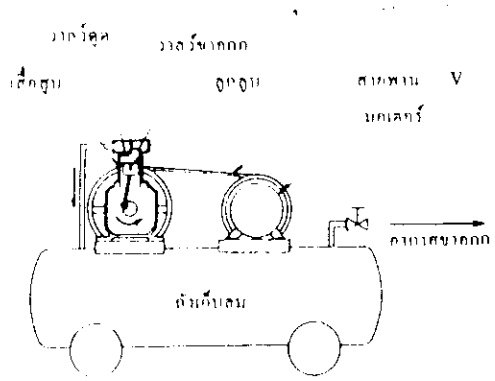


รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของเครื่องอัดซึ่งคล้ายกับของเครื่องสูบยาง

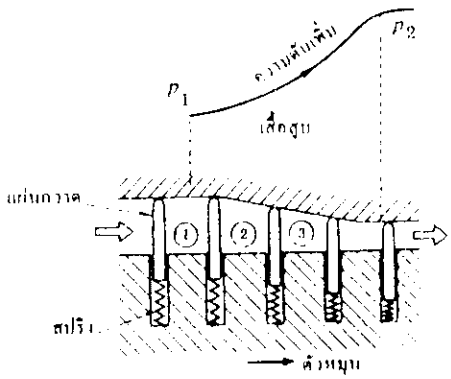
หลักการของเครื่องสูบยางรถจักรยานเหมือนกับของเครื่องอัดทุกประการ จะได้กล่าวถึงหลักการทำงานของเครื่องสูบยางรถจักรยาน โดยใช้รูปที่ 2.5 ประกอบ เมื่อลูกสูบถูกยกขึ้น ภายในเสื้อสูบจะเกิดความดันต่ำกว่าบรรยากาศและอากาศจะเข้าสู่กระบอกสูบผ่านวาล์วดูด เมื่อลูกสูบเลื่อนลงวาล์วจะถูกปิดด้วยแรงอากาศและปริมาณของอากาศจะลด ดังนั้นความดันของอากาศในกระบอกสูบจะสูงขึ้นจนสูงกว่าความดันในยางจักรยานและอากาศจะถูกส่งเข้าสู่ยางจักรยานโดยผ่านวาล์วที่ยาง (ทำหน้าที่เป็นวาล์วขาออก) ทำให้ความดันในจักรยานค่อยๆเพิ่มขึ้น

หลักการของเครื่องอัดเหมือนกับเครื่องสูบยางจักราน แต่แทนที่จะเลื่อนลูกสูบขึ้นลงด้วยมือจะมีมอเตอร์ขับลูกสูบให้เคลื่อนไปกลับผ่านข้อเหวี่ยงและอัดอากาศในเสื้อสูบดังในรูปที่ 2.6 ในกรณีนี้วาล์วของเครื่องยางจักรยานกลายเป็นวาล์วดูดของเครื่องอัดและวาล์วที่ยางจักรยานเป็นวาล์วขาออกและยางจักรยานกลายเป็นถังเก็บลมของเครื่องอัด เครื่องอัดประเภทที่มีลูกสูบเคลื่อนที่ไปกลับเรียกว่าเครื่องอัดประเภทลูกสูบหรือเครื่องอัดประเภทไปกลับ

เครื่องอัดประเภทลูกสูบทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงเฉื่อย ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะใช้ความเร็วสูง นอกจากนั้นการไหลของก๊าซจะไม่เรียบมีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะ ด้วยเนื่องจากเหตุเหล่านี้จึงได้มีการพัฒนาเครื่องอัดประเภทหมุน (rotary) ขึ้นใช้กัน



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเครื่องอัด



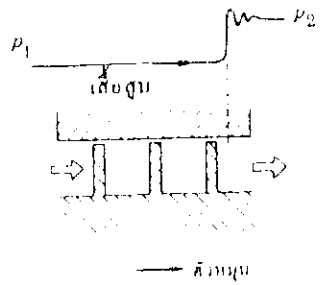
รูปที่ 2.7 มีการอัดภายใน
(ชนิดแผ่นกวาดหรือเกลียว)

ดังที่แสดงในรูปที่ 2.7 ถ้ามีแผ่นหลานแผ่นสอดอยู่ในร่องของตัวหมุน (rotor) และถ้าตัวหมุนนี้เคลื่อนที่ไปทางขวาแผ่นเหล่านี้ถูกอัดติดกับกระบอกสูบโดยสปริง ก๊าซในช่องที่ 1 ,2 และ 3 จะถูกอัดในขณะที่ก๊าซเคลื่อนที่ไปทางขวา ในทางตรงข้ามถ้าตัวหมุนเคลื่อนที่ไปทางซ้ายจะขยายตัว หลักการดังกล่าวนี้เป็นหลักการทำงานของเครื่องอัดประเภทแผ่นกวาด (sliding vane) ในกรณีนี้แผ่นที่ขยับเข้าออกทำหน้าที่แทนลูกสูบ เครื่องอัดประเภทหมุนเช่นนี้ใช้กันมาประมาณ 50 ปีแล้ว เครื่องอัดที่มีการสั่นสะเทือนน้อยเพราะน้ำหนักของแผ่นน้อยกว่าลูกสูบและเนื่องจากลักษณะการทำงานของเครื่องอัดจึงไม่จำเป็นต้องมีวาล์วและการไหลก๊าซจะเรียบ แต่เครื่องอัดประเภทนี้ก็มีปัญหา เช่น การสูญเสียเนื่องจากความฝืดของแผ่น การสึกหลอและการรั่วจากด้านข้างของแผ่น นอกจากนี้ยังมีข้อเสียคือประสิทธิภาพจะต่ำถ้าความดันที่ต้องการใช้งานไม่สัมพันธ์กับอัตราส่วนการอัดของเครื่องอัด ทั้งนี้เพราะก๊าซจะถูกอัดถึงความดันหนึ่งแล้วปล่อยออกไม่ว่าความดันใช้งานจะเป็นเท่าใด

เครื่องอัดประเภทหมุนอีกชนิดหนึ่ง คืออัดประเภทเกลียว เครื่องอัดที่มีแต่รองลื่นและตัวหมุนตัวผู้และตัวเมียทำหน้าที่อัดก๊าซและมีเฟืองกำกับการความสัมพันธ์ของตัวหมุนทั้งสอง ดังนั้นเหมาะที่จะใช้ที่ความเร็วสูง ในกรณีนี้สมรรถนะจะไม่ตกเนื่องจากการรั่วผ่านช่องระหว่างตัวหมุนและเสื้อ (casing) และจะใช้งานได้ทนทาน

ความดันสูงสุดที่รับได้สำหรับเครื่องอัดนี้ขึ้นอยู่กับการดัดโก่งของตัวหมุน ความดันสูงสุดจะเท่ากับประมาณ 30 kgf / cm^2 (2900 kPa)

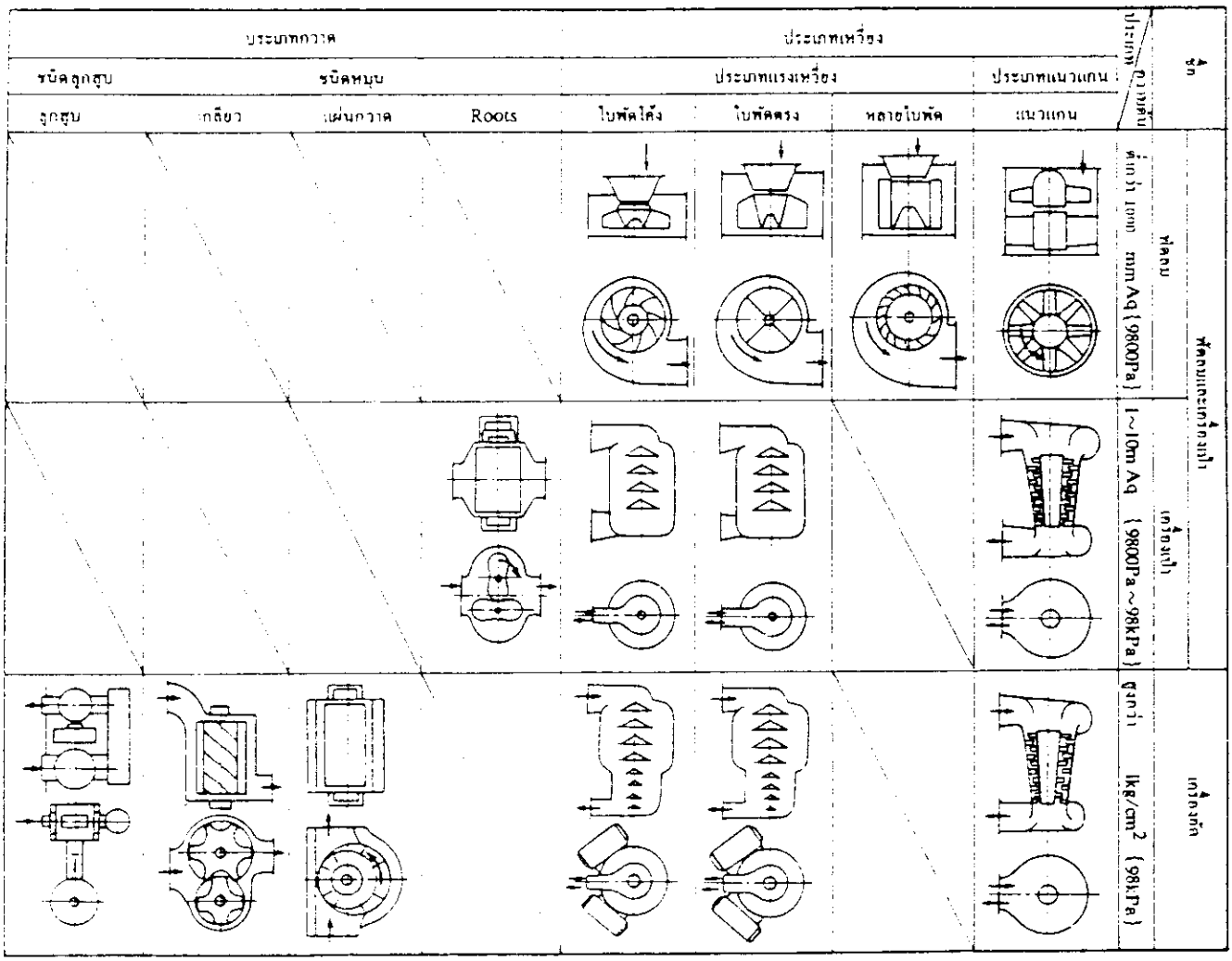
วิธีการอัดที่ก๊าซถูกเคลื่อนไปโดยลูกสู บที่มีรูปร่างซับซ้อน (labyrinth) แต่ประกอบด้วยแผ่นที่มีความสูงคงที่ดังในรูปที่ 2.8 นั้นเป็นหลักการทำงานของเครื่องอัดหรือเครื่องเป่า (Roots) หรือ Roots blower กรณีนี้เนื่องจากไม่มีการอัดภายในเครื่อง การแปรเปลี่ยนของความดันตลอดจนเสียงจะมีมากกว่าเครื่องอัดประเภทแผ่นกวาดและสมรรถนะจะตกลงเร็วถ้าความดันของขาออกสูงกว่าความดันขาเข้ามาก เครื่องอัดประเภทนี้มักใช้งานที่มีความดัน (gauge) ต่ำกว่า 6000 mm Aq (60 kPa)



รูปที่ 2.8 ไม่มีการอัดภายใน (ชนิด Root)

2.2 การจำแนกประเภทของเครื่องอัด

เครื่องอัดมีมากมายหลายชนิด การที่จะเลือกใช้ชนิดใดขึ้นอยู่กับปริมาณลมและความดันที่ต้องการ รูปที่ 2.9 แสดงการจำแนกประเภทของเครื่องอัดโดยความดัน ความดันแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ความดันต่ำน้อยคือพัดลม ความดันปานกลางคือเครื่องเป่า และความดันสูงคือเครื่องอัด เครื่องอัดยังแบ่งออกเป็นประเภทเหวี่ยง (turbo) และประเภทลดปริมาณ (displacement) ประเภทเหวี่ยงนั้นให้ความเร็วและความดันต่อก๊าซโดยแรงเหวี่ยงซึ่งเกิดจากใบพัด ประเภทลดปริมาณนั้นเพิ่มความดันของก๊าซด้วยการลดปริมาณโดยใช้ลูกสูบหรือแผ่นกวาด



รูปที่ 2.9 การจำแนกประเภทของเครื่องอัด

เครื่องอัดประเภทลดปริมาณยังแบ่งออกเป็นแบบชนิดหมุนและชนิดไปกลับ และชนิดหมุนยังแบ่งออกเป็น ชนิด 2 ลอน (two-lobe) ชนิดแผ่นกวาดและชนิดเกลียว

นอกเหนือจากการจำแนกประเภทดังกล่าวข้างต้น เครื่องอัดยังแบ่งได้ตามรูปร่างลักษณะและวิธีการทำงานได้ดังนี้

1. การจำแนกโดยจำนวนตอนของการอัดเช่น 1 ตอน, 2 ตอน เป็นต้น
2. การจำแนกโดยวิธีการอัด : อัดด้านเดียว (single-acting)และอัดสองด้าน (dpuble-acting)
3. การจำแนกโดยการจัดเสื้อสูบ : แบบราบ, แบบตั้ง, แบบ L , แบบ V, แบบ W, แบบดาว และแบบสมดุลย์หันหน้าชนกัน
4. การจำแนกโดยการหล่อเย็น : การหล่อเย็นด้วยน้ำ และการหล่อเย็นด้วยอากาศ
5. การจำแนกโดยวิธีการขับ : ชนิดขับตรง, ชนิดขับสายพาน V ,และชนิดขับด้วยเฟือง
6. การจำแนกโดยวิธีการหล่อเย็น : ชนิดหล่อลื่นด้วยน้ำมัน, ชนิดไม่ใช้น้ำมัน

2.3วิธีการหาค่าความดันลดลงในระบบท่ออัดลม

การหาค่าความดันลดในระบบท่อลมอัดก็เพื่อที่จะได้ปริมาณว่าความดันสุดท้ายที่จุดใช้งานจะเพียงพอหรือไม่ หรือในทางกลับกันหากทราบว่าความดันที่จุดใช้งานสุดท้ายเป็นเท่าไรจะได้ทราบว่าความดันของเครื่องอัดลมควรจะเป็นเท่าไร

ความดันลมขึ้นกับขนาดท่อ , ความยาวท่อ , ความเรียบของผิวท่อ , ความเร็วของลมในท่อ การออกแบบให้ค่าความดันลดพอเหมาะยังจะทำให้ไม่สิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอัดลมอย่างไม่เหมาะสมด้วย

สูตรหาค่าความดันลด $$\Delta P = \frac{\sigma V^{1.85} . L}{d^5 P_1} \qquad 2.5$$

ΔP = ความดันลด

σ = ค่าสัมประสิทธิของความเสียดทาน

V = อัตราการไหลของลม, ลูกบาศก์เมตร/วินาที - m^3/s (free air)

L = ความยาวของท่อ, เมตร - m

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ, มิลลิเมตร-mm

P_1 = ความดันที่เครื่องลมอัด

สำหรับท่อมาตรฐานและสำหรับระบบลมที่อัดที่มีความดันและอุณหภูมิตามปกติ ค่า σ จะมีค่าประมาณ $1.6 * 10^8$

ความยาวของท่อ L เป็นความยาวที่คิดรวมรวมระยะความยาวเปรียบเทียบ(eqivalant length) ของข้อต่อ, ข้องอ,วาล์วต่างๆแล้ว กราฟหาค่าความดันลดนี้ใช้สำหรับหาค่าความดันลดตามสูตรข้างต้นนี้

ตัวอย่าง การหาค่าความดันลดของลมอัดที่มีอัตราการไหล 168 ลิตร/วินาที - 1/ Sที่ความดัน 8 bar (absolute)ผ่านท่อยาว 200 เมตร ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลิเมตร

คำตอบคือ 0.10 bar

รูปที่ 2.10 แสดงกราฟการหาค่าความดันลด

2.4 การออกแบบท่อลมอัด

ในปัจจุบันเครื่องดูดเสมหะส่วนมากจะเป็นแบบ Piping หรือการออกแบบท่อลมดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบท่อดูดซึ่งจะเหมือนกับการออกแบบท่อลมอัดเพียงต่อกลับทางดังนั้นจึงนำหลักการออกแบบท่อลมอัดมานำเสนอ ซึ่งลมอัด (compressed) นั้นจัดได้ว่าเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นสำหรับการใช้งานบางอย่าง โดยเฉพาะสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรม เช่นเดียวกับน้ำและไฟฟ้า ลมอัดได้ถูกนำไปใช้เพื่อป้อนพลังงานให้แก่เครื่องมือ เครื่องจักรต่าง ๆ เพื่อใช้ในงานควบคุมหรืองานขนส่งผลิตภัณฑ์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งลมอัดสามารถนำไปใช้ในการสร้างเคลื่อนไหวในลักษณะเป็นเส้นตรง(linear motion) ยกตัวอย่างเช่น การใช้ฆ้อนลม (air hammers), ใช้กับสว่านเจาะ (rock drills) และใช้กับอุปกรณ์สร้างความสั่นสะเทือนต่าง ๆ นอกจากนั้นยังไปใช้สำหรับการสร้างการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงโดยใช้พวกลูกสูบ กระบอกสูบ สำหรับวาล์วที่ใช้ลม (pneumatic valve) เบรก หรืออุปกรณ์อื่น ๆ นอกจากนั้นก็ยังมีการใช้งานในลักษณะของการทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละออง (atomizing) เช่น การพ่นสี การใช้ในงานดันส่งของเหลวที่มีความหนืดสูง ใช้พ่นฟองอากาศในงานกวนของเหลว หรือแม้แต่ใช้สำหรับงานที่ต้องการหมุน เช่น มอเตอร์ลม และสว่านลม ทั้งนี้ยังไม่นับถึงการใช้ลมอัดนี้สำหรับงานด้านการแพทย์และห้องทดลอง ซึ่งต้องการลมที่สะอาดปราศจากฝุ่น ความร้อนและน้ำมัน เพื่อใช้กับเครื่องมือทางด้านการแพทย์ เช่น เครื่องในการผ่าตัด เครื่องสำหรับหมอฟัน หรือเครื่องสำหรับห้องทดลองเป็นต้น จึงเห็นได้ว่าอากาศอัดนั้นเป็นสิ่งที่มีประโยชน์เป็นอย่างมาก

2.4.1 ธรรมชาติของอากาศ

อากาศเป็นสสารที่ประกอบด้วยส่วนผสมของก๊าซ ได้แก่ ก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ พร้อมด้วยก๊าซอื่นๆอีกเล็กน้อย นอกจากนั้นยังมีความชื้นในรูปของไอที่ระเหยแฝงอยู่ในอากาศอีกด้วย

คุณสมบัติที่สำคัญของอากาศ ซึ่งผู้เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบท่อลมอัดจะต้องมีความเข้าใจก็คือว่า ปริมาตรของอากาศนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงความดัน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันพร้อมกันหรืออาจจะเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \qquad 2.6$$

เมื่อ P_1 , V_1, และ T_1 เป็นค่า ความดัน,ปริมาตรและอุณหภูมิที่สภาวะเริ่มต้น ส่วนP_2 , V_2, และ T_2 เป็นค่าตัวแปร ที่มีการเปลี่ยนแปลง

ดังนั้นการกล่าวถึง ค่าปริมาตรของอากาศเพียงอย่างเดียว ยังไม่เพียงพอที่จะบอกถึงคุณสมบัติของอากาศอัดนั้นได้แต่จำเป็นที่จะต้องระบุถึงค่าความดันและอุณหภูมิของอากาศที่มี

ปริมาตรนั้นๆด้วย ด้วยเหตุนี้ในเรื่องเกี่ยวกับลมอัดนั้นจึงได้มีการกำหนดสภาวะมาตรฐานของอากาศโดยสำหรับหน่วยเมตริกนั้น

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราลมอัดต่อเวลาของหน่วยเมตริกกับหน่วยอังกฤษ

$$1\ dm^3/s = 60\ dm^3/min$$

$$10\ dm = 1\ m$$

$$1\ dm^3 = 0.060\ m^3/min$$

แต่ $0.028317\ m^3 = 1\ FT^3$

ดังนั้น $1\ dm^3/s = \frac{0.06}{0.028317}\ FT^3/min$

$$= 2.119\ FT^3/min$$

$$= 2.1\ FT^3/min$$

จะกำหนดปริมาตรของอากาศที่สภาวะความดัน คือ 1.013 บาร์ ที่ค่าอุณหภูมิ 20° C และเรียกปริมาตรของอากาศที่สภาวะมาตรฐานนี้ว่าเป็น อากาศอิสระหรือ free air ส่วนอัตราการส่งอากาศมาตรฐานดังกล่าวนี้จะเรียกว่า free air delivery ซึ่งมีค่าเป็น เดซิคิวบิกเมตรต่อวินาที หรือเขียนเป็นตัวย่อได้ว่า dm^3/s และสำหรับหน่วยอังกฤษนั้นจะกำหนดสภาวะมาตรฐานไว้ที่ค่าความดันบรรยากาศคือ 14.7 ปอนด์ต่อหนึ่งตารางนิ้ว และค่าอุณหภูมิ 60° F ซึ่งปริมาตรอากาศนี้เรียกว่าปริมาตรอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุต ส่วนอัตราการส่งอากาศมาตรฐานนี้กำหนดเป็นหน่วยคิวบิกฟุตของอากาศมาตรฐานต่อนาที หรือเขียนได้ย่อๆว่า SCFM (Standard Cubicfeet per Minute) ความสัมพันธ์ของอัตราลมอัดต่อเวลาทั้งสองหน่วย

การกำหนดสภาวะมาตรฐานนี้ขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถกล่าวถึงปริมาตรของอากาศ ที่เป็นที่เข้าใจกันดีแล้วว่ามีความดันและอุณหภูมิมาตรฐาน โดยของหน่วยเมตริกจะมีคำว่า F.A.D. ต่อท้ายและของหน่วยอังกฤษจะมีคำว่า SCFM ต่อท้าย ซึ่งมีประโยชน์ประอย่างยิ่งสำหรับใช้ในการเลือกหรือกำหนดอัตราการทำงานของเครื่องอัดอากาศ (air compressor) และปริมาตรของอากาศที่เครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่างๆ จะต้องใช้

สำหรับลมอัดที่เรานำไปใช้งานนั้นก็คือ การนำเอาอากาศในสภาวะแวดล้อม (ซึ่งไม่จำเป็นจะต้องมีสภาพเช่นเดียวกับอากาศตามสภาวะมาตรฐาน เพราะอุณหภูมิของอากาศและความดันจะเปลี่ยนแปลงไปตามวัน เวลา และตามระดับความสูงจากน้ำทะเลของแต่ละสถานที่) มาอัดเพื่อให้อากาศมีความดันสูงขึ้น ซึ่งย่อมมีผลให้อากาศที่ถูกอัดแล้วนี้มีความดันสูงขึ้นและมีอุณหภูมิสูงยิ่งขึ้นซึ่งเป็นขบวนการที่เรียกว่า adiabatic compression อย่างไรก็ตามขบวนการอัดอากาศที่เราต้องการในทางทฤษฎีก็คือ ขบวนการอัดอากาศที่เพิ่มแต่เฉพาะความดันของอากาศโดยอุณหภูมิของอากาศไม่เพิ่มขึ้น ที่เรียกว่า ขบวนการอัดอากาศแบบ isothermal compression ซึ่งต้องการพลังงานในการอัดอากาศน้อยกว่าขบวนการแบบ adiabatic compression แต่ในสภาวะความเป็นจริงแล้วการ

อัดอากาศแบบ isothermal จะต้องใช้เวลานับเป็นชั่วโมงๆ กว่าจะอัดอากาศให้ได้สัก 1 ปริมาณลูกสูบเพราะต้องค่อยๆเพิ่มความดันให้แก่อากาศทีละน้อย โดยพยายามรักษาอุณหภูมิของอากาศไม่ให้เพิ่มขึ้น แม้ขบวนการอัดอากาศที่เกิดขึ้นจริงจะเป็นแบบ adiabatic เราก็พยายามทำให้มันเป็นแบบ isothermal โดยการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการอัดอากาศออกไปให้มากที่สุดดังนั้นจึงถือได้ว่าอุณหภูมิไม่มีส่วนเข้ามาเกี่ยวข้องกกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอากาศ ดังนั้นตัวแปรที่เข้ามาเกี่ยวข้องก็จะมีแต่เฉพาะความดันและปริมาตร ซึ่งเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{ค่าคงที่} \qquad 2.7$$

ความสัมพันธ์ดังกล่าวนั้นเรียกว่า Boyle ' s law ตามชื่อของนักวิทยาศาสตร์ผู้ค้นพบ (ในขณะที่รักษาค่าความดันให้คงที่ ปริมาตรของอากาศจะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น คือ $(V_1/ P_1) = (V_2/ P_2)$ ที่เรียกว่า Charle' s law) หรือสูตรดังกล่าวนั้นสามารถเขียนได้อีกอย่างหนึ่งว่า

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \qquad 2.8$$

หรือ

$$\frac{\text{ปริมาตรอากาศก่อนถูกอัด}}{\text{ปริมาตรลมอัด}} = \frac{\text{ความดันของลมอัด (compress air pressure)}}{\text{ความดันบรรยากาศ}}$$

ตารางที่ 2.2 และ2.3 ค่าอัตราส่วนการอัดระบบเมตริก

ค่าความดันเกจเป็นบาร์	0·5	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16
อัตราส่วนการอัด	1·5	1·99	2·97	3·96	4·95	5·94	6·92	7·91	8·9	10·87	12·85	14·82	18·77

ค่าความดันเกจเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	200
ค่าอัตราส่วนการอัด	5·05	5·76	6·44	7·12	7·8	8·48	9·16	9·84	10·52	11·2	14·6

ตารางที่ 2.4 ปริมาตรของอากาศอัดที่สภาวะสภาวะมาตรฐานและเมื่อถูกอัดมีความดันต่างๆ หน่วยเมตริก

ปริมาตรอากาศอิสระ dm^3	ปริมาตรอากาศอัดที่ความดันต่าง ๆ เป็น dm^3		
dm^3	4 บาร์	5 บาร์	7 บาร์
5	1·01	0·84	0·63
10	2·02	1·68	1·26
15	3·03	2·52	1·90
20	4·04	3·37	2·53
25	5·05	4·21	3·16
30	6·06	5·05	3·79
35	7·07	5·89	4·42
40	8·08	6·73	5·06
50	10·1	8·42	6·32
60	12·1	10·1	7·58
70	14·1	11·8	8·85
80	16·2	13·5	10·1
90	18·2	15·1	11·4
100	20·2	16·8	12·6
125	25·2	21·0	15·8
150	30·3	25·2	19·0
175	35·3	29·5	22·1
200	40·4	33·7	25·3
225	45·4	37·9	28·4
250	50·5	42·1	31·6
275	55·5	46·3	34·8
300	60·6	50·5	37·9
350	70·7	59·0	44·2
400	80·8	67·3	50·6
500	101·0	84·2	63·2
750	151·0	126·0	95·0
1000	202·0	168·0	126·0
1250	252·0	210·0	158·0

ตารางที่ 2.5 ปริมาตรอากาศอัดที่สภาวะมาตราฐานและเมื่อถูกอัดมีความดันต่างๆหน่วยอังกฤษ

ปริมาตรอากาศอิสระ FT^3	ปริมาตรอากาศอัดที่ความดันต่าง ๆ เป็น FT^3		
	60 psi	80 psi	100 ปอนด์
10	1·96	1·55	1·28
20	3·94	3·10	2·56
30	5·89	4·65	3·84
40	7·86	6·20	5·12
50	9·84	7·74	6·41
60	11·8	9·29	7·68
70	13·8	10·8	8·96
80	15·7	12·4	10·2
90	17·7	14·0	11·5
100	19·6	15·5	12·8
125	24·8	19·4	15·8
150	29·5	23·5	19·2
175	34·4	27·2	22·4
200	39·4	31·0	25·6
250	49·2	38·7	31·6
300	58·9	48·5	38·4
350	68·8	54·2	44·8
400	78·8	62·0	51·2
450	88·4	69·7	57·7
500	98·4	77·4	63·3
600	118·0	82·9	76·9
700	138·0	108·0	89·6
800	157·0	124·0	103·0
900	177·0	140·0	115·0
1000	196·0	155·0	127·0
1500	295·0	232·0	192·0
2000	394·0	310·0	256·0
2500	492·0	387·0	316·0

ค่า P_2/P_1 เราเรียกว่า อัตราส่วนของการอัด หรือ ratio of compression ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนความดันที่เป็นค่าความดันสมบูรณ์ หรือ absolute pressure ซึ่งเขียนได้ว่า

$$\text{อัตราส่วนของการอัด} = \frac{P + 1.013}{1.013} \text{ ในระบบเมตริกหรือ} \qquad 2.9$$

$$= \frac{P + 14.7}{14.7} \text{ ในระบบอังกฤษ}$$

ในเมื่อค่า P เป็นค่าความดันเกจที่วัดในแต่ละหน่วยเป็นบาร์และเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ ดังนั้นเมื่อเราทราบปริมาตรของอากาศในสภาวะมาตรฐานและทราบค่าของความดันที่ต้องการอัดลมให้มีความดันสุดท้ายที่ความดันดังกล่าวนั้นเราจะสามารถหาปริมาตรของอากาศที่ความดันหลังจากถูกอัดแล้วได้ทันที โดยเอาปริมาตรของอากาศ ณ สภาวะมาตรฐานมาหารด้วยค่าอัตราส่วนการอัด ซึ่งค่าอัตราส่วนการอัดมีความดันต่างๆ นี้จะปรากฏในตารางที่ 2.2 และ 2.3 ส่วนค่าปริมาตรของอากาศที่สภาวะมาตรฐานเทียบกับค่าปริมาตรของอากาศที่ถูกอัดแล้วที่ความดันต่างๆ จะปรากฏดังตารางที่ 2.4 และ 2.5 และตัวอย่างการหาค่าปริมาตรของลมที่ถูกอัดที่ความดันต่าง จะปรากฏดังตัวอย่างที่ 2.1 ต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 2.1 การหาค่าปริมาตรลมอัดที่ความดันต่างๆ : อากาศ 100 dm^3 F. A. D. จะมีปริมาตรเท่าใดที่ความดัน 10 บาร์ ค่าอัตราส่วนการอัด = 10.87 ดังนั้นอากาศ 100 dm^3 F. A. D. จะมีปริมาตร = 100/10.87 = 9.199 dm^3 ที่ความดันนี้ : อากาศ 300 FT^3 Free Air จะมีปริมาตรเท่าใดที่ความดัน 150 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

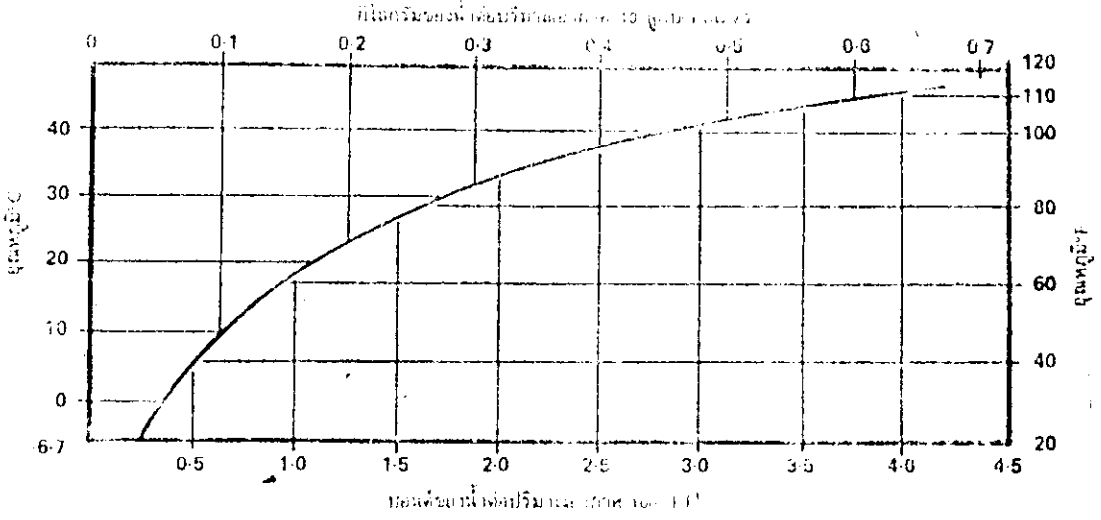
ที่ความดัน 150 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ค่าอัตราส่วนการอัด = 11.2 ดังนั้นอากาศ 300 FT^3 Free Air จะมีปริมาตร = 150/11.2 = 13.4 FT^3 ที่ความดันนี้

2.4.2ปริมาณความชื้นในอากาศ

อากาศโดยทั่วไปจะมีปริมาณความชื้นในรูปของไอน้ำแฝงอยู่ด้วยเสมอ ปริมาณไอนี้จะมีอยู่ในอากาศมากเพียงใดนั้นขึ้นกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ กล่าวคือความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งปรากฏดังในตารางที่ 1.8 ส่วนเมื่อมีค่าของความดันเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศกลับจะลดลง

ดังนั้นเมื่อนำอากาศในสภาวะแวดล้อมมาอัดโดยใช้เครื่องอัดอากาศจะเกิดผลขึ้น 2 ประการนั้นคือ ขีดความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศจะลดลง ในขณะที่อากาศถูกอัดให้มีปริมาตรลดลงแต่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าของอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการอัดของอากาศ กล่าวอย่างรวมๆแล้ว โดยทั่วๆไปอากาศที่ออกจากเครื่องอัดอากาศจะมีขีดความสามารถในการขับเอาไอน้ำที่เคยมีอยู่ในอากาศปริมาณเดิมเอาไว้ได้ อย่างไรก็ตามเมื่ออากาศนี้มีอุณหภูมิต่ำลง ไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเดิมก็จะแยกตัวออกมาเป็นหยดน้ำตามสภาวะของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 2.6 กราฟแสดงค่าปริมาณความชื้นของอากาศ (ที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 100 %)



อย่างไรก็ตาม การใช้งานลมอัดนั้นเรามีความต้องการแยกไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศออกไปให้มากที่สุด นั่นจึงเป็นเหตุผลที่ว่าเมื่ออากาศที่ถูกอัดออกมาจากเครื่องอัดอากาศแล้วจึงจะต้องถูกนำไปผ่านเครื่องทำให้อากาศแห้ง ซึ่งวิธีการอันหนึ่งก็คือ ใช้เครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก (refrigerated air dryer) เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศให้ต่ำลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำแยกออกมาจากอากาศเสียก่อน (อาจจะมีวิธีแยกเอาไอน้ำออกจากอากาศวิธีอื่นๆ อีก แต่วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด) อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีไอน้ำหลงเหลืออยู่ในลมอัดที่ผ่านออกไปจากเครื่องอัดอากาศและเครื่องแยกความชื้นนั้น และจะถูกส่งออกไปตามระบบท่อลมอัด ซึ่งเมื่ออากาศที่ถูกส่งออกไปแล้วนี้ได้ระบายความร้อนออกจากตัวมันไปเรื่อยๆ ก็จะทำให้มีไอน้ำที่อยู่ในลมอัดกลั่นตัวเป็นหยดน้ำออกมาอีก เมื่ออากาศอัดนี้ได้เข้าไปในถังเก็บลม(air receiver) อากาศก็จะมีเวลาที่ลดอุณหภูมิของตัวมันลง และไอน้ำในอากาศอัดนี้ก็จะกลั่นตัวอีก ดังนั้นในการออกแบบระบบท่อลมอัดนี้ การระบายน้ำที่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำจากอากาศที่ส่งไปตามท่อจึงเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงด้วยเช่นกัน

2.4.3 ถังเก็บอากาศ (Air Receiver)

หลังจากอากาศได้ผ่านเครื่องอัดอากาศและได้ผ่านเครื่องกำจัดความชื้นมาแล้ว (รายละเอียดของอุปกรณ์ดังกล่าวจะไม่กล่าวในที่นี้) อากาศที่ถูกอัดให้มีความดันเพิ่มขึ้นนี้จะถูกนำไปเก็บไว้ในถังเก็บลมอัด ซึ่งมีประโยชน์หลายประการ นอกจากจะเป็นการสำรองปริมาณลมอัดไว้สำหรับการใช้งานแล้ว ก็ยังมีประโยชน์สำหรับการทำให้ความดันในระบบเท่ากัน เพื่อลดแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจากการอัดของลูกสูบและเพื่อรักษาความดันในระบบให้สม่ำเสมอนอกจากนี้ถังเก็บลมยังมีประโยชน์สำหรับการช่วยลดความชื้นในอากาศที่ยังคงเหลืออยู่ ซึ่งสามารถสรุปประโยชน์ของถังอัดลมดังต่อไปนี้

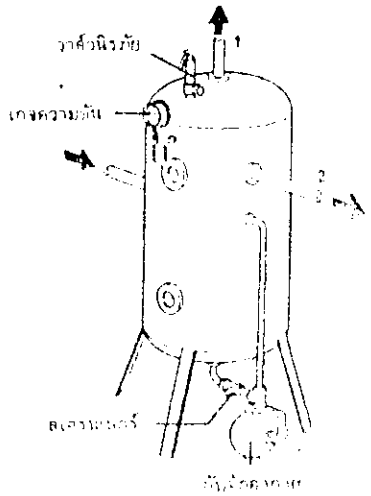
ก. ช่วยลดปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในลมอัด นอกจากนี้น้ำมันที่ใช้ในการหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์ที่ติดมาในลมอัด ก็จะได้มีโอกาสตกลงสู่ก้นถัง ซึ่งหมายถึงพวกฝุ่นละอองต่างๆ และของแข็งจะได้มีโอกาสระบายออกไปจากลมอัด

ข. ช่วยลมลดแรงกระแทกและทำให้ความดันในระบบสม่ำเสมอเพื่อทำให้การไหลของอากาศไปตามท่อจ่ายลมหลัก และท่อจ่ายลมสาขานั้นเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งนับว่าจำเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะสำหรับการใช้เครื่องอัดชนิดใช้ลูกสูบ (reciprocating) อัดอากาศ

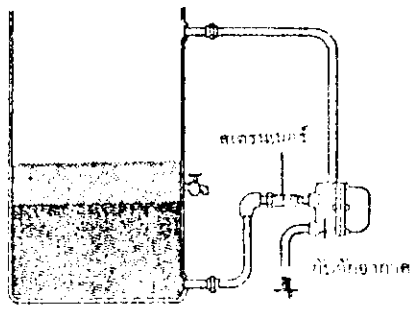
ค. เพื่อใช้สำหรับการเก็บลมอัดเอาไว้ในการใช้งาน ซึ่งในบางขณะอาจจะมีความต้องการปริมาณลมอัดมากกว่าปริมาณที่เครื่องอัดอากาศจะสามารถอัดได้ ดังนั้นจึงทำให้สามารถเลือกใช้เครื่องอัดอากาศที่มีขนาดเล็กลงกว่าปริมาณความต้องการลมอัดสูงสุด และนอกจากนั้นยังทำให้ไม่จำเป็นจะต้องเดินเครื่องอัดอยู่ตลอดเวลา ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องของกระแสไฟฟ้าได้

ถังเก็บลมอัดนี้ เนื่องจากเป็นดังความดันจึงต้องได้รับการสร้างขึ้นให้ถูกตามมาตรฐาน โดยใช้แผ่นโลหะที่มีความหนาอย่างเพียงพอและการเชื่อมถังที่ต้องกระทำอย่างถูกต้อง เพื่อให้ถัง

สามารถทนต่อความกดดันของอากาศที่อยู่ภายในได้ นอกจากนี้จะต้องมีอุปกรณ์ประกอบอันได้แก่ pressure gauge สำหรับวัดค่าความดัน และวาล์วนิรภัย เพื่อให้สามารถระบายอากาศอัดในถังออกไปได้ในกรณีฉุกเฉิน นอกจากนั้นก็ควรมีช่องหน้าต่างสำหรับดูภายในและที่สำคัญที่สุดคือ กับดักอากาศ (compressor air trap) เพื่อให้สามารถระบายน้ำและน้ำมันที่อยู่ได้ก้นถังออกไปได้ รายละเอียดของถังเก็บอากาศจะเป็นไปดังรูปที่ 2.11 ส่วนการติดตั้งกับดักอากาศนั้นจะเป็นได้ดังรูปที่ 2.12 และในกรณีที่เป็นถังแบบแนวนอนรายละเอียดการติดตั้งจะเป็นไปดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.11 ถังเก็บลมอัดแนวตั้ง



รูปที่ 2.12 การติดตั้งกับดักอากาศเพื่อระบายน้ำและและน้ำมันที่อยู่ก้นถังออก

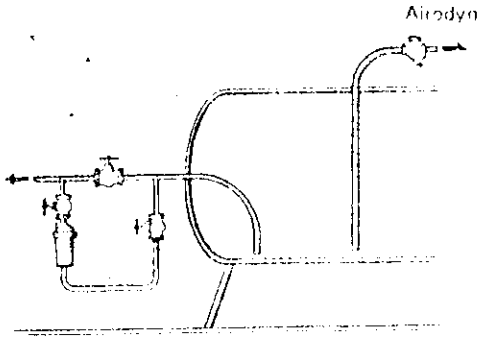
ส่วนปริมาตรความจุของถังอัดอากาศนี้จะได้รับการกำหนดมาโดยผู้ผลิตเครื่องอัดอากาศโดยคิดเทียบกับปริมาณอัตราการอัดอากาศของเครื่องและอัตราการใช้อากาศนั้นโดยเฉลี่ย อย่างไรก็ตามถ้าความต้องการปริมาณลมอัดนั้นสูงและค่อนข้างสม่ำเสมอ อากาศที่อยู่ในถังอัดอากาศจะมีเวลาสำหรับการเย็นตัวน้อยเกินไปและปริมาณของลมอัดที่เก็บเอาไว้ อาจจะค่อนข้างต่ำเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกหรือกำหนดขนาดของถังอัดอากาศโดยคิดตามปริมาณความต้องการที่แท้จริง แทนที่จะคิดปริมาณลมที่เครื่องอัดอากาศสามารถทำได้

ผู้ผลิตเครื่องอัดอากาศรายหนึ่งได้แนะนำการเลือกหรือกำหนดขนาดของถังอัดอากาศไว้ดังนี้คือ

ปริมาตรของถังอัดอากาศเป็นลูกบาศก์เมตร = $\frac{\text{ปริมาตรของอากาศอิสระที่ต้องการ}}{\text{ค่าความดันที่ยอมให้ได้เป็นบาร์}}$

หรือ

ปริมาตรของถังอัดอากาศเป็นลูกบาศก์ฟุต = $\frac{\text{ลูกบาศก์ฟุตของอากาศอิสระที่ต้องการ} * 14.7}{\text{ค่าความดันลดที่ยอมให้ได้เป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว}}$



รูปที่ 2.13 ถังเก็บลมอัดตามแนวนอน

2.4.4การออกแบบท่อลมอัด

ก่อนที่จะออกแบบท่อลมอัดในสิ่งแรกที่ผู้ออกแบบจำเป็นจะต้องรู้ก็คือ ปริมาณการใช้อากาศ ณ จุดต่างๆพร้อมทั้งค่าความดันที่ต้องการ ตัวเลขต่างๆนี้จะได้จากอัตราการใช้ลมอัดของเครื่องมือต่างๆอย่างไรก็ตามตามตารางที่ 2.7 จะให้ค่าปริมาณความต้องการลมอัดของเครื่องมือประเภทต่าง ที่สามารถใช้เทียบเคียงกับปริมาณความต้องการที่แท้จริงได้

หลังจากได้ตำแหน่งที่มีความต้องการปริมาณลมอัดแล้ว ทางผู้ออกแบบก็จะต้องวางแนวท่อเมน (main) เพื่อจ่ายลมไปยังจุดที่มีความต้องการปริมาณลมอัดนั้น การวางแนวท่อเมนนี้นอกจากจะวางเป็นแนวเส้นตรงอย่างธรรมดาๆ แล้ว ในบริเวณที่มีความต้องการปริมาณลมอัดซึ่งกระจายอยู่รอบๆในบริเวณใด บริเวณหนึ่งอาจจะเดินท่อจ่ายลมจากท่อเมนเป็นรูปวงแหวนดังรูปที่ 2.13 ซึ่งจะช่วยทำให้สามารถจ่ายลมอัดไปยังจุดที่ต้องการได้ทั้งสองทางและยังมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับในกรณีที่ปิดท่อเมนด้านใดด้านหนึ่งเพื่อทำการซ่อมแซม โดยการเพิ่มวาล์วจากท่อที่แยกออกมา

หลังจากนั้นก็แปลงปริมาณความต้องการของอากาศซึ่งอาจจะเป็นปริมาณความต้องการอากาศมาตรฐานที่สภาวะบรรยากาศไปเป็นปริมาณของอากาศและสภาวะความดันที่ต้องการใช้งานนั้นโดยใช้ปริมาณของอากาศที่ความดันบรรยากาศ หารด้วยค่า compression ratio ดังที่กล่าวมาแล้ว

การหาขนาดของท่อสามารถทำได้โดยการกำหนดค่าความเร็วของลมอัดที่จะวิ่งไปในท่อ ซึ่งค่าความเร็วที่เหมาะสมก็ได้แก่ค่าความเร็วประมาณ 6-9 เมตรต่อวินาที (20-30 ฟุตต่อวินาที) ซึ่งเป็นค่าความเร็วของลมอัดที่ไม่สูงจนเกินไปนัก จะไม่ก่อให้เกิดค่าความดันลดมากจนเกินไปในระบบ และยังเป็นค่าที่ทำให้ปริมาณความชื้นที่ยังมีหลงเหลืออยู่ในลมอัดนั้นสามารถถูกตัวกับดักอากาสดักเก็บเอาไว้ได้ และปริมาณความชื้นนี้จะตกไปยังส่วนที่ต่ำสุดของท่อ

ส่วนท่อย่อยที่แยกออกจากท่อเมนนั้น เราสามารถใช้ค่าความเร็วที่สูงกว่านี้ได้ โดยไม่ก่อให้เกิดความดันลดที่สูงจนเกินไป เหตุผลก็คือว่า ท่อที่แยกออกไปนี้จะไม่ยาวนัก ดังนั้นจึงสามารถเลือกท่อให้มีขนาดเล็ก ซึ่งจะทำให้ความเร็วของลมในท่อสูงและก่อให้เกิดค่าความดันลดสูงได้

ตารางที่ 2.7 ปริมาณความต้องการลมอัดของอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

ชนิดของเครื่องมือ	ปริมาณอากาศที่ต้องการเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (ลิตรต่อวินาที) ที่ความดันลมอัด ๙๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้วเกจ (๖๒๐.๕ กิโลปาสคาล)
Grinders, 6 in. (152.4 mm) and 8 in. (203.2 mm) wheels	50 (23.6)
Grinders, 2 in. (50.8 mm) and 2-1/2 in. (63.5 mm) wheels	14-20 (6.6-9.4)
File and burr machines	18 (8.5)
Rotary sanders, 9 in. (228.6 mm) pads	53 (25.0)
Rotary sanders, 7 in. (177.8 mm) pads	30 (14.2)
Sand rammers and rampers	
1 in. (25.4 mm) × 4 in. (101.6 mm) cylinder	25 (11.8)
1-1/4 in. (31.8 mm) × 5 in. (127 mm) cylinder	28 (13.2)
1-1/2 in. (38.1 mm) × 6 in. (152.4 mm) cylinder	39 (18.4)
Chipping hammers, weighing 10-13 lbm (4.5-5.9 kg)	28-30 (13.2-14.2)
heavy	39 (18.4)
weighing 2-4 lbm (0.9-1.8 kg)	12 (5.7)
Nut setters to 3/16 in. (7.9 mm) weighing 8 lbm (3.6 kg)	20 (9.4)
Nut setters 1/2 in. (12.7 mm) to 3/4 in. (19.1 mm) weighing 18 lbm (8.2 kg)	30 (14.2)
Sump pumps, 145 psi (548.8 L) (a 50 ft., 15.2 m, head)	70 (33.0)
Paint spray, average	7 (3.3)
variation	2-20 (0.9-9.4)
Hushing saw (maximum)	5-25 (2.4-11.8)
Carving tools (maximum)	10-15 (4.7-7.1)
Plug drills	40-50 (18.9-23.6)
Riveters, 3/32 in. (2.4 mm) - 1 in. (25.4 mm) rivets	12 (5.7)
larger weighing 18-22 lbm (8.2-10 kg)	35 (16.5)
	15-39 (16.5-18.4)
Paint busters	40 (18.9)
Wood borers to 1 in. (25.4 mm) diameter weighing 4 lbm (1.8 kg)	80 (37.8)
2 in. (50.8 mm) diameter weighing 26 lbm (11.8 kg)	
Steel drills, rotary motors	
Capacity up to 1/4 in. (6.4 mm) weighing 1-1/4-4 lbm (0.6-1.8 kg)	18-20 (8.5-9.4)
Capacity 1/4 in. (6.4 mm) to 3/8 in. (9.5 mm) weighing 6-8 lbm (2.7-3.6 kg)	20-40 (9.4-18.9)
Capacity 1/2 in. (12.7 mm) to 3/4 in. (19.1 mm) weighing 9-14 lbm (4.1-6.4 kg)	70 (33.0)
Capacity 7/8 in. (22.2 mm) to 1 in. (25.4 mm) weighing 25 lbm (11.4 kg)	80 (37.8)
Capacity 1-1/4 in. (31.8 mm) weighing 30 lbm (13.6 kg)	95 (44.8)
Steel drills, piston type	
Capacity 1/2 in. (12.7 mm) to 3/4 in. (19.1 mm) weighing 13-15 lbm (5.9-6.8 kg)	45 (21.2)
Capacity 7/8 in. (22.2 mm) to 1-1/4 in. (31.8 mm) weighing 25-30 lbm (11.4-13.6 kg)	75-80 (35.4-37.8)
Capacity 1-1/4 in. (31.8 mm) to 2 in. (50.8 mm) weighing 40-50 lbm (18.2-22.7 kg)	80-90 (37.8-42.5)
Capacity 2 in. (50.8 mm) to 3 in. (76.2 mm) weighing 55-75 lbm (25-35.1 kg)	100-110 (47.2-51.9)

ปริมาณอากาศเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (ลิตรต่อวินาที) ที่ใช้สำหรับการขัดด้วยทราย (Sand Blast)

หัวฉีดขัดทราย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด (นิ้ว)	ความดันลมอากาศขณะใช้งานเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว (กิโลปาสคาล)			
	60 (413.7)	70 (482.6)	80 (551.6)	100 (689.5)
1/16 in.	4 (1.9)	5 (2.4)	5.5 (2.6)	6.5 (3.1)
3/32 in.	9 (4.3)	11 (5.2)	12 (5.7)	15 (7.1)
1/8 in.	17 (8.0)	19 (9.0)	21 (9.9)	26 (12.3)
3/16 in.	38 (17.9)	43 (20.3)	47 (22.2)	58 (27.4)
1/4 in.	67 (31.6)	76 (35.9)	85 (40.1)	103 (48.6)
5/16 in.	105 (49.6)	119 (56.2)	133 (62.8)	161 (76.0)
3/8 in.	151 (71.3)	171 (80.7)	191 (90.2)	232 (109.5)
1/2 in.	268 (126.5)	304 (143.5)	340 (160.5)	412 (194.5)

ตารางที่ 2.8 มาตรฐานของท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆกันหน่วยเมตริก

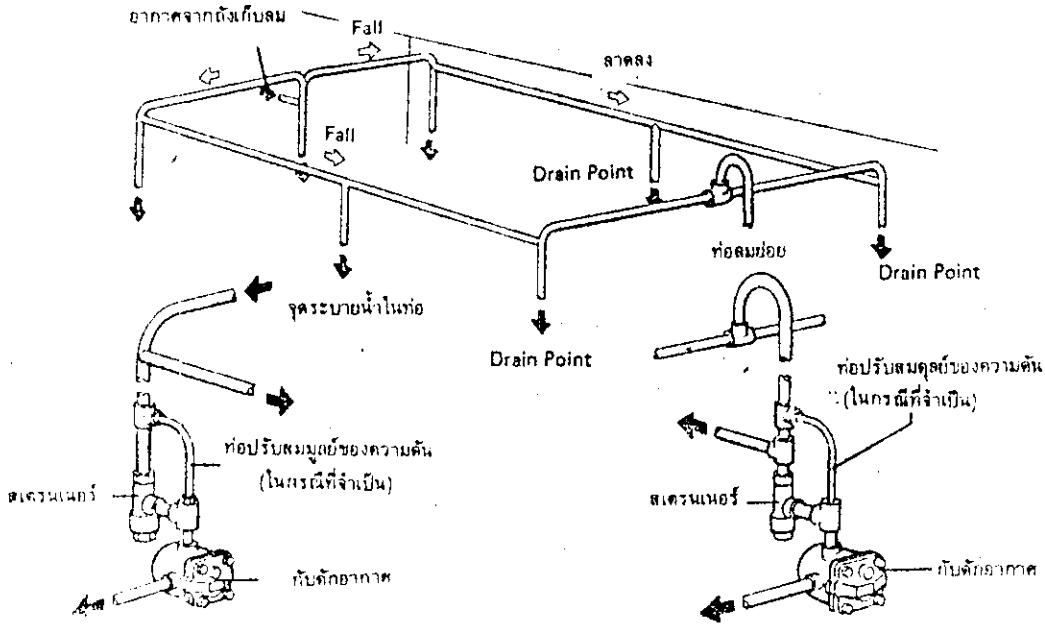
ท่อเหล็กตามมาตรฐาน BS 1387			ท่อทองแดงตามมาตรฐาน BS 2871 Pt 2			ท่อไนลอนชนิดเบาตามมาตรฐาน CETOP RP 54 P ใช้กับอุณหภูมิถึง 30°C		
เส้นผ่าศูนย์กลางท่อเป็น nominal mm.	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อเกรดปานกลาง(mm)	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อเกรดหนัก (mm)	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก(mm)	ความหนา (mm)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)	OD (mm)	Min ID (mm)	ค่าความดันใช้งานสูงสุดเป็นบาร์ที่อุณหภูมิ 30°C
6	5·8	4·5	3	0·8	1·72	4	2·77	12
8	8·6	7·5	4	0·6	2·72	5	3·55	13
10	12·1	11·0	6	0·8	4·32	6	4·24	13
15	15·8	14·6	8	0·8	6·32	8	5·74	14
20	21·3	20·1	10	0·8	8·32	10	7·24	14
25	26·9	25·3	12	1·0	9·90	12	9·24	11
32	35·6	34·0	16	1·0	13·9	16	12·74	10
40	41·5	39·9				18	14·7	9
60	52·5	50·8				22	18·1	9
65	68·1	66·4				28	23·14	9
80	80·0	78·4						
100	104·0	102·0						
125	129·0	128·0						
150	154·0	153·0						

Note: 1 bar = 100 kPa

ตารางที่ 2.9 มาตรฐานของท่อเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆกันหน่วยอังกฤษ

ท่อเหล็กตามมาตรฐาน BS 1387			ท่อทองแดงตามมาตรฐาน BS 2871-1957			ท่อไนลอนชนิดเบาตามมาตรฐาน CETOP RP 54 P ใช้กับอุณหภูมิต่ำกว่า 120°F		
เส้นผ่าศูนย์กลางท่อเป็น nominal (inches)	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อเกรดปานกลาง (inches)	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อเกรดหนัก(inches)	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (inches)	ความหนา SWG	เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (inches)	OD (inches)	Min ID (inches)	ค่าความดันใช้งานสูงสุดเป็น psi ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 120°F
⅛	0·228	0·178	⅛	22	0·066	⅛	0·058	500
¼	0·338	0·290		20	0·050	3/16	0·122	400
3/8	0·476	0·428	3/16	22	0·128	¼	0·166	400
½	0·623	0·575		20	0·112	5/16	0·213	400
¾	0·839	0·791	¼	22	0·191	3/8	0·245	400
1	1·060	0·996		20	0·175	½	0·369	250
1¼	1·401	1·337	5/16	22	0·253	3/8	0·587	250
1½	1·633	1·569		20	0·237	⅛	0·680	200
2	2·066	2·002	3/8	22	0·316			
2½	2·681	2·617		20	0·300			
3	3·141	3·085	½	20	0·425			
4	4·107	4·035		18	0·401			
5	5·075	5·035						
6	6·075	5·035						

ที่ค่าความดันประมาณ 5-7 บาร์ สามารถใช้ค่าความเร็วของท่อแยกนี้ได้ประมาณ 18-24 เมตรต่อวินาที (80-100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และค่าความเร็ว 60-80 ฟุตต่อวินาที)



รูปที่ 2.14 การเดินท่อลมอัดเมนเป็นรูปวงแหวน ทำให้สามารถจ่ายลมอัดไปยังจุดที่ต้องการได้ทั้ง 2 ทางซึ่งมีประโยชน์ในการปิดท่อลมเมนด้านใดหนึ่งเพื่อการซ่อมแซม

ตารางที่ 2.8 , 2.9 จะเป็นขนาดมาตรฐานของท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างๆกันและตารางที่ 2.10 , 2.11 จะแสดงปริมาณของลมอัดที่ท่อซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างๆ สามารถส่งได้ที่ความเร็วต่างๆกันซึ่งมีประโยชน์เป็นอย่างยิ่งสำหรับการใช้กำหนดขนาดของท่อลมอัดหรือจะสามารถใช้โมโนกราฟ ดังในรูปที่ 2.15 , 2.16 เพื่อหาปริมาณของอากาศที่ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างๆ สามารถส่งได้ที่ความเร็วต่างๆ ก็ได้เช่นเดียวกัน

ความเร็ว	Volume of air through medium grade steel pipe, to BS 1387, minimum bore											
(เมตรต่อวินาที)	15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	200 mm
3·0	0·6	1·1	1·7	3·0	4·1	6·5	10·9	15·1	25·7	39·2	56·2	98·5
3·5	0·7	1·3	2·0	3·5	4·7	7·6	12·7	17·6	30·0	45·7	65·5	115·0
4·0	0·8	1·4	2·3	4·0	5·4	8·7	14·6	20·1	34·2	52·2	74·9	131·0
4·5	0·9	1·6	2·6	4·5	6·1	9·8	16·4	22·6	38·5	58·8	84·2	147·0
5·0	1·0	1·8	2·8	5·0	6·8	10·8	18·2	25·1	42·8	65·4	93·6	164·0
5·5	1·1	2·0	3·1	5·5	7·4	11·9	20·0	27·6	47·1	71·9	103·0	181·0
6·0	1·2	2·1	3·4	6·0	8·1	13·0	21·8	30·1	51·3	78·5	112·0	197·0
6·5	1·3	2·3	3·7	6·5	8·8	14·1	23·7	32·6	55·6	85·0	122·0	213·0
7·0	1·4	2·5	4·0	7·0	9·5	15·1	25·5	35·1	59·9	91·5	131·0	230·0
7·5	1·5	2·7	4·3	7·5	10·1	16·2	27·3	37·6	64·2	98·0	140·0	246·0
8·0	1·6	2·8	4·5	8·0	10·8	17·3	29·1	40·1	68·5	105·0	150·0	263·0
8·5	1·7	3·0	4·8	8·5	11·5	18·4	31·0	42·6	72·8	111·0	159·0	278·0
9·0	1·8	3·2	5·1	9·0	12·2	19·5	32·8	45·1	77·1	118·0	169·0	296·0

ตารางที่ 2.10 ปริมาณของลมอัดที่ท่อเหล็กเกรดปานกลางตามมาตรฐาน BS 1387 สามารถส่งไปได้ที่ความเร็วต่างๆ(หน่วยเมตริก)

ความเร็ว (ฟุตต่อนาที)	Volume of air through medium grade steel pipe, to BS 1387, minimum bore											
	½"	¾"	1"	1¼"	1½"	2"	2½"	3"	4"	5"	6"	8"
10	1·3	2·3	3·6	6·4	8·7	14	23	32	55	84	121	211
12	1·5	2·8	4·4	7·7	10·0	16	28	39	66	101	145	254
14	1·8	3·2	5·1	8·9	12·0	19	33	45	77	118	169	296
16	2·0	3·7	5·9	10·3	14·0	22	38	52	88	135	193	339
18	2·3	4·1	6·6	11·6	16·0	25	42	58	99	152	217	381
20	2·5	4·6	7·3	12·8	17·0	28	47	66	110	168	242	423
22	2·8	5·1	8·1	14·1	19·0	31	52	71	121	185	266	466
24	3·0	5·5	8·8	15·4	21·0	34	56	78	132	202	290	508
26	3·3	5·9	9·6	16·7	23·0	36	61	84	144	219	314	651
28	3·5	6·4	10·3	17·9	24·0	39	66	91	154	236	336	593
30	3·8	6·9	11·0	19·3	26·0	42	71	97	166	253	362	635

ตารางที่ 2.11 ปริมาณของลมอัดที่ท่อเหล็กเกรดปานกลางตามมาตรฐาน BS 1387 สามารถส่งไปได้ที่ความเร็วต่างๆ (หน่วยอังกฤษ)

หลังจากใช้ค่าความเร็วที่เหมาะสมในการหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลมอัดที่ใช้แล้ว ขั้นต่อไปของการออกแบบท่อก็คือ การเช็คค่าความดันลด ซึ่งไม่ได้มีการนำมาคำนึงถึงในกรณีที่มีการเลือกขนาดของท่อเพราะมีการคำนึงค่าของความเร็วอย่างเดียว ค่าความดันลดสามารถกำหนดโดยสูตรต่อไปนี้

$$\text{ค่าความดันลดในหน่วยเมตริก} = \frac{KLQ^2}{Rd^{5.3}} \text{ บาร์} \qquad 2.10$$

ในเมื่อ K = ค่าคงที่

= 800

L = ค่าความยาวสัมมูลย์(equivalent length) ทั้งหมดของท่อเป็นเมตร

Q = ปริมาณของอากาศอิสระ dm^3/s

R = อัตราส่วนการอัด หรือ compression ratio

d = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ มีค่าเป็นมิลลิเมตร

ค่าความดันลดในหน่วยอังกฤษเท่ากับ $\frac{LV^2}{Rd^{5.3} * 35122}$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ในเมื่อ V = ปริมาณของอากาศอิสระเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อตารางนิ้ว

L = ค่าความยาวสมมูลย์ของท่อเป็นฟุต

R = อัตราส่วนการอัด

d = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อเป็นนิ้ว

สำหรับการคิดค่าความยาวของท่อนั้นจะต้องคิดค่าความยาวของท่อช่วงที่ยาวที่สุด หรือช่วงที่เดินไปจ่ายยังจุดที่มีความต้องการใช้ลมอัดที่อยู่ไกลที่สุด ค่าความยาวทั้งหมดนี้จะมีค่าเท่ากับค่าความยาวของท่อที่แท้จริงบวกกับค่าความเสียดทานของพวกข้อต่อ ข้องอต่างๆ ที่เปลี่ยนมาเป็นค่าความยาวของท่อที่มีค่าความเสียดทานเท่ากัน ซึ่งเรียกว่าความยาวสมมูลย์ ดังในตารางที่ 2.12, 2.13 หลังจากได้ค่าความยาวสมมูลย์นี้แล้วก็สามารถนำไปใช้คำนวณค่าความดันลดในสูตรได้ หรือเพื่อความสะดวก ทางผู้ใช้อาจจะใช้โนโมกราฟสำเร็จดังในรูปที่ 2.17,2.18 เพื่อใช้ในการหาค่าความดันลดต่อหน่วยความยาวโดยประมาณได้ จากนั้นก็คูณค่าความดันลดต่อหน่วยความยาวนี้กับค่าความยาวทั้งหมดของท่อก็จะได้ค่าความดันลดทั้งหมดของท่อได้

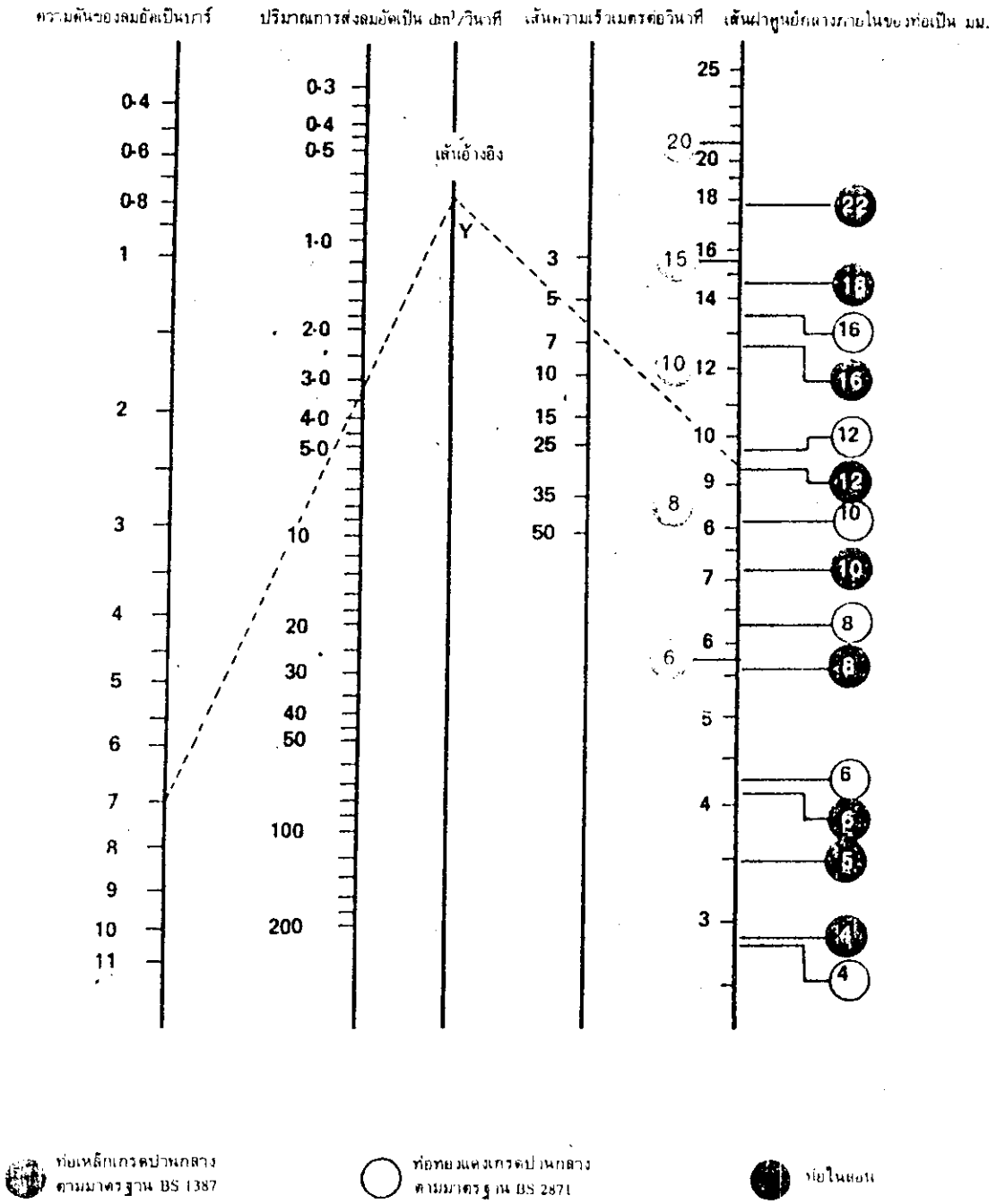
ชนิดของข้อต่อ	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125
ข้องอ	0·26	0·37	0·49	0·67	0·76	1·07	1·37	1·83	2·44	3·2
ข้องอยาว ๑๐	0·15	0·18	0·24	0·38	0·46	0·61	0·76	0·91	1·2	1·52
ข้อโค้งกลับ	0·46	0·61	0·76	1·07	1·2	1·68	1·98	2·6	3·66	4·88
โกลบวาล์ว	0·76	1·07	1·37	1·98	2·44	3·36	3·98	5·18	7·32	9·45
เกตวาล์ว	0·107	0·14	0·18	0·27	0·32	0·40	0·49	0·64	0·91	1·20
สามตามาตรฐาน	0·12	0·18	0·24	0·38	0·40	0·52	0·67	0·85	1·2	1·52
สามตานบนเจาะท่อ	0·52	0·70	0·91	1·37	1·58	2·14	2·74	3·66	4·88	5·40

ตารางที่ 2.12 หน่วยเมตริกค่าความต้านทานของข้อต่อต่างๆของท่อ (เทียบเป็นความยาวสมมูลย์ของท่อตรงเป็นเมตร

ชนิดของข้อต่อ	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว)									
	½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4	5
ข้องอ	0·9	1·2	1·6	2·2	2·5	3·5	4·5	6·0	8·0	10·5
ข้องอยาว ๑๐	0·5	0·6	0·8	1·1	1·5	2·0	2·5	3·0	4·0	5·0
ข้อโค้งกลับ	1·5	2·0	2·5	3·5	4·0	5·5	6·5	8·5	12·0	16·0
โกลบวาล์ว	2·5	3·5	4·5	6·5	8·0	11·0	13·0	17·0	24·0	31·0
เกตวาล์ว	0·4	0·6	0·6	0·9	1·0	1·3	1·8	2·1	3·0	4·0
สามตามาตรฐาน	0·4	0·6	0·8	1·1	1·3	1·7	2·2	2·2	2·8	5·0
สามตานบนเจาะท่อ	1·7	2·3	3·0	4·6	5·2	7·0	8·0	12·0	16·0	21·0

ตารางที่ 2.13 หน่วยอังกฤษ ค่าความต้านทานของข้อต่อต่างๆของท่อ (เทียบเป็นความยาวสมมูลย์ของท่อตรงเป็นฟุต)

ค่าความดันลดทั้งหมดที่คิดได้ของระบบท่อควรจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 10 % ของค่าความดันลมอัดที่ใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น ระบบลมอัดที่ความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้วนั้น ค่าความดันลมควรจะถูกจำกัดให้ไม่เกินกว่า 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นต้น

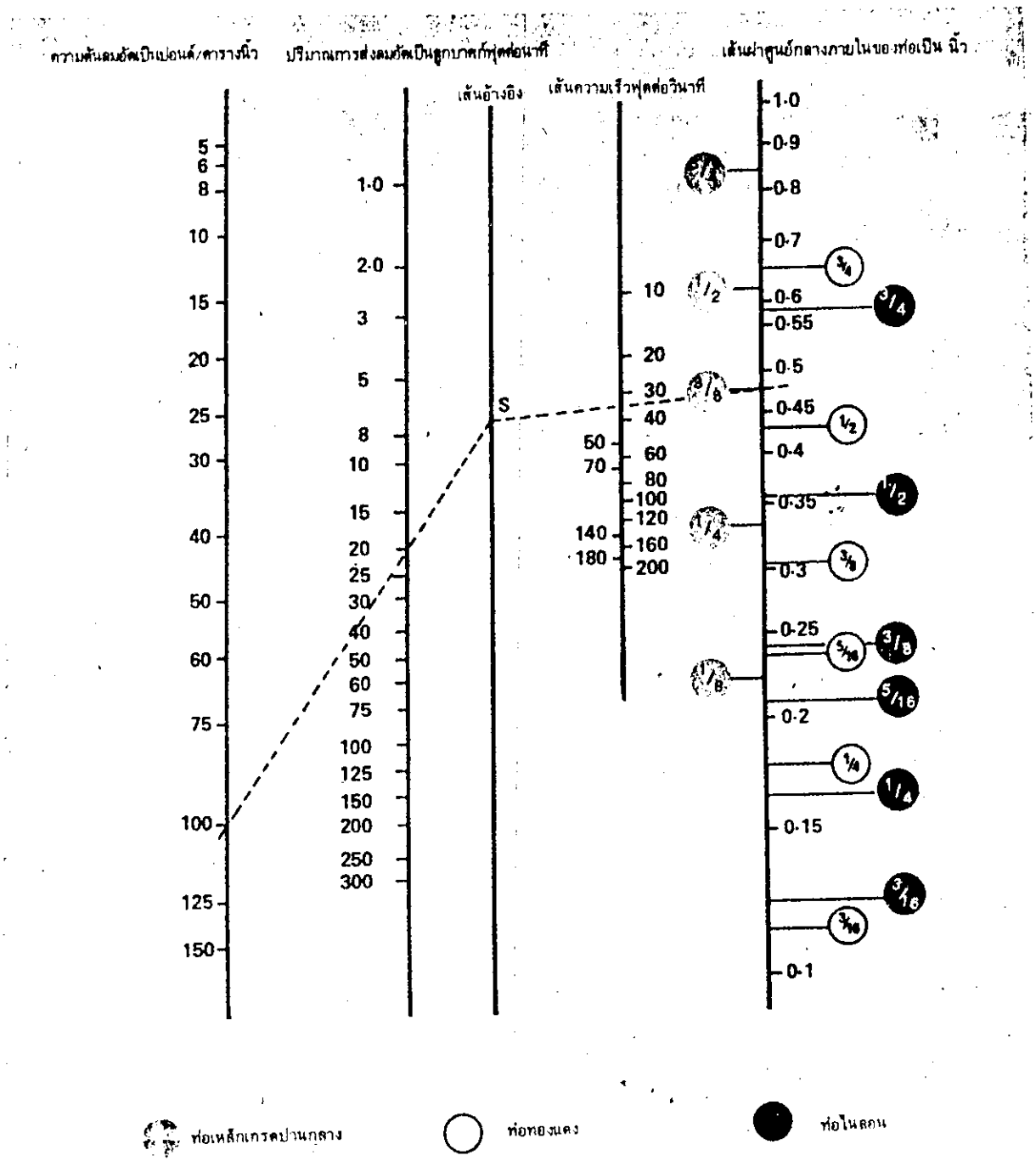


ตัวอย่าง ท่อไนลอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร จะสามารถส่งลมอัดความดัน 7 บาร์ ที่ความเร็ว 8 เมตรต่อวินาที ได้ที่ dm^3/s

วิธีทำ จากเส้นขวาสุดที่ท่อไนลอนเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ลากต่อจุดบนเส้นความเร็วเท่ากับ 8 เมตรต่อวินาทีไปตัดเส้นอ้างอิงที่ y จาก y ต่อจุดค่าความดัน 7 บาร์ บนเส้นความดัน เส้นตรงเส้นหลังจะตัดเส้นปริมาณการส่งลมอัดที่ 3.2 dm^3/s

รูปที่ 2.15 โนโมกราฟสำหรับหาปริมาณลมอัดที่ท่อลมขนาดต่างๆสามารถส่งได้ที่ความเร็วต่างๆกัน

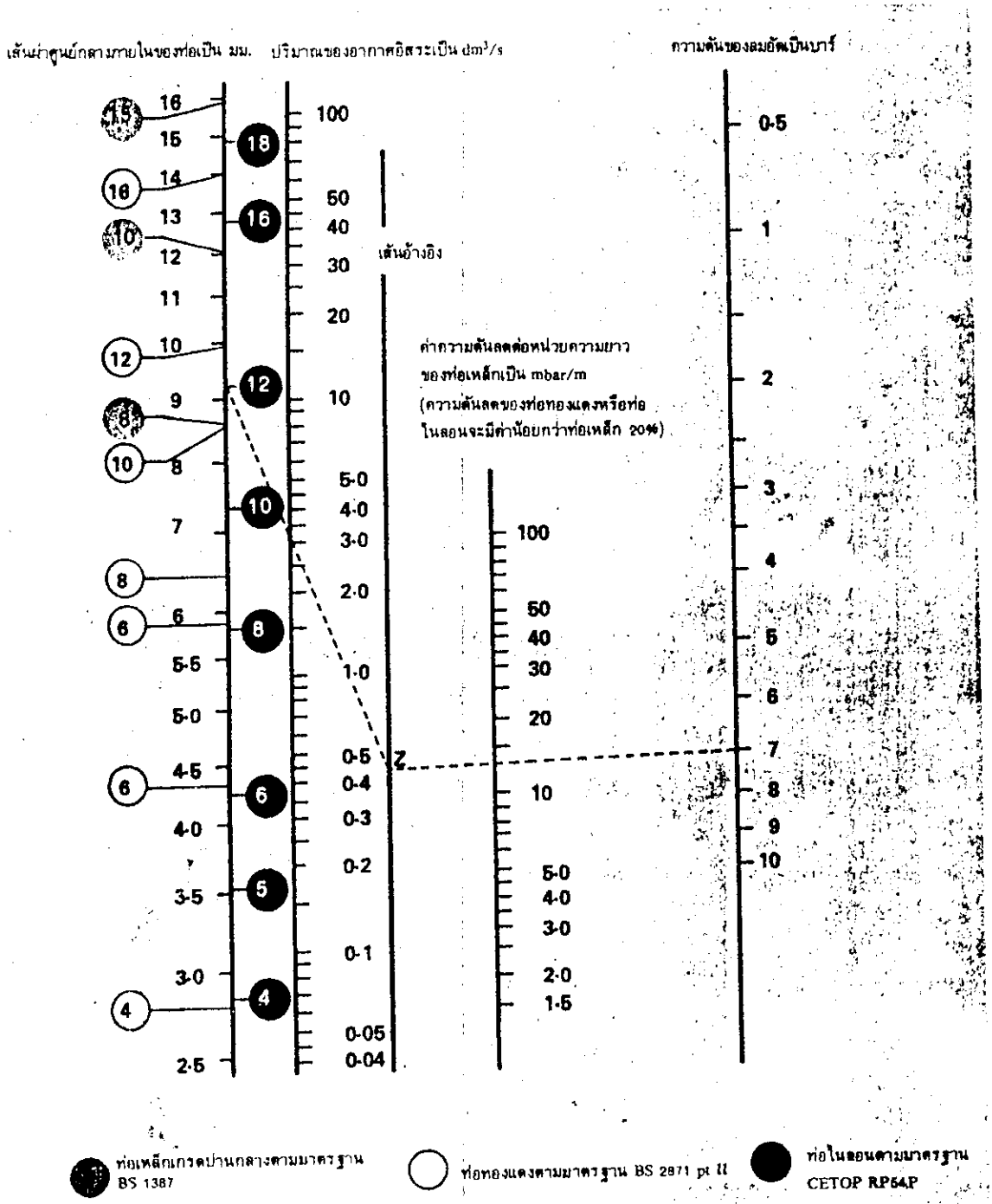
(หน่วยเมตริก)



ตัวอย่าง ท่อเหล็กเกรดปานกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว จะสามารถส่งลมอัดความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ด้วยความเร็ว 35 ฟุตต่อวินาทีได้กี่ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

วิธีทำ จากเส้นขวาสุดที่ท่อเหล็กเกรดปานกลางมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ลากเส้นมาต่อกับจุดบนเส้นความเร็ว 36 ฟุต/วินาที ตัดเส้นอ้างอิงที่จุด s จากจุด s ลากเส้นต่อกับจุดความดัน 100 ปอนด์/ตารางนิ้วบนเส้นความดัน ตัดเส้นปริมาณอากาศอัดที่จุด 20 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

รูปที่ 2.16 โนโมกราฟสำหรับหาปริมาณลมอัดที่ท่อลมขนาดต่างๆสามารถส่งได้ที่ความเร็วต่างๆกัน (หน่วยอังกฤษ)

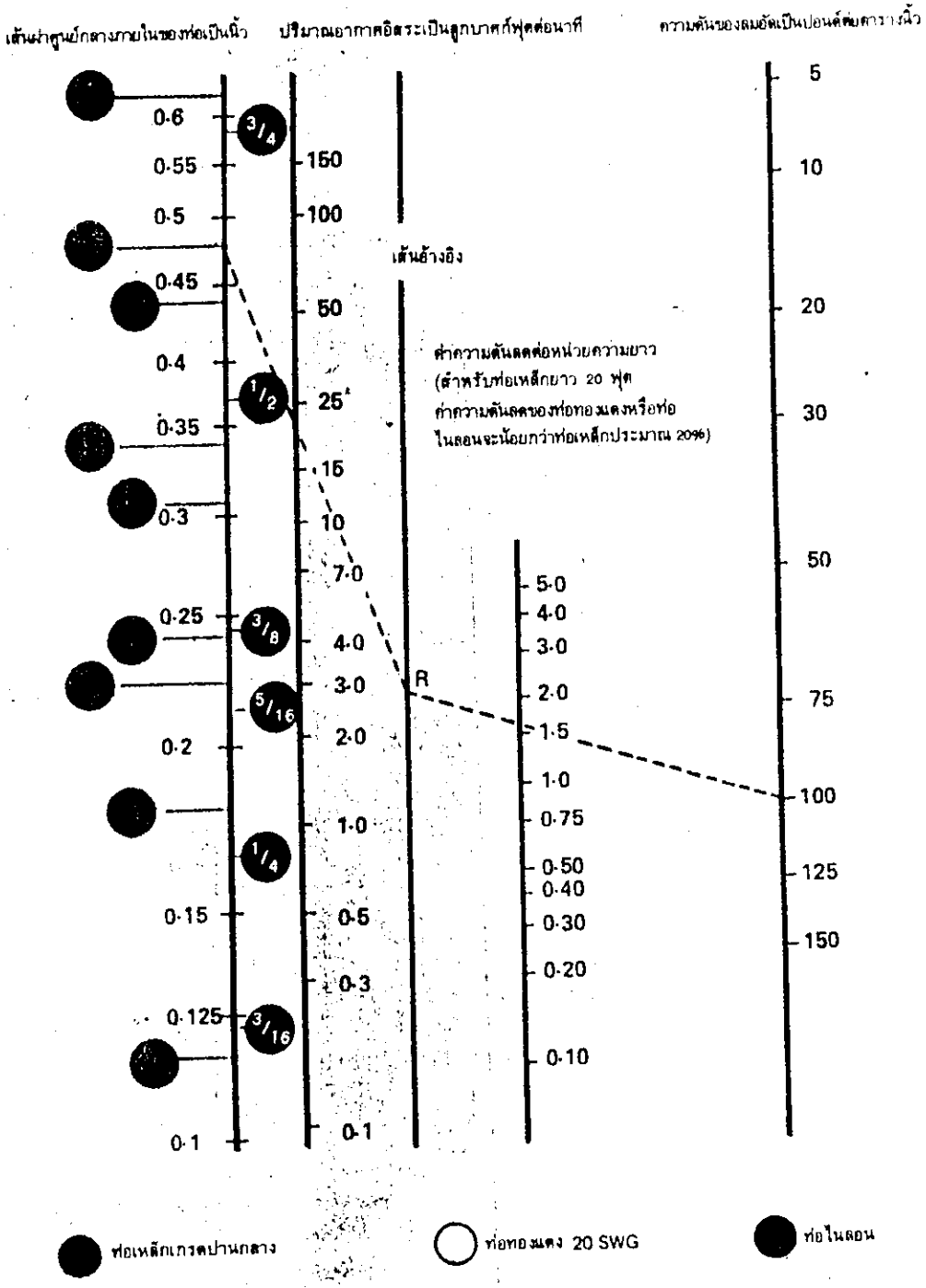


ตัวอย่าง ท่อในลอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 mm. ส่งลมอัดความดัน 7 บาร์ เป็นปริมาณ 3.1 dm^3/s ท่อดังกล่าวนี้จะมีค่าความดันลดต่อหน่วยความยาวเท่าไร

วิธีทำ จากจุดขนาดท่อในลอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 mm. ลากเส้นต่อกับจุดปริมาณส่งลม 3.1 dm^3/s ไปตัดเส้นอ้างอิงที่จุด z จากจุด z เส้นตรงไปยังจุดค่าความดันอากาศ 7 บาร์ ตัดเส้นค่าความดันลดของท่อเหล็กที่ 16.5 mbar/m แต่เนื่องจากค่าความดันลด ต่อหน่วยความยาวของท่อในลอนจะมีค่าเพียง 80% ของท่อเหล็ก ดังนั้นค่าความดันลดที่แท้จริงของท่อในลอนจะเหลือเพียง 16.5 × 80 = 12.5 mbar/m

รูปที่ 2.17 ในโนแกรฟสำหรับหาค่าความดันลดต่อหน่วยความยาวของท่อ

(หน่วยเมตริก)



ตัวอย่าง ท่อเหล็กเกรดปานกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ส่งลมอัดความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นปริมาณอากาศอิสระ 20 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที จะมีค่าความดันลดต่อหน่วยความยาวเท่าไร

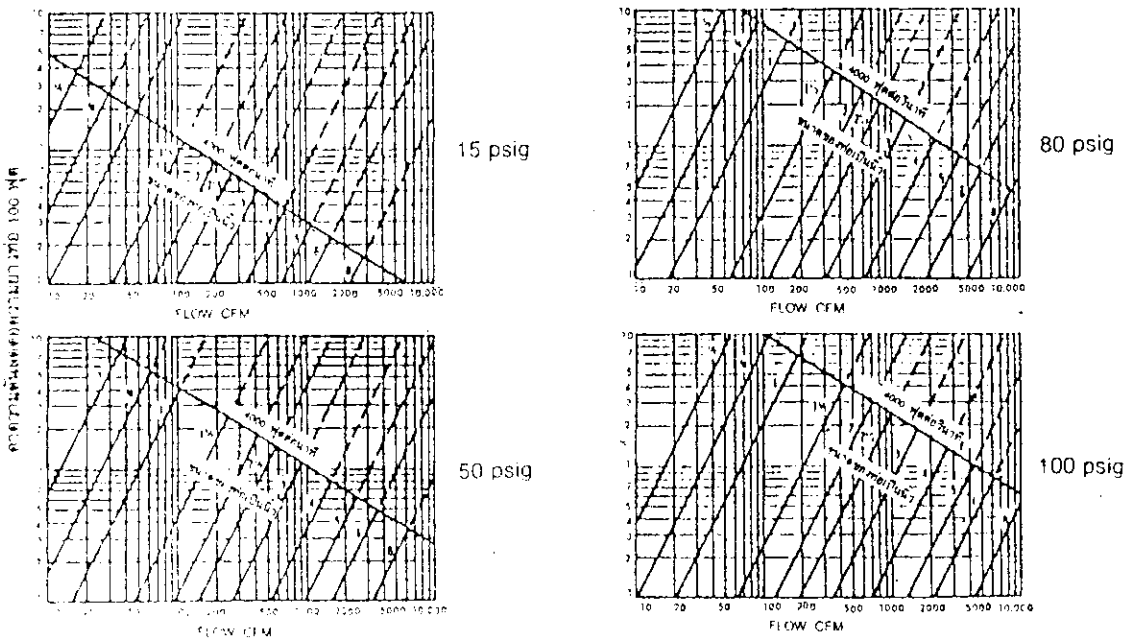
วิธีทำ จากจุดท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ต่อเส้นตรงผ่านจุดค่าปริมาณลมอัด 20 CFM ไปตัดเส้นอ้างอิงที่จุด R จากจุด R ลากเส้นไปยังจุดความดัน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว บนเส้นความดัน เส้นตรงนี้จะตัดค่าความดันลดต่อหน่วยความยาวเท่ากับ 1.54 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ต่อท่อยาว 20 ฟุต

รูปที่2.18 โนโมกราฟสำหรับหาค่าความดันลดต่อหน่วยความยาวของท่อ

(หน่วยอังกฤษ)

การออกแบบท่อลมอัดนี้ในอีกลักษณะหนึ่งแทนที่จะใช้การกำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อโดยใช้ค่าความเร็ว อาจจะใช้วิธีออกแบบโดยการกำหนดค่าความดันลดต่อหน่วยความยาวที่ยอมให้ หลังจากนั้นก็หาค่าความยาวของท่อทีละส่วน ซึ่งการคิดค่าความยาวทั้งหมดที่รวมเอาค่าความเสียดทานจากพวกข้อต้อ ข้องอต่างๆ สามารถกำหนดได้อย่างง่ายโดยคิดค่าความที่แท้จริงคูณเผื่อค่าความเสียดทานสำหรับข้อต่อ ข้องออีก 20 % หรือใช้ค่า 1.2 คูณค่าความยาวที่ที่แท้จริงเป็นค่าความยาวทั้งหมดของระบบท่อแล้วนำค่าความดันลด 10% ของความดันในระบบหารด้วยความยาว เป็นค่าความดันลดต่อหน่วยความยาว หลังจากนั้นก็สามารถหาขนาดของท่อลมในแต่ละส่วนได้โดยใช้รูปที่ 2.19

สำหรับในเรื่องของการออกแบบท่อลมอัดนั้นยังมีเรื่องอื่นๆ ที่ทางผู้ออกแบบควรจะได้มีการคำนึงถึงประกอบด้วยดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.19 กราฟสำหรับหาขนาดของท่อลมอัดที่ความดันต่างๆ โดยการกำหนดค่าความดันลดต่อหน่วยความยาวไปตัดกับค่าปริมาณลมอัดที่ความดันต่างๆ ซึ่งจะสามารถอ่านขนาดท่อได้ อย่างไรก็ตามต้องระวังขีดจำกัดโดยไม่เลือกท่อที่มีความเร็วสูงกว่า 4000 ฟุตต่อนาที

ก. ขนาดของท่อลมเมนนั้น อาจจะสามารถลดลงได้เนื่องจากการใช้ลมอัดนั้นอาจจะไม่เป็นไปพร้อมกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานในลักษณะต่างๆ ที่ทางผู้ออกแบบควรจะมีความเข้าใจว่าอุปกรณ์ที่ใช้ลมอัดประเภทต่างๆ นั้นจะมีช่วงเวลาในการทำงานอย่างไรบ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานในโรงพยาบาล และในห้องทดลองซึ่งมีจุดการใช้งานเป็นจำนวนมาก แต่เป็นที่แน่นอนว่าการใช้งานท่อลมอัดตามจุดต่างๆ เหล่านี้ไม่ได้มีการทำงานอย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นเราจึงสามารถใช้ค่าแฟคเตอร์คูณเข้ากับค่าปริมาณความต้องการลมอัดเป็นจำนวนต่างๆ เพื่อหาปริมาณความต้องการที่แท้จริงได้ โดยใช้ค่าที่กำหนดดังตารางที่ 2.14

ข. การออกแบบท่อลมเมนควรจะใช้ปริมาณความต้องการคูณกับค่าแฟคเตอร์ต่างๆ ดังที่ - ได้กล่าวไปแล้ว แต่สำหรับท่อลมย่อยนั้นควรจะออกแบบขนาดท่อให้สามารถรับกับปริมาณความต้องการสูงสุดได้

ค. ควรจะคำนึงถึงปริมาณความต้องการลมอัดเพิ่มในอนาคตด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับท่อลมเมนซึ่งจะไปจ่ายยังบริเวณที่มีแนวโน้มว่าจะต้องการปริมาณลมอัดเพิ่มมากขึ้นในอนาคต ในกรณีเช่นนี้ควรจะเลือกขนาดของท่อลมเมนให้ใหญ่กว่าที่คิดตามการคำนวณอย่างปกติ เพื่อให้สามารถรับต่อปริมาณความต้องการลมอัดที่เพิ่มขึ้นในอนาคตได้ ซึ่งจะเป็นการถูก ประหยัดและสะดวกต่อการติดตั้งท่อลมอัดเพิ่มเติม หรือการเปลี่ยนขนาดท่อใหม่ในอนาคต

จุดที่ใช้งาน	ค่าแฟคเตอร์
1	1.0
11	.8
31	.6
78	.5
148	.4
320	.35
575	.3
1000	.25
2120	.5
4750	.15

ตารางที่ 2.14 ค่ากำหนดเพื่อใช้คูณลดปริมาณลมในท่อเมนในกรณีที่มีจุดใช้งานหลายๆจุด

ง. การออกแบบบางครั้งจะต้องคำนวณถึงปริมาณลมที่จะรั่วไหลไปด้วยซึ่งมักจะเป็นปัจจัยที่ถูกมองข้ามไปเสมอในขั้นตอนการออกแบบและการใช้งาน ที่เป็นดังนี้ก็เพราะการเกิดปริมาณลมรั่วไหลนั้นจะไม่สามารถสังเกตหรือตรวจพบได้ง่ายนัก และยังเป็นสิ่งที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายเช่นเดียวกับการรั่วไหลของน้ำร้อน หรือไอน้ำ อย่างไรก็ตาม ก็ควรจะควบคุมปริมาณการรั่วไหลของลมอัดนี้ให้เหลือน้อยที่สุดเพื่อลดพลังงานที่ต้องใช้นับว่าเป็นปริมาณที่สูงมากทีเดียว

เช่นเครื่องอัดอากาศที่อัดอากาศส่งไปที่ความดัน 7 บาร์นั้นจะต้องการพลังงานถึง 1 กิโลวัตต์ สำหรับส่งอากาศให้ได้ปริมาณ 3 dm^3 / s

อย่างไรก็ดีก็มักจะมีปริมาณลมอัดรั่วไหลอยู่เสมอ แม้ในระบบที่ได้รับการออกแบบและได้รับการติดตั้งอย่างดีก็ตามก็มักจะมีอัตราการรั่วไหลตกอยู่ในช่วงไม่น้อยกว่า 5 %

จ. ท่อลมอัดที่ติดตั้งไปนานๆ จะมีการเสื่อมหรือเพิ่มค่าความเสียดทานสูงยิ่งขึ้น ทั้งนี้อาจจะเกิดขึ้นเนื่องมาจากปริมาณความชื้นในลมอัดที่แยกตัวออกมาและก่อให้เกิดสนิมขึ้นในท่อ รวมทั้งพวกสารกัดกร่อนต่างๆ ที่เจือปนอยู่ในลมอัด ดังนั้นสำหรับในท่อส่วนที่อาจจะมีปัญหาในการเปลี่ยนท่อใหม่ หรือสำหรับการใช้งานบางประเภทซึ่งการเปลี่ยนท่อใหม่เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยาก ควรจะเพิ่มขนาดของท่อลมอัดจากขนาดที่คำนวณได้เดิมนั้นขึ้นไปอีกขั้นหนึ่ง

2.5 คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ

2.5.1 องค์ประกอบของอากาศ

โลกมีก๊าซล้อมรอบเป็นความสูงถึง 10 กม. จากพื้น ก๊าซเหล่านี้เรียกว่าบรรยากาศและอากาศหมายถึงบรรยากาศใกล้พื้นโลก ถึงแม้ว่าอากาศ น้ำ และแสงอาทิตย์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อชีวิตมนุษย์ มนุษย์ยังไม่ให้ความสนในกับสิ่งเหล่านี้มากเท่าไร เพื่อประโยชน์ในการเข้าใจการอัดอากาศจะต้องรู้คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ

อากาศประกอบด้วย 1 ส่วนของออกซิเจน และ 4 ส่วนของไนโตรเจนโดยปริมาตร รายละเอียดองค์ประกอบของอากาศมีอยู่ในตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 องค์ประกอบของอากาศ

องค์ประกอบของอากาศ	ไนโตรเจน (N_2)	ออกซิเจน (O_2)	อาร์กอน (Ar)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	ไอน้ำ ฝุ่น น้ำมัน ฯลฯ
ร้อยละโดยปริมาตร (%)	78.09	20.95	0.93	0.03	มีบ้าง
ร้อยละโดยน้ำหนัก (%)	75.53	23.14	1.28	0.06	มีบ้าง

ถ้าจะคิดอย่างละเอียด อากาศเป็นก๊าซผสมประกอบด้วยไนโตรเจน ออกซิเจน และก๊าซเฉื่อย (ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น) เช่นอาร์กอน ร้อยละ 1 โดยปริมาตร นีออน ฮีเลียม และก๊าซกรอคาร์บอนิค นอกจากนี้บรรยากาศตามปกติยังประกอบด้วยไอน้ำและฝุ่น

2.5.2 น้ำหนักของอากาศ

ก๊าซทุกชนิดรวมทั้งอากาศเปลี่ยนความหนาแน่นเมื่ออุณหภูมิหรือความดันเปลี่ยน เรื่องนี้จะได้กล่าวโดยละเอียดภายหลังแต่ในขั้นขอกล่าวเพียงว่า ต้องทราบอุณหภูมิและความดันก่อนที่จะทราบความหนาแน่นของอากาศ

(ก) สภาพมาตรฐานอุตสาหกรรม (Industrial standard condition)

เมื่ออากาศมีอุณหภูมิ 20° C (293 K) ความดันสัมบูรณ์ 760 mm Hg (0.1013 Mpa) และความชื้นสัมพัทธ์ 65 % น้ำหนักต่อ 1 m^3 จะเท่ากับ 1.204 kgf (11.807 N) สภาพมาตรฐานอุตสาหกรรมนี้มักใช้เป็นสภาพดูดมาตรฐานของเครื่องอัด

(ข)สภาพปกติทางทฤษฎี (Theoretical-normal condition)

ทางทฤษฎีสภาพปกติ หมายถึง อุณหภูมิ 0°C (273 K) และความดันสัมบูรณ์ 760 mm Hg (0.1013 Mpa) โดยไม่กำหนดความชื้นสัมพันธ์สภาพนี้เรียกว่า N.T.P (Normal Tempurature and Pressure) ในกรณีนี้น้ำหนักของอากาศ ต่อ 1 m^3 เท่ากับ 1.293 kgf (12.68 N)

2.5.3 ความร้อนจำเพาะของอากาศ

ความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของสสาร 1 กรัม ขึ้น 1°C เรียกว่าความร้อนจำเพาะ ส่วนความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของมวลทั้งหมดของสสารขึ้น 1°C เรียกว่า ความจุความร้อนของสสารนั้น

หน่วยของความร้อนจำเพาะและความจุความร้อนเป็นแคลอรี (ย่อว่า " cal ") และจูลในระบบ SI (ย่อว่า J) หนึ่งแคลอรีหมายถึงปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของ 1 กรัม ของน้ำขึ้น 1°C ความร้อนจำเพาะของสสารเปลี่ยนไปตามชนิดของสสาร

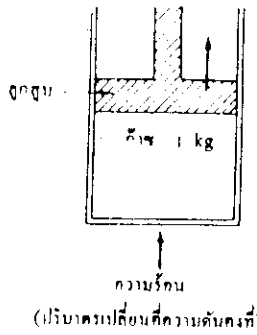
2.5.3.1 ความร้อนจำเพาะของก๊าซ

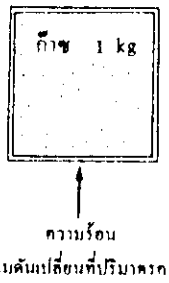
ความร้อนจำเพาะของก๊าซก็เป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซ 1 กรัมขึ้น 1°C เช่นเดียวกับสสารที่กล่าวข้างต้น แต่สำหรับก๊าซมีความร้อนจำเพาะสองชนิด คือ ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ และความร้อนจะเพาะที่ปริมาตรคงที่

(ก) ความร้อนจะเพาะที่ความดันคงที่

ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนก๊าซจะขยายหรือหดตัวมากกว่าของเหลวและของแข็ง

ดังรูปที่ 2.20 ถ้ากาซ 1 kg ได้รับความร้อนขณะที่อยู่ในกระบอกสูบ ก๊าซจะขยายตัว และลูกสูบจะถูกยกขึ้น ดังนั้นความดันจะไม่เปลี่ยน ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซ 1 kg ขึ้น 1° C เรียกว่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ ในกรณีนี้หน่วยของความร้อนจำเพาะคือ Kcal) kg°C ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของอากาศจะเท่ากับ 0.24 Kcal /kg°C หรือ 1.005 k J (kg.K)





รูปที่ 2.20 ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ รูปที่ 2.21 ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่

(ข) ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่

เมื่อก๊าซ 1 kg ซึ่งถูกปิดสนิทอยู่ในภาชนะได้รับความร้อนดังในรูปที่ 2.21 ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซนี้ขึ้น 1°C คือความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่

ในกรณีนี้หน่วยของความร้อนจำเพาะคือ Kcal / kg° C เช่นเดียวกับความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ของอากาศเท่ากับ 0.17 Kcal / kg °C หรือ 0.712 kJ / kg.K ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่มีค่ามากกว่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ ทั้งนี้เพราะความร้อนส่วนหนึ่งใช้ไปในการทำให้ก๊าซขยายตัว

(ค) อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ

อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ต่อความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ เรียกว่าอัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในทฤษฎีการอัด อัตราส่วนความร้อนจำเพาะมีค่าคงที่สำหรับก๊าซแต่ละชนิดค่านี้เท่ากับ 1.401 สำหรับอากาศแห้งค่าของความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่และอัตราส่วนของความร้อนจำเพาะสำหรับก๊าซที่ใช้กันมากมีอยู่ในตารางที่ 2.16

ตารางที่ 2.16 ความร้อนจำเพาะของก๊าซ

สัญลักษณ์โมเลกุล	ชื่อของก๊าซ	จำนวนอะตอม	Ⓐ ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่	Ⓑ ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่	อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ Ⓐ / Ⓑ
Ar	อาร์กอน	1	0.1233	0.0746	1.667
He	ฮีเลียม	1	1.2425	0.746	1.666
-	อากาศ	2	0.24	0.17	1.401
H_2	ไฮโดรเจน	2	3.402	2.402	1.406
N_2	ไนโตรเจน	2	0.2350	0.176	1.41
O_2	ออกซิเจน	2	0.2419	0.173	1.40
H_2O	ไอน้ำ	3	0.4765	0.340	1.306
CO_2	คาร์บอนไดออกไซด์	3	0.211	0.163	1.30
C_2H_2	อาเซทีลีน	4	0.402	0.323	1.24
C_2H_5OH	แอลกอฮอล์	9	0.436	0.400	1.13

2.5.4 ความชื้นของอากาศ

2.5.4.1 อากาศอิ่มตัว

จะมีไอออกจากผิวของของเหลวอยู่เสมอ ปรากฏการนี้เรียกว่าการระเหยแต่การระเหยนี้จะหยุดเมื่อความดันไอที่กระทำกับผิวของเหลวถึงจุดคงที่

ถ้าใส่น้ำไว้ในภาชนะปิด น้ำจะระเหยและเกิดมีไอที่น้ำ ไอน้ำจะผสมกับอากาศในภาชนะ แต่ในที่สุดจะถึงสภาพที่ไอน้ำไม่สามารถเข้าไปอยู่กับอากาศได้อีกและการระเหยจะหยุด

สภาพนี้เรียกว่าสภาพไอน้ำอิ่มตัว และความดันไอในสภาพนี้เรียกว่าความดันไอน้ำอิ่มตัว

ดังนั้นอากาศอิ่มตัวหมายถึงอากาศปริมาตรคงที่ ที่มีไอน้ำปริมาณสูงสุด

ปริมาณไอน้ำในสภาพอิ่มตัวจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง

การแสดงปริมาณไอน้ำในอากาศในสภาพอิ่มตัวมีอยู่ 3 วิธีดังนี้

1) ปริมาณไอน้ำ (กรัม) ที่มีอยู่ใน 1 m^3 ของอากาศชื้น (อากาศที่มีไอน้ำ)

2) ปริมาณไอน้ำ (กรัม) ที่มีอยู่ใน 1 kgของอากาศแห้ง (อากาศที่ไม่มีไอน้ำ)

3) ความดันไอน้ำ (in mm Hg หรือ Pa)

ตารางที่ 2.17 ปริมาณไอน้ำอิ่มตัวและความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ		ปริมาณของไอน้ำอิ่มตัว		ความดันของไอน้ำอิ่มตัว	
°C	K	g/m^3	g/kg	mmHg	MPa
0	273	4.85	3.772	4.581	0.0006
10	283	9.4	7.625	9.205	0.0012
20	293	17.3	14.69	17.53	0.0023
30	303	30.4	27.18	31.83	0.0042
40	313	51.5	48.84	55.34	0.0074
50	323	83	96.25	92.56	0.0123
60	333	130	152.3	149.5	0.0199
70	343	198	278.3	233.8	0.0312
80	353	293	546	355.3	0.0474
90	363	423	1,397	525.9	0.0701
99	372	574	1,708	733.3	0.0977
100	373	597	-	760.0	0.1013

2.5.4.2 อากาศไม่อิ่มตัวและอากาศชื้น

อากาศที่ยังมีปริมาณไอน้ำต่ำกว่าปริมาณสูงสุดเรียกว่าอากาศไม่อิ่มตัวและอากาศที่ไม่มีไออยู่ด้วยเรียกว่าอากาศชื้น

2.5.4.3 ความชื้น

จะมีไอน้ำอยู่ในบรรยากาศอยู่เสมอ ความแห้งหรือความเปียกมากน้อยของอากาศเรียกว่าความชื้นแสดงความชื้นได้สองวิธี คือ ความชื้นสัมบูรณ์และความชื้นสัมพัทธ์

(ก)ความชื้นสัมบูรณ์

ปริมาณของไอน้ำเป็น kg หรือ g ที่อยู่ใน 1 m^3 ของอากาศชื้นเรียกว่าความชื้นสัมบูรณ์

(ข) ความชื้นสัมพัทธ์

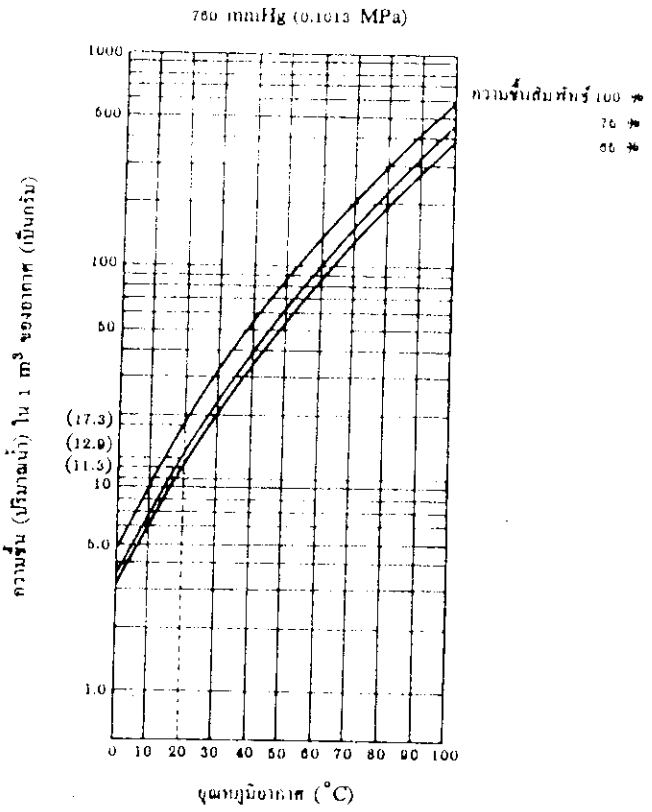
ความชื้นสัมพัทธ์หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศชื้นต่อความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศอิ่มตัวที่มีอุณหภูมิและปริมาตรเท่ากันและมักจะคิดเป็น %

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{\text{ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศชื้น}}{\text{ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและปริมาตรเท่ากัน}} * 100\ \%$$

เนื่องจากความดันของไอในอากาศชื้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความชื้นสัมบูรณ์ ความชื้นสัมพัทธ์จึงเท่ากับอัตราส่วนระหว่างความดันของไอในอากาศชื้น ต่อ ความดันไอ (สูงสุด) ในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{\text{ความดันของไอน้ำในอากาศชื้น}}{\text{ความดันไอของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน}} * 100$$

ในชีวิตประจำวันมักใช้ความชื้นสัมพัทธ์นี้ และความชื้นโดยทั่วไป หมายถึงความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 2.22 ความชื้น (ปริมาณน้ำ) ที่อุณหภูมิต่างๆ

2.5.5 ความดันของอากาศ

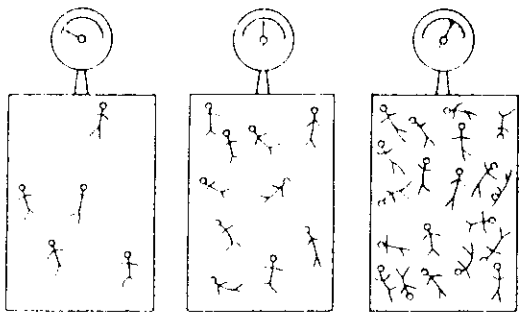
2.5.5.1 ความดันของก๊าซ

ถ้าก๊าซหรืออากาศอยู่ในภาชนะปิด ปริมารคงที่จะมีแรงกระทำกับผนังของภาชนะ แรงนี้เรียกว่าความดันในแง่ทางฟิสิกส์ ก๊าซประกอบด้วยโมเลกุล ซึ่งเคลื่อนที่ไปมาอย่างไม่เป็นระเบียบ ปริมาตรของโมเลกุลเป็นส่วนน้อยมากของปริมาตรก๊าซ โมเลกุลจึงเคลื่อนที่ได้สะดวก ความดันที่กระทำกับผนังเกิดจากการกระแทกโมเลกุลกับผนัง ความดันของก๊าซเพิ่มเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม ปรากฏการนี้จะอธิบายโดยใช้รูป 2.23 ประกอบ รูป (a) แสดงภาพของโมเลกุลในอากาศ โมเลกุลเคลื่อนที่แต่ความเร็วไม่สูง ดังนั้นแรงกระแทกผนังจึงน้อย เข็มความดันจึงขึ้นน้อย รูป (b) แสดงภาพของโมเลกุลในบรรยากาศเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลจะเคลื่อนที่เร็วขึ้น จึงทำให้แรงกระแทกสูงขึ้น เข็มความดันจึงสูงขึ้นและถ้าเปิดภาชนะโมเลกุลก็จะออกมาจากภาชนะ ในรูป (c) ก๊าซถูกอัด ความหนาแน่นสูงขึ้น ทำให้เกิดแรงกระแทกสูงกระทำกับผนัง

2.5.5.2 ความดันบรรยากาศ

ผิวโลกถูกกดโดยน้ำหนักของบรรยากาศอยู่เสมอ แรงกดจากบรรยากาศนี้เรียกว่า ความดันบรรยากาศ อาจถือว่าความดันบรรยากาศคือ แรงกระแทกโมเลกุลอากาศต่อพื้นโลก น้ำหนักของอากาศดังกล่าวที่สภาพมาตรฐาน ที่กระทำเนื้อที่ 1 cm^3 ของพื้นโลกเท่ากับ 1.003 kgf

หรืออาจเขียนได้ว่า 1 atmosphere (1 atm) = 1.003 kgf / cm^2 = 0.1013 Mpa



รูปที่ 2.23 โมเลกุลและความดันของก๊าซ

ขนาดของความดันบรรยากาศอาจมีหน่วยเป็น mm ของปรอทก็ได้ ความดันของบรรยากาศเมื่อความสูงของปรอทเท่ากับ 760 mm เรียกว่า หนึ่งความดันบรรยากาศ (atm)

ดังนั้นจึงได้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

1 ความดันบรรยากาศ = 760 mm Hg = 1.033 kgf / cm^3

= 0.1013 MPa

2.5.5.3 ความดันสัมบูรณ์และความดันเกจ

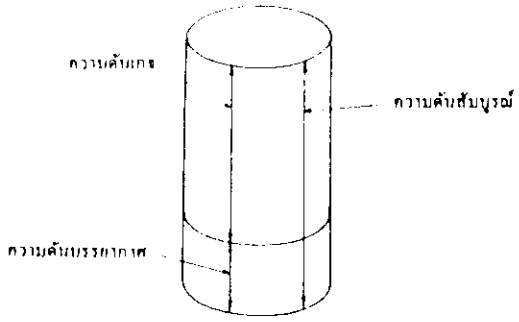
หน่วยของความดันที่มักใช้ก็คือ kgf / cm^3 และ Pa มีความดันสองประเภทคือ ความดันสัมบูรณ์และความดันเกจ

ความดันสัมบูรณ์คือ ความดันที่มีจุดอ้างอิงเป็นศูนย์ คือไม่มีความดันเลย เป็นความดันที่วัดได้เมื่อความดันบรรยากาศเป็นศูนย์

ความดันเกจคือ ความดันที่มีจุดอ้างอิงเป็นความดันบรรยากาศ ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์และความดันเกจเป็นดังนี้

ความดันสัมบูรณ์ = ความดันเกจ + ความดันบรรยากาศ

ความสัมพันธ์มีแสดงอยู่ในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ความดันสัมบูรณ์และความดันเกจ

โดยทั่วไปค่าของความดันที่ได้จากที่วัดความดันเป็นความดันเกจ แต่เพื่อความชัดเจนต้องมีการระบุไว้ เช่น kgf / cm^3 (G) หรือ kgf / cm^3 (g) หรือ Mpa (g) เป็นต้น

สำหรับการคำนวณการอัดในทางทฤษฎี การอัดควรใช้ความดันสัมบูรณ์ ซึ่งมีการระบุเช่น kgf / cm^3 abs. หรือ Mpa abs เป็นต้น

<u>ตารางการปรับหน่วยของความดันต่างๆ</u>

ตารางที่ 2.18 แสดงค่าที่ใช้ในการปรับความดันจากหน่วยหนึ่งเป็น หน่วยอื่นๆ

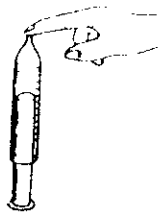
ตารางที่ 2.18 การเปลี่ยนหน่วยของความดัน

	Pa	bar	kgf/cm^2	atm	mnH_2O	mmHg หรือ Torr
ความดัน	1	1×10^{-5}	$1.019\ 72\times10^{-5}$	$9.869\ 23\times10^{-6}$	$1.019\ 72\times10^{-1}$	$7.500\ 62\times10^{-3}$
	1×10^{5}	1	1.019 72	$9.869\ 23\times10^{-1}$	$1.019\ 72\times10^{4}$	$7.500\ 62\times10^{2}$
	$9.806\ 65\times10^{4}$	$9.806\ 65\times10^{-1}$	1	$9.678\ 41\times10^{-1}$	$1.000\ 0\times10^{4}$	$7.355\ 59\times10^{2}$
	$1.013\ 25\times10^{5}$	1.013 25	1.033 23	1	$1.033\ 23\times10^{4}$	$7.600\ 00\times10^{2}$
	9.806 65	$9.806\ 65\times10^{-5}$	$1.000\ 0\times10^{-4}$	$9.678\ 41\times10^{-6}$	1	$7.355\ 59\times10^{-2}$
	$1.333\ 22\times10^{2}$	$1.333\ 22\times10^{-3}$	$1.359\ 51\times10^{-3}$	$1.315\ 79\times10^{-3}$	$1.359\ 51\times10$	1

2.6 ทฤษฎีการอัด

2.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตร

ถ้าหลอดฉีดยาที่ไม่มีเข็ม มีอากาศอยู่แยะถูกกดด้วยนิ้วหัวแม่มือในขณะที่ปลายถูกนิ้วหนึ่งอุดไส้ จะเห็นว่าเมื่อปริมาตรลดลงแรงที่ต้องใช้กดจะมากขึ้น จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าความดันจะสูงขึ้นเมื่อปริมาตรลดลง นอกจากอากาศแล้วก๊าซอื่นๆก็มีความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.25 การอัด

สำหรับก๊าซทั้งหลายถ้าความดันกลายเป็นสองเท่าโดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง ปริมาตรจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของปริมาตรเดิม และถ้าความดันเป็นสามเท่า ปริมาตรก็จะเป็นหนึ่งในสามของปริมาตรเดิม และถ้าความดันลดเหลือครึ่งเดียว ปริมาตรจะเป็นสองเท่า

กล่าวได้ว่า " ถ้าอุณหภูมิไม่เปลี่ยน ปริมาตรของก๊าซจะเป็นสัดส่วนกลับกับความดัน " และนี่คือกฎของ Boyle

กฎของ Boyle นั้นเขียนเป็นสูตรได้ ถ้าในสภาพอุณหภูมิอากาศที่มีความดัน P_1 (kgf / cm^3 abs) หรือ (Pa) และมีปริมาตร V_1 (m^3) ถูกอัดจนความดันเป็น P_2 (kgf / cm^3 abs) หรือ (Pa) ปริมาตรของอากาศจะกลายเป็น V_2 (m^3)

$$P_1 V_1 = P_1 V_2 = \text{ค่าคงที่}$$

2.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและปริมาตร

สสารส่วนใหญ่จะเพิ่มปริมาตรถ้าอุณหภูมิเพิ่ม สัมประสิทธิ์การขยายตัวขึ้นอยู่กับชนิดของสสารและขึ้นกับความเป็นของแข็งของเหลวหรือก๊าซ สัมประสิทธิ์การขยายตัวของของแข็งมีค่าต่ำสุด ของเหลวมีสัมประสิทธิ์สูงกว่าของแข็งและก๊าซมีสัมประสิทธิ์สูงกว่าของเหลว ถ้าสังเกตการขยายตัวของก๊าซจะพบว่าเป็นไปตามกฎต่อไปนี้

" ที่ความดันคงที่ ก๊าซทุกชนิดเพิ่มปริมาตร 1/ 273 ของปริมาตรที่ 0°C ทุกๆครั้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น 1°C และจะลดปริมาตรเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิเช่นเดียวกัน" และนี่คือกฎของ Charles ถ้า V_0 เป็นปริมาตรที่ 0° C และถ้าก๊าซมีปริมาตร V_1 (m^3) ที่อุณหภูมิ t_1 (°C) ก๊าซจะเปลี่ยนปริมาตรเป็น V_2 (m^3) ที่ t_2 (°C) ภายใต้ความดันคงที่ และจะได้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$V_1 = V_0 \{ 1 + (t_1 / 273) \} \qquad 2.11$$

$$V_2 = V_0 \{ 1 + (t_2 / 273) \} \qquad 2.12$$

จากทั้งสองสูตร

$$V_1 / V_2 = (273 + t_1) / (273 + t_2) \qquad 2.13$$

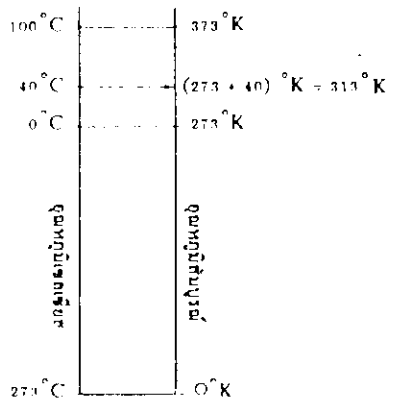
ตามปกติในการวัดอุณหภูมิจะใช้ Celsius (°C) ที่วัดอุณหภูมิเซลเซียสใช้หลักว่า 0 °C อยู่ที่จุดเข็งตัวและ 100 °C อยู่ที่จุดเดือด แต่ในการวิเคราะห์ก๊าซจะใช้อุณหภูมิที่อ่าน 273 °K ที่ 0 °C และ 0 °K ที่ - 273 °C (รูปที่ 2.26)อุณหภูมิเช่นนี้เรียกว่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ T (°K) และมีความสัมพันธ์กับ t (°C) ดังนี้

$$T\ ^\circ K = 273 + t\ ^\circ C \qquad 2.14$$

ดังนั้นสมการ จะกลายเป็น

$$(V_1 / V_2) = (T_1 / T_2) \qquad 2.15$$

จากสูตรข้างบนจะเขียนกฎของ Charles ได้เป็น " เมื่อความดันคงที่ ปริมาตรของก๊าซเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิสมบูรณ์"



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเซลเซียสและอุณหภูมิสัมบูรณ์

2.6.2 สมการของสถานะ (state) ของก๊าซ (กฎของ Boyle - Charles)

ต่อไปนี้จะรวมกฎของ Boyle เข้ากับกฎของ Charles สมมุติว่าก๊าซมีความดันสัมบูรณ์ P_1 (kgf / cm^3) หรือ (Pa) ปริมาตร V_1 (m^3) และอุณหภูมิสัมบูรณ์ T_1 (K)

ถ้าอุณหภูมิของก๊าซเปลี่ยนความดันและปริมาตรจะเปลี่ยน ถ้าความดันเปลี่ยนอุณหภูมิและปริมาตรจะเปลี่ยน และปริมาตรเปลี่ยน อุณหภูมิและความดันจะเปลี่ยน

ดังนั้น ถ้าความดันหรือปริมาตรหรืออุณหภูมิสมบูรณ์เปลี่ยน ที่เหลือก็จะเปลี่ยน

จากที่กล่าวข้างต้นกฎ **Boyle** และกฎของ **Charles** รวมกันก็กลายเป็นกฎของ **Boyle - Charles** ซึ่งใช้กันแพร่หลายดังนี้

จากปริมาตรคือ V_1 (m^3) น้ำหนักเท่ากับ G(kgf) หรือ (N) ปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก (น้ำหนักเฉพาะ) เท่ากับ γ (kgf / m^3) หรือ (N /m^3) สำหรับก๊าซที่มีความดันสัมบูรณ์เท่ากับ P(kgf / $m)^2$ หรือ (Pa) และความดันสัมบูรณ์ T (K) กฎของ **Boyle - Charles** จะเขียนออกมาเป็นสมการได้ดังนี้

$$PV = GRT \qquad 2.16$$

$$\text{หรือ } P\,v = RT \qquad 2.17$$

$$(P/\gamma) = RT$$

ค่า R นั้นคงที่สำหรับก๊าซแต่ละชนิดเรียกว่า " ค่าคงที่ของก๊าซ" ค่าคงที่ของก๊าซของอากาศแห้งเท่ากัน 29.27 m/ K [760 mm Hg (0.1013 Mpa), 0°C (273 K)] แต่อากาศในเครื่องอัดเป็นอากาศชื้นที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 65 % จึงใช้ค่าคงที่ของก๊าซเท่ากับ 29.46 m/K [760 mm Hg (0.1013 Mpa), 20°C (293 K)] ค่าคงที่ของก๊าซ สำหรับก๊าซสำคัญๆมีอยู่ในตารางที่ 2.19

ก๊าซซึ่งเป็นไปตาม กฎของ **Boyle - Charles** เรียกว่าก๊าซสมบูรณ์แบบ (perfect gas)และถือได้ว่าก๊าซทุกชนิดเป็นก๊าซสมบูรณ์แบบ นอกจากจะอยู่ในสภาพที่มีความดันสูงมากหรืออุณหภูมิต่ำมาก

ตารางที่ 2.19 ค่าคงที่ก๊าซ

760 mmHg (0.1013 MPa)

ก๊าซ / ค่าคงที่ของก๊าซ	อากาศ		ออกซิเจน (O_2)	ไนโตรเจน (N_2)	ไฮโดรเจน (H_2)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
	อากาศแห้ง (0°C)	อากาศชื้น (20°C)				
R (m/K)	29.27	29.46	26.50	30.26	420.6	19.27

2.7 การอัดก๊าซ

2.7.1 วิธีการอัด

มีวิธีการอัดก๊าซอยู่ 3 วิธีคือ การอัดที่อุณหภูมิคงที่ (isothermal) การอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (adiabatic) และการอัดโปลีทรอปิค (polytropic) จะได้กล่าวถึงแต่ละวิธีดังนี้

(ก) การอัดที่อุณหภูมิคงที่

เมื่อก๊าซถูกอัดโดยได้รับพลังงานเชิงกลจากภายนอก พลังงานนี้อาจจะถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของก๊าซจะสูงเมื่อความดันสูงขึ้น

ในระหว่างการอัดนี้ ถ้าก๊าซได้รับการหล่อเย็นอย่างเต็มที่ และความร้อนที่เกิดขึ้น ถูกดึงออกไปหมดในทันทีอุณหภูมิของก๊าซที่ถูกอัดจะไม่เปลี่ยน การอัดเช่นนี้เรียกว่าการอัดที่อุณหภูมิคงที่

ถ้าก๊าซอยู่ในสถานะ A_1 (ความดัน P_1 ปริมาตรจำเพาะ v_1) และเมื่อถูกอัดที่อุณหภูมิคงที่ไปสู่สถานะ A_2 (ความดัน P_2 ปริมาตรจำเพาะ v_2) การอัดจะเป็นไปตามความสัมพันธ์

$$P_1 \cdot v_1 = P_2 \cdot v_2 = \text{ค่าคงที่}$$

ตามสูตรนี้ถ้าปริมาณถูกลดลงเหลือ 1/2, 1/3, 1/4 ---- 1/10 ของปริมาณเดิม โดยการอัดที่อุณหภูมิคงที่ความดันจะกลายเป็น 2,3,4,----,10 เท่าของความดันเดิม การอัดที่อุณหภูมิคงที่มีความสำคัญในการศึกษาทางทฤษฎีแต่ไม่มีความสำคัญต่อการทำงานจริงของเครื่องอัด สำหรับเครื่องอัดถึงแม้เสื้อสูบจะได้รับการหล่อเย็นอย่างเต็มที่ก็ยังเป็นไปไม่ได้ ที่จะรักษาให้อุณหภูมิอากาศคงที่ เพราะอากาศถูกอัดในอัตราความเร็วหลายร้อยครั้ง หรือหนึ่งพันครั้งต่อนาที

(ข) การอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน

ถ้ามีการอัดโดยที่เสื้อสูบมีฉนวนกันความร้อนขนาดที่ไม่มีความร้อนถ่ายเทผ่านได้เลย การอัดนี้เรียกว่าการอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน

คล้ายกับการอัดที่อุณหภูมิคงที่ ตามความเป็นจริงแล้วเป็นไอไม่ได้ที่จะมีฉนวนกันความร้อนได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามการอัดแบบนี้ก็เป็นที่น่าสนใจในการศึกษาทฤษฎีการอัด

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของก๊าซถูกอัดโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนเป็นไปตามสูตรข้างล่าง

ถ้าก๊าซซึ่งมีน้ำหนักคงที่อยู่ในสถานะ A_1 (ความดัน P_1 ปริมาตรจำเพาะ v_1) และก๊าซนี้ถูกอัดโดยไม่มีความร้อนถ่ายเท จนมีสถานะ A_2 (ความดัน P_2 ปริมาตรจำเพาะ v_2) ความสัมพันธ์ระหว่างสองสถานะจะเป็นไปตามสูตร

$$P_1 \cdot v_1^{\chi} = P_2 \cdot v_2^{\chi} = \text{ค่าคงที่} \qquad 2.18$$

χ : อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ

จากสูตรนี้ถ้าปริมาตรของอากาศถูกอัดจนเหลือเพียง 1/2, 1/3, 1/4,----1/10 ของปริมาตรเดิมในการอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ความดันจะกลายเป็น 2.64, 4.656, 6.966 -----25.1 เท่าของความดันเดิม

เมื่อเปรียบเทียบการอัดอากาศที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนกับการอัดที่อุณหภูมิคงที่ การอัดที่ไม่มีความร้อนถ่ายเทจะต้องใช้งาน(work)มากกว่า

(ค) การอัดโปลีทรอปิก (วิธีการอัดที่เกิดขึ้นจริงในเครื่องมืออัด)

เมื่อก๊าซถูกอัดจริงๆ ในเครื่องอัดอากาศจะมีการถ่ายเทความร้อนกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงไม่มีการอัดที่อุณหภูมิคงที่ หรือการอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน

การอัดโปลีทรอปิกนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน p และปริมาตรจำเพาะ v จะเป็นดังนี้

$$P_1 \cdot v_1^{\,n} = P_2 \cdot v_2^{\,n} = \text{ค่าคงที่} \qquad 2.19$$

n : เป็นดรรชนีโปลีทรอปิคซึ่งมากกว่า 1 แต่น้อยกว่า χ (อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ) ดรรชนีมีค่าประมาณ 1.25 - 1.35 สำหรับเครื่องอัดอากาศปกติ

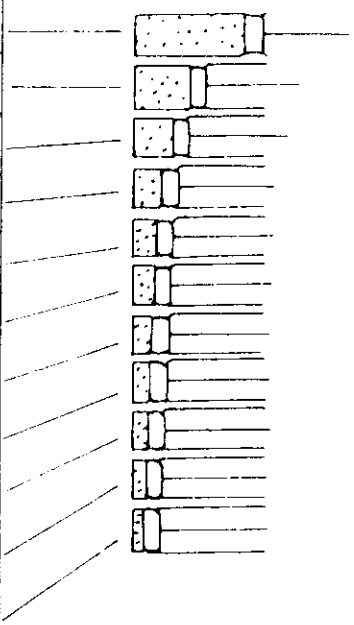
ถ้า n = 1.25 และถ้าปริมาตรถูกลดลงเหลือ 1/2, 1/3, 1/4 ---- 1/10 ของปริมาตรเดิมความดันจะกลายเป็น 2.83, 3.95, 5.96 --- 17.8 เท่าของความดันเดิม

ถ้าความสัมพันธ์เป็นเช่นนี้ สำหรับตอนขยายตัวด้วย ก็เรียกได้ว่าการเปลี่ยนแปลงแบบโปลีทรอปิค สำหรับทั้งการอัดและการขยาย

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในระหว่างการอัดที่อุณหภูมิคงที่ การอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน และการอัดโปลีทรอปิคมีอยู่ในตารางที่ 2.20

ตารางที่ 2.20ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันระหว่างการอัดที่อุณหภูมิคงที่ การอัดโปลีทรอปิคและการอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน

ความดัน / ปริมาตร	การอัดที่อุณหภูมิคงที่	n = 1.25 การอัดโปลีทรอปิค	การอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน
1	1	1	1
1/2	2	2.38	2.64
1/3	3	3.96	4.66
1/4	4	5.96	6.97
1/5	5	7.5	9.09
1/6	6	9.4	12.3
1/7	7	11.4	15.1
1/8	8	13.5	18.4
1/9	9	15.6	21.7
1/10	10	17.8	25.1
1/11	11	20.0	28.8



หมายเหตุ : ความดันในตารางเป็นความดันสัมบูรณ์

2.7.2 อุณหภูมิระหว่างการอัด

จะได้ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างการอัดและอุณหภูมิสำหรับการอัด 3 วิธี คือการอัดที่อุณหภูมิคงที่ การอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน และการอัดโปรลีทรอปิค

(ก) อุณหภูมิในระหว่างการอัดที่อุณหภูมิคงที่

ในกรณีนี้อุณหภูมิจะคงที่ไม่ว่าความดันจะเป็นเท่าไร

(ข) อุณหภูมิระหว่างการอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน

ในกรณีที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับภายนอกของเสื้อสูบ พลังงานกลที่ใช้ในการอัดทั้งสิ้นจะถูกนำไปใช้ในการเพิ่ม อุณหภูมิของอากาศ

เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการอัดสูงขึ้น เมื่อความดันสูงขึ้น ดังนั้นในการอัดที่ความดันสูงจะยิ่งทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากเครื่องอัด อาจคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้ถ้าเป็นการอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน

$$T_d = T_s (P_d / P_s)^{(\chi - 1)/m\chi} \qquad 2.20$$

T_d : อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากเครื่องอัด (K)

T_s : อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศขาเข้า (K)

P_d / P_s : ความดันสัมบูรณ์ขาออก = อัตราส่วนความดัน
ความดันสัมบูรณ์ขาเข้า

m : จำนวนตอน (stage) ของการอัด (m = 1,2,3, ----)

χ : อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ

ต่อไปนี้จะได้อธิบายถึงความหมายของตอนของการอัด

ในกรณีที่ความดันเพิ่มขึ้นในการอัดครั้งเดียวจากความดันขาเข้าเป็นความดันขาออกจะเรียกการอัดนี้ว่าการอัดตอนเดียว

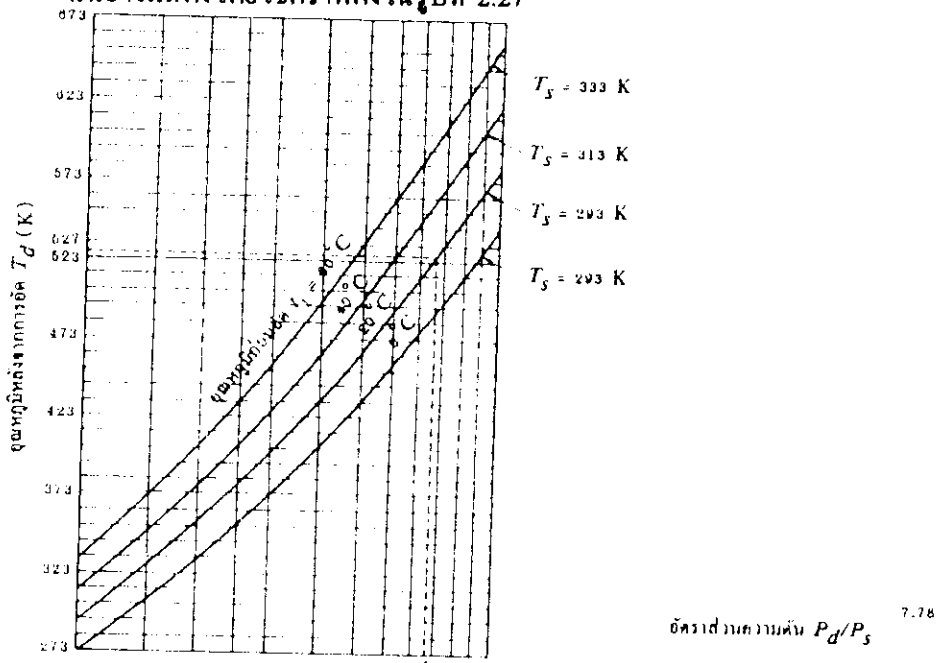
เราอาจเพิ่มความเร็วความดันจากความดันขาเข้าโดยการอัดในเสื้อสูบอันหนึ่งไปสู่ความดันระหว่างกลาง (intermediate) แล้วส่งอากาศอัดนี้ไปผ่านที่หล่อเย็น ระหว่างตอน (intercooler) เพื่อลดอุณหภูมิ แล้วจึงส่งเข้าเสื้อของตอนที่สอง หลังจากนั้นก็อัดในเสื้อสูบที่สองจากความดันระหว่างกลางไปสู่ความดันขาออก

ในกรณีหลังนี้อากาศอัดในตอนที่ 1 แล้วจึงถูกอัดต่อจนถึงความดันขาออกในตอนที่ 2 จึงเรียกว่าการอัด 2 ตอน ดังนั้นจึงอาจมีการอัด 1 ตอน 2 ตอน 3ตอนหรือมากกว่าได้ตามความจำเป็น ถ้าอัตราส่วนของความดันมีค่าสูง อุณหภูมิขาออกจะสูงดังที่แสดงโดยสมการข้างต้น

และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องอัดจะลดลง ดังนั้นในกรณีเช่นนี้จึงควรใช้การอัดมากกว่าสองตอน แต่ถ้าจำนวนเสื้อสูบหรือจำนวนตอนที่ใช้ในการอัดมากนัก การสูญเสียเนื่องจากความฝืดจะเพิ่มและค่าใช้จ่ายในการลงทุนซื้อเครื่องอัดก็จะสูงขึ้น

ตามเกณฑ์ปกติควรใช้ หนึ่งหรือสองตอนสำหรับความดันถึง 7 - 10 kgf / cm^2 (0.6865 - 0.9807 Mpa) และใช้สามตอนสำหรับความดันถึง 60 kgf / cm^3 (5.884 Mpa)

สมการ นั้นอาจแสดงโดยใช้กราฟดังในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 อัตราส่วนความดันและอุณหภูมิที่เกิดจากการอัดในการอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (สำหรับ m = 1 การอัดตอนเดียว)

(ค) อุณหภูมิในการอัดโปลิทรอปิค

ถ้าเสื้อสูบได้รับการหล่อเย็นด้วยน้ำ จะมีการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนั้นคำนวณได้โดยใช้ " n " แทน " χ " ในสมการ (2.16) และจะมีค่าน้อยกว่ากรณีที่จัดโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อน

อุณหภูมิของก๊าซในเครื่องอัดตามความเป็นจริงนั้น ขึ้นกับชนิดของเครื่องอัดและควรจะต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.8 ประสิทธิภาพของเครื่องอัด

มีประสิทธิภาพอยู่หลายประเภทที่ใช้กับเครื่องอัด แต่ที่สำคัญคือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรและประสิทธิภาพกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน overall นับเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องเข้าใจความหมายของประสิทธิภาพแต่ละประเภท

2.8.1 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

เพื่อเข้าใจได้ง่ายจะกล่าวถึงประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องอัดประเภทลูกสูบ

พิจารณาเครื่องอัดประเภทลูกสูบซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบเท่ากับ D(m) ความยาวของช่วงอัดเท่ากับ S(m) และความเร็วรอบ N(rpm) ดังนั้นรูปที่ 2.28 (a) ในกรณีนี้ลูกสูบจะอัดปริมาตร V_s (m^3) ในการอัดหนึ่งครั้งหรืออัด $V_s * N$ (m^3) ต่อนาที ปริมาตรที่ถูกอัดต่อหน่วยเวลาเรียกว่าการกวาดของลูกสูบ (piston displacement) และคำนวนได้ดังนี้

ปริมาตรการกวาดของลูกสูบ = $V_s * N$

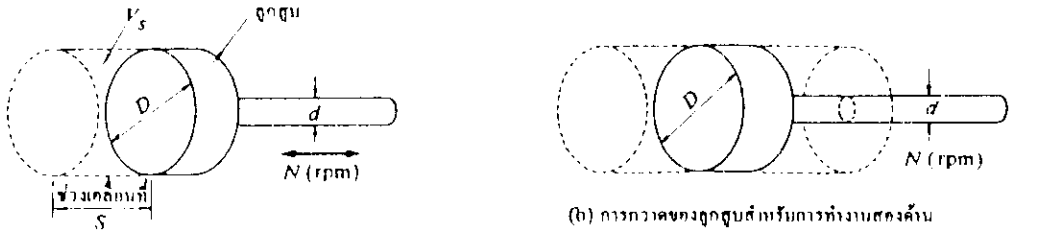
$$= (\pi/4) D^2 * S * N \ (m^3/min) \qquad 2.21$$

การคำนวณข้างบใช้ได้เฉพาะกับเครื่องอัดทำงานครั้งเดียว (single acting) (เฉพาะด้ายซ้ายของลูกสูบเท่านั้นที่ใช้ในการอัดดังในรูปที่ 2.28 (a) และในกรณีเครื่องสูบทำงานสองครั้งจะต้องใช้สูตรข้างล่างเนื่องจากอีกด้านหนึ่งของลูกสูบที่ใช้อัดมีเนื้อที่ $(\pi/4)(D^2 - d^2)$ (การอัดสองครั้งหมายความว่าอากาศถูกอัดทั้งโดยด้านซ้ายและด้านขวาของลูกสูบดังในรูปที่ 2.28 (b)

ปริมาตรการกวาดของลูกสูบ $\chi = (\pi/4) D^2 * S * N + (\pi/4)(D^2 + d^2) * S * N$

$$\chi = (\pi/4)(2D^2 - d^2) * S * N \ (m^3/min) \qquad 2.22$$

d : เส้นผ่านศูนย์กลางของคันชักลูกสูบ (piston rod) (m)



(a) การกวาดของลูกสูบสำหรับการทำงานด้านเดียว

(b) การกวาดของลูกสูบสำหรับการทำงานสองด้าน

รูปที่ 2.28 การกวาดของลูกสูบ

ปริมาตรการกวาดของลูกสูบแสดงสมรรถนะ (capacity) ของเครื่องอัด แต่ในเครื่องอัดจริงๆปริมาตรอากาศที่ออกจากเครื่องสูบจะน้อยกว่าปริมาตรการกวาดของลูกสูบเพราะมีอากาศรั่วจากลูกสูบและเสื้อสูบแล้วค้างอยู่ไม่ออกไปกับอากาศที่เหลือ ปริมาตรอากาศที่ออกจากเครื่องอัดจริงๆ จะน้อยกว่าปริมาตรกวาดเท่าไรนั้นขึ้นกับความดันของอากาศอัด ปริมาตรอากาศขาออกนั้นตามปกติจะคิดเป็นปริมาตรที่ปรับให้มีความดันเท่ากับอากาศขาเข้าแทนที่จะใช้ปริมาตรในสภาพที่ถูกอัด ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรหมายถึงอัตราส่วนเป็นร้อยละระหว่างปริมาตรอากาศขาออกต่อปริมาตรการกวาดของลูกสูบ

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร = ปริมาตรอากาศขาออก * 100 %

ปริมาตรการกวาดของลูกสูบ

ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงปริมาตรแสดงสัดส่วนของปริมาตรกวาดของลูกสูบเป็น (%) ที่ออกไปจากเครื่องอัดจริงๆ

ในทางทฤษฎีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\eta_v = (Q_s / Q_{th}) = 1 - \varepsilon \{ (P_d / P_s)^{1/n} - 1\} \qquad 2.23$$

η_v : ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร ตามปกติเป็น % ได้จากคูณค่าข้างบนด้วย 100

Q_s : ปริมาตรขาออกปรับให้เป็นค่าที่ความดันขาเข้า (m^3 / min)

Q_{th} : ปริมาตรการกวาดของลูกสูบ (m^3 / min)

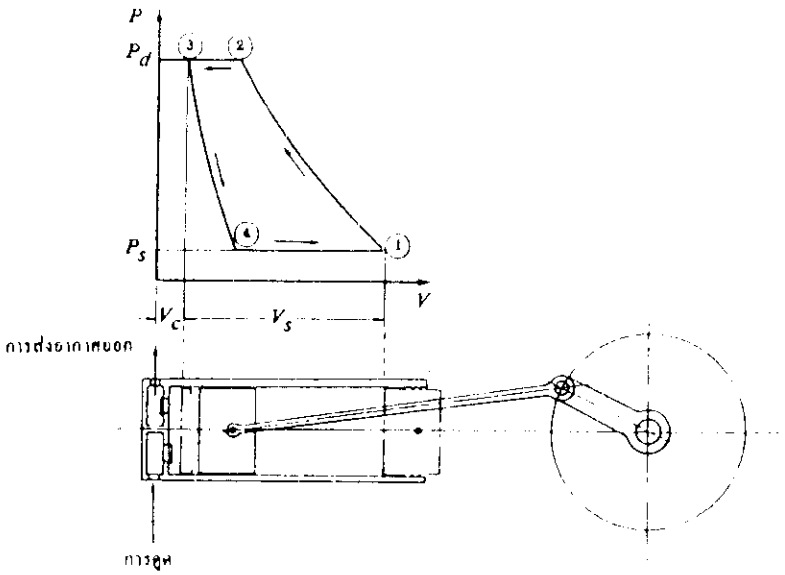
ε : อัตราส่วนระหว่างปริมาตรว่างเหนือลูกสูบต่อปริมาตรกวาด โดยลูกสูบในแต่ละครั้ง $= V_o / V_s$

P_d : ความดันขาออกจากเสื้อสูบตอนที่ 1 (kgf / cm^2 abs) { Pa}

P_s : ความดันขาเข้าจากเสื้อสูบตอนที่ 1 (kgf / cm^2 abs) { Pa}

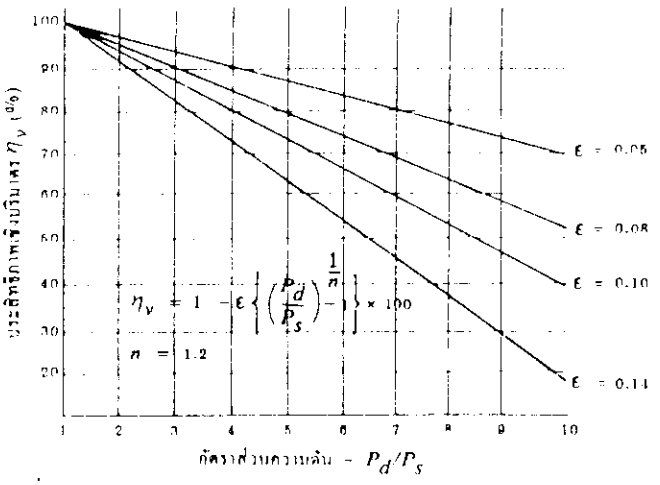
n : สัมประสิทธิ์การขยายตัวของก๊าซที่ค้างอยู่ในปริมาตรว่างเหนือลูกสูบ และเท่ากับประมาณ 1.2 ในกรณีของอากาศ

ถึงแม้ว่าลูกสูบจะอยู่ที่จุดสูงสุด และช่วงขับก๊าซออก (discharge stroke) ได้เสร็จสิ้นแล้ว และวาล์วขาออกก็ปิด แต่ก็ยังคงมีอากาศที่ถูกอัดที่อุณหภูมิขาออกที่ค้างอยู่ในปริมาตรว่างเหนือลูกสูบ ในเสื้อสูบ ในฝาปิดเสื้อสูบและในช่องทางผ่านของอากาศในวาล์ว ปริมาตรเหล่านี้แสดงโดย V_o ในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 รูป P-V ของเครื่องอัด

อากาศอัดจะไม่ถูกดูดเข้าทันทีเพราะวาล์วขาเข้าจะยังไม่เปิดจนกระทั่งอากาศปริมาตร V_0 ที่ความดันขาออกจะขยายตัวจนความดันต่ำกว่าความดันขาเข้า หลังจากนั้นอากาศภายนอกจึงจะถูกดูดเข้ามา อัตราส่วนระหว่าง V_0 และ V_s เรียกว่าปริมาตรว่างสัมพัทธ์ กราฟในรูปที่ 3.10 แสดงเส้นโค้ง P-Vโดยที่ 1 - 2 แสดงช่วงอัด 2 - 3 ช่วงขับอากาศออก 3 - 4 ช่วงขยายตัว และ 4-1 ช่วงดูดในสมการ 3.19 เครื่องหมาย $\approx$ แสดงว่า η_v มีค่าจริงๆต่ำกว่าที่ได้จากสูตรเพราะมีความต้านทานในวาล์วและมีการรั่วผ่านลูกสูบ รูปที่ 2.30 แสดงประสิทธิภาพเชิงปริมาตร η_v ซึ่งแปรตามปริมาตรว่างสัมพันธ์ ε และอัตราส่วนความดัน P_d / P_s



รูปที่ 2.11 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรและอัตราส่วนความดัน

ดังนี้ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรขึ้นกับลักษณะการออกแบบของเครื่องอัดเช่นรูปร่าง และขนาดของเสื้อสูบ และรูปร่าง ขนาด และการจัดตำแหน่งของวาล์ว

2.8.2 ประสิทธิภาพกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน Overall

ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศกับปัจจัยต่างๆ เช่น ความต้านทานการไหลของอากาศผ่านวาล์ว ช่องทางการไหลของอากาศและท่อ การสูญเสียเชิงกล สมรรถนะการหล่อเย็น เป็นต้น เป็นการยากที่จะผลกระทบของแต่ละปัจจัยต่อประสิทธิภาพ จึงใช้ประสิทธิภาพ (Overall) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้อัดโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนต่อพลังงานเพลาที่ใช้กับเครื่องอัดจริงๆ (ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพกรณีที่อุณหภูมิคงที่ แต่กระบวนการอัดจริงๆของเครื่องอัดเป็นการอัดโปลิทรอปิค ซึ่งคล้ายการอัดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนมากกว่า จึงมักใช้ประสิทธิภาพกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อนกัน)

ประสิทธิภาพกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน Overall หากได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\eta_{ad} = (L_{ad} / L_s) \qquad 2.24$$

η_{ad} : ประสิทธิภาพกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน (Overall) ซึ่งตามปกติคิดเป็น % โดยการคูณข้างบนด้วย 100

L_{ad} : กำลังกรณีไม่มีการถ่ายความร้อนตามทฤษฎี (kW)

L_S : กำลังเพลาของเครื่องต้นกำลังที่ใช้เครื่องอัด (kW)

กำลังกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อนนั้นคำนวณได้จาก

$$L_{ad} = \frac{m\chi * P_S Q_S [(P_d / P_S)^{(\chi - 1)/(m\chi - 1)}]}{\chi - 1 * 6120} \qquad 2.25$$

$$L_{ad} = \frac{m\chi * P_S Q_S [(P_d / P_S)^{(\chi - 1)/(m\chi - 1)}]}{\chi - 1 * 6*10^4} \qquad 2.26$$

L_{ad} : กำลังกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน (kW)

m : จำนวนตอน

χ : อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ (1.4 สำหรับอากาศ)

P_s : ความดันขาเข้าของอากาศที่ตอนที่ 1 (kgf / m^3 abs) {Pa}

P_s : discharge pressure at the fival stage (kgf / m^3 abs) {Pa}

Q_s : ปริมาตรอากาศขาออกปรับเป็นปริมาตรที่สภาวะขาเข้า (m^3 / min)

กำลังกรณีที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนที่ใช้ในการอัดอากาศที่สถานะมาตรฐาน 1 m^3 / min ที่คำนวณได้จากสูตรข้างบน มีอยู่ในตารางที่ 2.20

ตารางที่ 2.20 กำลัง (ทางทฤษฎี) ที่ต้องใช้ในการอัดในกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน

ความดัน (kgf/cm² (G))	กำลังอัด 1 – ตอน (kW)	กำลังอัด 2 – ตอน (kW)	ความดัน (kgf/cm² (G))	กำลังอัด 2 – ตอน (kW)
0.5	0.7053		11	4.9639
1	1.2808		12	5.1663
1.5	1.7256		13	5.3385
2	2.1288		14	5.5060
2.5	2.4869		15	5.6661
3	2.8105		16	5.8178
3.5	3.1065		17	5.9621
4	3.3801	2.9091	18	6.0997
4.5	3.6348	3.2012	19	6.2313
5	3.8736	3.3879	20	6.3573
5.5	4.0987	3.5618	21	6.4783
6	4.3118	3.7247	22	6.5947
6.5	4.5143	3.8779	23	6.7068
7	4.7074	4.0227	24	6.8150
7.5	4.8922	4.1599	25	6.9195
8	5.0693	4.2904	26	7.0215
8.5	5.2396	4.4148	27	7.1195
9	5.4038	4.5338	28	7.1246
9.5	5.5619	4.6477	29	7.3069
10	5.7149	4.7572	30	7.3965

หมายเหตุ : กำลังที่แสดงในตารางเป็นกำลังที่ใช้ในการอัดอากาศก่อนถูกอัดในอัตรา 1 m^3/min

1 kgf/cm² = 0.0980665 MPa

ตารางนี้แสดงว่ากำลังที่ต้องที่ต้องใช้สำหรับการอัด 2 ตอน น้อยกว่า การอัด 1 ตอน ที่เป็นเช่นนี้เพราะลดกำลังได้ด้วยการหล่อเย็นโดยใช้ที่หล่อเย็นระหว่างตอน (intercooler)

กำลังกรณีที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (ทางทฤษฎี) ที่ใช้ในการอัดอากาศ 1 m^3/ min โดยการอัด 2 ตอนให้มีความดัน 7 kgf/cm^3 (G) = 8.033 kgf/cm^3 abs เท่ากับ 4.022 kW จากสมการและตารางที่ 2.20 ถ้าเครื่องอัดสองตอน 2 ตอนนี้ใช้กำลัง 5.4 kW ในการอัดอากาศ 1 m^3/ min ให้มีความดัน 7 kgf/cm^3 (G) ประสิทธิภาพในกรณีไม่มีความร้อนถ่ายเท overall จะเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$\eta_{ad} = 4.022 / 5.4 = 0.745 \text{ หรือ } 74.5\ \% \qquad 2.27$$

ถ้าสัมประสิทธิ์นี้เข้าใกล้ 100% กำลังที่ใช้ขับเครื่องอัดจะใกล้กับกำลังกรณีนี้ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (ทางทฤษฎี) และกำลังนี้จะน้อยลงด้วย หมายความว่าถ้าประสิทธิภาพนี้สูงขึ้นกำลังที่ใช้อัดอากาศต่อหน่วยปริมาณจะลดลงค่าของประสิทธิภาพกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน (overall) สำคัญมากเพราะมีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้พลังงาน

ดังที่ได้กล่าวแล้ว การอัด 1- ตอน และ 2-ตอน จะมีค่าของกำลังกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน (ทางทฤษฎี) ต่างกัน ดังนั้นจะเปรียบประสิทธิภาพกันได้ เฉพาะเครื่องอัดที่มีจำนวนตอนเท่ากัน โดยสรุปสมรรถนะและความประหยัดของการใช้เครื่องอัดนั้นดูได้จากประสิทธิภาพกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน (overall) ส่วนประสิทธิภาพเชิงปริมาตรนั้นมีความสำคัญในระหว่างการออกแบบเครื่องอัดโดยบริษัทผู้ผลิต ไม่สู้สำคัญนัก สำหรับผู้ใช้

2.9 กำลังที่ต้องใช้สำหรับเครื่องอัด

สมมติว่ามีเครื่องอัด 1-ตอนที่มีประสิทธิภาพทางเชิงปริมาณ 63 % และปริมาณการกวาดโดยลูกสูบ 7.94 m^3/min ส่งอากาศที่มีความดัน 7 kgf/ cm^2 (G) = 0.6865 Mpa จะหากำลังเพลาและกำลังมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดนี้ โดยสมมติว่าประสิทธิภาพไม่มีการถ่ายเทความร้อน overall = 70 % จากสมการ

$$\eta = Q_s / Q_{th} \qquad 2.28$$

ปริมาณการกวาดของลูกสูบ Q_{th} = 7.94 m^3 /min และประสิทธิภาพเชิงปริมาตร η_v = 0.63 ปริมาตรอากาศขาออกจะเป็น

$$Q_S = Q_{th} * \eta_v = 7.94 * 0.63 = 5.0\ m^3/min \qquad 2.29$$

กำลังกรณีไม่การถ่ายเทความร้อน (ทางทฤษฎี) ที่ต้องใช้ในอากาศอัด 1 m^3 /min โดยอัดหนึ่งตอนได้ความดัน 7 kgf / cm^3 (G) = 0.6865 Mpa จะเท่ากับ 4.7074 kW จากตารางที่ 2.20

เนื่องจากปริมาตรอากาศขาออก (ปรับเป็นสภาวะที่อากาศขาเข้า) ของเครื่องอัดนี้เท่ากับ 5.0 m^3/ min กำลังกรณีอัดโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อน (ทางทฤษฎี) จะเป็น

$$L_{ad} = 5.0 * 4.7074 = 23.5\ kW \qquad 2.30$$

(หาจากสมการ 2. ก็ได้)

จากสมการ

$$\eta_{ad} = L_{ad} / L_S \qquad 2.31$$

เนื่องจากประสิทธิภาพกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน overall η_{ad} = 0.7 กำลังเพลา L_S จึงเป็น

$$L_S = L_{ad} / \eta_{ad} = 23.5/ 0.7 = 33.57\ kW \qquad 2.32$$

มอเตอร์ที่ควรใช้มีขนาดเท่ากับ 37 kW โดยเผื่อไว้ให้สูงกว่ากำลังเพลาประมาณ 5-10 %

เนื่องจากประสิทธิภาพเชิงปริมาตรและประสิทธิภาพกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน overall แปรตามลักษณะของเครื่องอัดและความดันขาออก จึงมักไม่ทราบว่ามีค่าเท่าใดแต่ถ้าใช้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่แปรตามอัตราส่วนความดัน และใช้ประสิทธิภาพกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน overall 80-85 % สำหรับเครื่องอัดขนาดใหญ่ 75-80 % สำหรับขนาดกลางและ 65 - 70 % สำหรับขนาดเล็กก็จะสามารถคำนวณกำลังที่เครื่องอัดต้องใช้ได้โดยประมาณ

2.10 ประเภทของเครื่องต้นกำลังและวิธีการต่อกับเครื่องต้นกำลัง

มักใช้มอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องยนต์เป็นเครื่องต้นกำลังสำหรับเครื่องอัด

2.10.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

อาจแบ่งมอเตอร์ไฟฟ้าอย่างคราวๆออกเป็นมอเตอร์อินดักชั่นและมอเตอร์ซิงโครนัส มอเตอร์อินดักชั่นมีเพาเวอร์แฟคเตอร์และประสิทธิภาพต่ำกว่าและใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่าขณะเริ่มเดินแต่มักใช้มอเตอร์อินดักชั่นกันจนถึงขนาด 600 kW เนื่องจากราคาต่ำและซ่อมง่าย

มีมอเตอร์อินดักชั่นอยู่ สองชนิดคือ ชนิด squirrel-cage และชนิด wound rotor ชนิด squirrel-cage นั้นซ่อมง่ายกว่าจึงนิยมใช้กันมากกว่าในระยะหลังๆ

ถึงแม้มอเตอร์ซิงโครนัสจะมีเพาเวอร์แฟคเตอร์และประสิทธิภาพดีมากแต่ราคาสูงจึงมักใช้ในกรณีที่ ต้องใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่และมีการประหยัดในการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก

2.10.2 วิธีการเริ่มเดินมอเตอร์

คุณลักษณะการเริ่มเดินเมื่อใช้สตาร์ทเตอร์ชนิดต่างๆกับมอเตอร์ชนิดต่างๆ มีแสดงในตารางที่ 2.21 ในการเลือกสตาร์ทเตอร์กับมอเตอร์คู่ใดคู่หนึ่งจะต้องคำนึงถึง แรงบิดที่ต้องใช้ในการเริ่มเดิน ขนาดของพลังงานไฟฟ้าที่ส่งไปยังจุดติดตั้งเครื่องอัด และผลกระทบของกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการเริ่มเดินต่อระบบจ่ายไฟฟ้านั้น

2.10.3 เครื่องยนต์

ในสภาพที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้า หรือต้องการใช้เครื่องอัดเคลื่อนที่ได้ก็ต้องใช้เครื่องยนต์เป็นเครื่องต้นกำลัง ถ้าขนาดต่ำกว่า 5.5 kW จึงใช้เครื่องยนต์แกสโซลีน ถ้าใหญ่กว่านั้นใช้เครื่องยนต์ดีเซล

ตารางที่ 2.21 คุณลักษณะการเริ่มเดินของมอเตอร์

มอเตอร์		สตาร์ทเตอร์	แรงบิดเมื่อเริ่มเดิน (%)	กระแสไฟฟ้าเมื่อเริ่มเดิน (%)	ราคา
มอเตอร์อินดักชั่น	Squirrel-cage	ไม่มี (full voltage)	100	500	ต่ำ
		Reactor	40	400	ปานกลาง
		Compensator	40	200	สูง
	Wound-rotor type	Secondary resistor	100	150	สูงที่สุด
มอเตอร์ซินโครนัส		ไม่มี (full voltage)	50 – 60	500	ต่ำ
		Reactor	20 – 30	400	ปานกลาง
		Compensator	20 – 30	200	สูง

2.10.4 วิธีการขับเครื่องอัด

ในปัจจุบันวิธีขับอยู่ 3 วิธี สำหรับใช้กับมอเตอร์คือ การใช้สะพาน V การใช้แผ่นประกับต่อเพลาโดยตรงและการใช้เพลามอเตอร์ขับเครื่องอัด สำหรับเครื่องยนต์ใช้วิธีประกับต่อเพลาโดยตรงและวิธีคลัทช์

(ก) การใช้สายพาน V

ข้อได้เปรียบในการใช้วิธีนี้คือ ความเร็วของเครื่องอัดจะเป็นเท่าไรก็ได้และใช้มอเตอร์ความเร็วสูงได้แต่ก็มีข้อเสียหลายข้อ เช่นกินที่มากขึ้น และมีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการลื่นของสะพาน วิธีนี้มักใช้สำหรับเครื่องอัดขนาดเล็ก เล็กกว่า 75 kW

(ข) การใช้แผ่นประกับต่อเพลาโดยตรง (Direct coupling)

ความเร็วของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับจำนวน pole และความถี่ของกระแสไฟฟ้าดังนั้นจำนวน pole ต้องมากและราคาของมอเตอร์ต้องสูงถ้าความเร็วของเครื่องอัดต่ำ แต่การต่อตรงทำให้มีประสิทธิภาพสูงซ่อมง่ายจึงใช้วิธีนี้กับเครื่องอัดขนาด 150-450 kW

(ค) การใช้เพลามอเตอร์ขับเครื่องอัด

ในวิธีนี้ ข้อเหวี่ยงและเครื่องอัดและเพลาของมอเตอร์เป็นชิ้นเดียวกันสำหรับเครื่องอัดแบบลูกสูบ และเพลาของเครื่องอัดกับเพลาของมอเตอร์เป็นชิ้นเดียวกันสำหรับเครื่องอัดประเภทหมุน ชุดมอเตอร์และเครื่องอัดแบบนี้กินที่น้อย ซ่อมได้ง่ายแต่มอเตอร์ต้องสร้างพิเศษ

(ง) การใช้คลัทช์

วิธีนี้ใช้ในการขับเครื่องอัดขนาดเล็กในเครื่องยนต์ การใช้คลัทช์ทำให้เริ่มเดินเครื่องยนต์ได้ง่ายเพราะไม่ต่อกับเครื่องอัด แต่แรงบิดของเครื่องอัดมักแปรเปลี่ยนได้มากดังนั้นคลัทช์ต้องสามารถรับแรงบิดสูงสุดได้

2.11 การเตรียมข้อกำหนดของเครื่องอัด

ประเด็นสำคัญในการทำข้อกำหนดของเครื่องอัดคือปริมาตรอากาศขาออกและความดัน จากข้อมูลทั้งสองนี้จะหากำลังที่เครื่องอัดต้องใช้โดยคำนวณตามวิธีใน 2.5 ดังนั้นในการเลือกเครื่องอัดจะต้องรู้ปริมาณอากาศและความดันที่จำเป็นต้องใช้เพื่อป้อนให้อุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัด ถ้าการศึกษาในขั้นตอนนี้ไม่ถูกต้อง เครื่องอัดที่ซื้ออาจเล็กเกินและใช้ไม่ได้หรือใหญ่เกินไปทำให้สิ้นเปลืองในการใช้งาน

2.11.1 ข้อมูลประกอบการซื้อเครื่องอัด

เมื่อจะซื้อเครื่องอัด จะต้องรู้สภาพการใช้งานและข้อมูลต่อไปนี้ เพื่อแจ้งต่อบริษัทผู้ผลิต

1) จุดประสงค์ในการใช้งาน

2) ความดันขาเข้า

3) ความดันขาออก

4) ชนิดและคุณสมบัติของก๊าซที่จะอัด

5) ความชื้นและอุณหภูมิของก๊าซ

6) ปริมาตรก๊าซขาออก

7) วิธีการปรับสมรรถนะ(ปรับโดยอัตโนมัติ ,ปรับด้วยมือ ,หรือปรับด้วยวิธีหลายตอน)

8) วิธีการหล่อเย็น (หล่อเย็นด้วยอากาศ หรือด้วยน้ำ) คุณภาพอุณหภูมิและความดันของน้ำหล่อเย็นในกรณีที่ใช้น้ำเพื่อหล่อเย็น

9) แหล่งให้พลังงาน(ความถี่ ,โวลท์, ขนาดของแหล่งให้พลังงาน)

10) สภาพและสิ่งแวดล้อมของสถานที่ติดตั้ง

11) ชนิดของเครื่องต้นกำลัง (มอเตอร์หรือเครื่องยนต์)

12) ความเร็วรอบของเครื่องต้นกำลัง

13) ชนิดของเครื่องอัด

ชนิดใช้น้ำมันหล่อลื่น หรือชนิดไม่ใช้น้ำมัน

ชนิดลูกสูบหรือชนิดหมุน

จำนวนตอนของการอัด

ชนิดตั้งอยู่กันที่หรือเคลื่อนที่

14) จำนวนเครื่องอัด

หากมีข้อมูลส่วนใดที่ผู้ซื้อใช้ไม่สามารถกำหนดได้ ก็ควรหารือกับบริษัทผู้ผลิต

2.11.2 ปริมาตรอากาศ (ก๊าซ) ขาออก

ในการเลือกเครื่องอัดอากาศจากแคตาลอก จะระบุขนาดเครื่องอัดโดยปริมาตรการกวาดของลูกสูบสำหรับเครื่องอัดแบบลูกสูบ แต่มักจะเข้าใจผิดกันว่าเป็นปริมาตรอากาศขาออก ดังนั้นกล่าวแล้วว่า ปริมาตรอากาศขาออกคือ ผลคูณของปริมาตรการกวาดของลูกสูบกับประสิทธิภาพแต่สำหรับเครื่องอัดแบบหมุน มักจะระบุปริมาตรขาออกที่แท้จริงในแคตาลอก เนื่องจากเครื่องอัดจะได้รับการออกแบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพกรณีไม่มีการความร้อนถ่ายเท overall สูงสุดเมื่อมีปริมาตรอากาศขาออกเต็ม 100% ตามที่กำหนด ดังนั้นถ้าในการใช้งานจริงเครื่องอัดมีปริมาตรขาออกกำกว่าที่กำหนดมากๆ ประสิทธิภาพก็จะตก ดังนั้นในการกำหนดปริมาตรอากาศขาออกต้องศึกษาการใช้อากาศอัดให้ดีเพื่อให้เครื่องอัดทำงานใกล้จุดที่กำหนดมากที่สุด ในกรณีที่อัตราการใช้อากาศเปลี่ยนแปลงมากต้องเลือกใช้เครื่องอัดที่มีปริมาตรอากาศขาออกเพียงพอสำหรับอัตราการสูงสุด

2.11.3 ความดัน

การกำหนดความดันขาออกของเครื่องอัด จะต้องให้ความดันนี้เท่ากับความดันที่อุปกรณ์ใช้อากาศอัดที่ต้องการใช้บวกการสูญเสียความดันในที่ดึงความร้อนขั้นปลาย (aftercooler) และในระบบท่อ เช่นถ้าอุปกรณ์ต้องการใช้ความดัน 5.5 kgf/ cm^3 [0.539 Mpa] และความดันที่สูญเสียเท่ากับ 0.2 kgf/ cm^3 [0.196 Mpa] ในที่ดึงความร้อนขั้นปลายและ 0.5 kgf/ cm^3 [0.049 Mpa]ในระบบท่อ

$$5.5 + 0.2 + 0.5 = 6.2 \text{ kgf/ cm}^3 = 0.608 \text{ Mpa}$$

ดังนั้นความดันออกของเครื่องอัดต้องสูงกว่า 6.2 kgf/ cm^3 [0.608 Mpa]เครื่องอัดจะมีประสิทธิภาพกรณีไม่มีความร้อนถ่ายเท overallสูงสุดใกล้ความดันขาออกที่กำหนดไว้ในแคตาลอกและประสิทธิภาพจะตกถ้าความดันน้อยกว่านั้น ดังนั้นจึงไม่เป็นการประหยัดที่จะเลือกใช้เครื่องอัดที่มีความดันขาออกสูงเกินไปโดยเพื่อการสูญเสียความดันไว้มากเกินไป ถ้ามีการแปรเปลี่ยนประมาณไม่เกิน 20 %จากความดันที่กำหนดประสิทธิภาพจะเปลี่ยนน้อย

2.11.4 สมรรถนะ (Performance)

เมื่อรู้ปริมาตรอากาศขาออกและความดันขาออกก็พร้อมที่จะเลือกเครื่องอัดในการ เปรียบเทียบเครื่องอัดต่างๆที่มีข้อกำหนดเท่าๆกัน จะต้องเลือกเครื่องอัดที่มีสมรรถนะดี คือมีประสิทธิภาพกรณีไม่มีความร้อนถ่ายเท overall ที่สูงที่สุดดังที่กล่าวไว้ใน 2.8.2

ใน 2.8.2 ได้ทราบแล้วว่าเครื่องอัด 2-ตอน นั้นมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเครื่องอัดตอนเดียวเพราะใช้กำลังน้อยกว่าในสภาพการทำงานเหมือนกัน แต่เครื่องอัด 2 ตอนมีชิ้นส่วนมากกว่า และยังมีที่หล่อเย็นระหว่างตอนจึงมีราคาสูงกว่า ถ้าความดันขาออกเท่ากับ 7 kgf/ cm^3 (0.6865 Mpa) ตามปกติจะใช้เครื่องอัดตอนเดียวถ้าขนาดเล็กกว่า 75 kW และใช้ 2- ตอนถ้าขนาดใหญ่กว่า นั้นแต่ในกรณีของเครื่องอัดแบบลูกสูบอาจใช้เครื่องอัด 2-ตอน ถึงแม้ขนาดจะเล็ก

สำหรับเครื่องอัดที่ใช้งานจริง ๆ มีการอัดและเขียนเส้นโค้งแสดงสมรรถนะดังต่อไปนี้ ปริมาตรขาออกที่ความดันขาออกต่าง ๆ กำลังของเพลาของเครื่องอัดประสิทธิภาพเชิงปริมาตร และประสิทธิภาพกรณีไม่มีการถ่ายเทความร้อน overall เส้นโค้งชุดนี้ทำให้เข้าใจสมรรถนะของเครื่องอัดได้ดี เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องอัด จะเป็นการสะดวกถ้าเปรียบเทียบเส้นโค้งดังกล่าวนี้

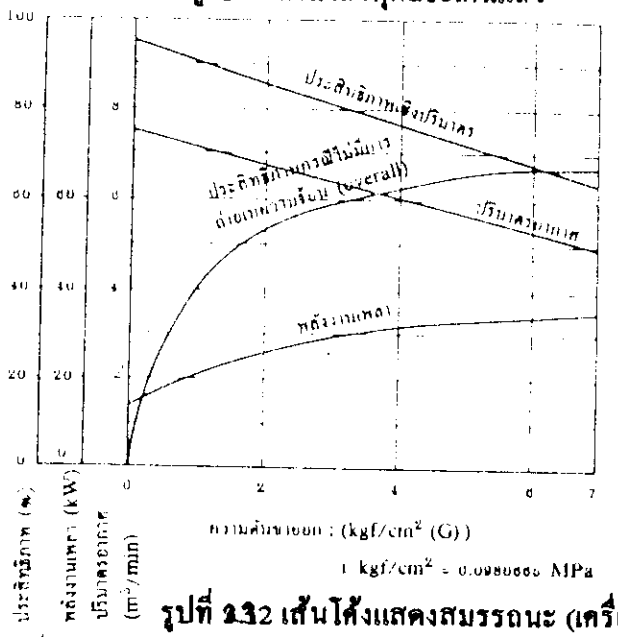
ประเด็นอื่น ๆ ที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกเครื่องอัดมีดังนี้

1) จำนวนที่ลงทุนครั้งแรก : ราคาของเครื่องอัดระบบไฟฟ้า อุปกรณ์ประกอบค่าแรงฐานตลอดจนค่าก่อสร้างอื่น ฯลฯ

2) ค่าใช้จ่ายในการใช้งาน ; ค่าไฟฟ้าหรือน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่นและน้ำหล่อเย็น

3) ค่าซ่อมบำรุงรักษา ; ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนและการซ่อมใหญ่

ตามปกติบริษัทผู้ผลิตจะมีเครื่องอัดมาตรฐานซึ่งผลิตขึ้นเป็นปริมาณมาก สำหรับขนาดเล็กกว่า 300 kW ถ้าใช้เครื่องมือมาตรฐานเหล่านี้จะได้เปรียบ ถึงแม้ข้อกำหนดในด้านปริมาตรขาออกและความดันขาอาจผิดไปจากที่ต้องการบ้าง เพราะจะได้ของเร็ว ราคาถูก อะไหล่หาได้ง่าย ทำให้เกิดประหยัดแก่ผู้ใช้เมื่อคำนึงถึงทุกประเด็นแล้ว



รูปที่ 2.32 เส้นโค้งแสดงสมรรถนะ (เครื่องอัดตอนเดียวขนาด 37 kW)

2.12 การเลือกใช้วัสดุ

2.12.1 วัสดุสำหรับส่วนที่สัมผัสกับก๊าซ

วัสดุจะถูกกัดกร่อนโดยก๊าซบางชนิดหลังจากใช้เป็นเวลานาน ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำส่วนที่สัมผัสกับก๊าซที่กัดกร่อน (ท่อน้ำหล่อเย็น ครีบระบายความร้อน ที่รองกันรั่ว ฯลฯ) ต้องได้รับการเลือกโดยคำนึงถึงการกัดกร่อนนี้

ชนิดของก๊าซที่กัดกร่อนวัสดุมีแสดงในตารางที่ 2.22 ก๊าซที่มีเครื่องหมาย " X " กำกับในตารางเป็นก๊าซที่กัดกร่อนวัสดุหรือทำให้ยางเสีย

ตารางที่ 2.22 ก๊าซกัดกร่อนวัสดุได้ง่าย

ชนิดของก๊าซ / วัสดุ	อะเซทีลีน	ไฮโดรเจน ซัลไฟด์	ก๊าซประมาท แกรมก่ำและถัม	คลอรีน	ออกซิเจน	ก๊าซเรดค	ก๊าซซึ่งมีคาร์บอเนต ของโลหะ alkali
ทองแดง	×	×	×	×	×	×	
เหล็กและเหล็กกล้า				×	×	×	
โลหะผสมอลูมิเนียม				×	×	×	×
ยาง		×	×	×			

2.12.2 วัสดุสำหรับท่อเย็น

น้ำที่หล่อเย็นเครื่องอัดมักมีสิ่งไม่บริสุทธิ์ต่างๆเจือปนทำให้เกิดปัญหาเช่นท่อน้ำถูกกัดกร่อน หรือเกิดตะกรันจับท่อ ถึงแม้ว่าตัวเครื่องอัดเองจะสัมผัสอยู่กับน้ำแต่ก็ไม่มีปัญหาเรื่องการกัดกร่อนเนื่องจากส่วนใหญ่ทำด้วยเหล็กหล่อ ส่วนวัสดุที่ใช้ทำท่อน้ำหล่อเย็นต้องเหมาะสำหรับคุณภาพของน้ำ สำหรับน้ำจืดธรรมดาใช้ท่อเหล็กเหนียวชุบสังกะสี ท่อทองแดง ท่อทองแดง- นิเกิล และสำหรับน้ำจืดที่สกปรกหรือน้ำทะเลมักใช้ท่อทองแดง- นิกเกิล