บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แรง หมายถึง การกระทำของวัตถุอื่น หรือสาเหตุใดๆ ที่กระทำต่อวัตถุ แล้วพยายามผลักดันให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่ แรงดันในวิชากลศาสตร์ของไหล เกิดจากความดันของของไหลที่กระทำกับพื้นที่หน้าตัด ความสัมพันธ์ของแรง ความดันและพื้นที่หน้าตัด เขียนเป็นสมการ 2.1 ได้ดังนี้

$$P = \frac{F}{A} \qquad (2.1)$$

เมื่อ F = แรงกระทำบนพื้นที่ (N)

P = ความดันของของไหล (N / m^2)

A = พื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่ถูกกระทำ (m^2)

อัตราการไหลและความเร็วของของเหลวในท่อทาง

การไหลของปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด ที่กำหนดในหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า อัตราการไหล หน่วยอัตราการไหลของปริมาตรต่อหน่วยเวลา นิยมใช้ในลักษณะงานต่างกัน เช่น ลูกบาศก์นิ้วต่อวินาที (C.I.S) แกลลอนต่อนาที (gpm) ลิตรต่อนาที (L.P.M) สำหรับงานไฮดรอลิก และลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (C.F.M) สำหรับงานนิวแมติก และใช้สัญลักษณ์แทน อัตราการไหลว่า “Q”

สมการที่ 2.2 สมการการไหลอย่างต่อเนื่อง กรณีที่เป็นของไหลที่ยุบตัวไม่ได้ซึ่งหมายถึง ของเหลว นั้นมีอัตราการไหลในท่อ เท่ากับความเร็วของของเหลวในท่อทางคูณกับพื้นที่หน้าตัดของของเหลวที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล ซึ่งคือพื้นที่หน้าตัดของท่อทางนั่นเอง

$$Q = A.v \qquad (2.2)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (m^3 / s)

A = พื้นที่หน้าตัดที่ของไหลผ่าน (m^2)

v = อัตราเร็วการไหลของของไหล (m / s)

ส่วนความเร็วของของเหลวในท่อจะเป็นความเร็วเฉลี่ยของการไหล ที่ไหลผ่านจุดใด จุดหนึ่งหรือวัดเป็นระยะทางที่ของไหลเคลื่อนที่ต่อเวลา ซึ่งวัดเป็นฟุตต่อนาที เมตรต่อนาที เพราะเป็นการไหลของของไหล

จริง ของไหลชั้นที่อยู่ติดกับผิวผนังจะมีความเร็วเป็นศูนย์ เนื่องจากความฝืดที่ผนังท่อ จากนั้นก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออยู่ห่างจากผนังไป และชั้นของ ของไหลที่มีความเร็วมากที่สุดคือชั้นที่อยู่กึ่งกลางของท่อ ดังนั้นตามสมการจะเห็นว่า ความเร็ว จะแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ ถ้ารู้ขนาดของพื้นที่หน้าตัดและอัตราการไหล ก็จะสามารถ รู้การเปลี่ยนแปลงของความเร็วตลอดของของไหลในท่อ

ความหนาแน่น (density) ของสารใดๆ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวล (mass) ต่อปริมาตร (volume) ของสารนั้น โดยจะหาความหนาแน่นของสารใด ๆ ได้นั้น ต้องหามวล และ ปริมาตรของสารนั้นให้ได้ก่อน

$$\rho = \frac{m}{\forall} \qquad (2.3)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (kg / m^3)

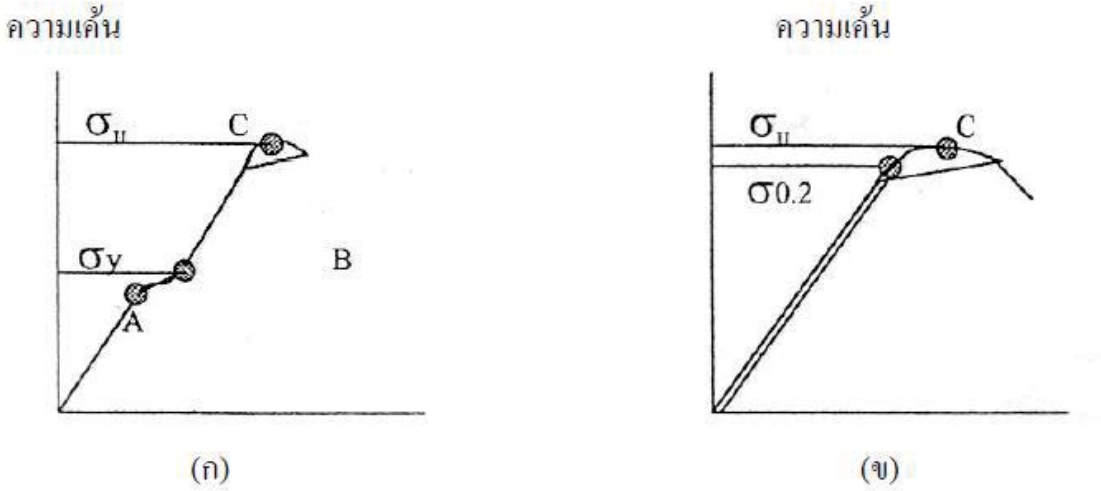
m = มวล (kg)

$\forall$ = ปริมาตร (m^3)

2.2 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

คุณสมบัติทางกลศาสตร์ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจะต้องคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ โดยคำนึงถึงคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นสำคัญ ซึ่งจะพบว่ามีชื่อเรียกต่างๆ อยู่มาก ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการอ้างอิงต่อไปจึงให้นิยามความหมายของชื่อต่างๆ ไว้พอสังเขป ดังต่อไปนี้

ความต้านทานแรงดึงสูงสุด เป็นความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะรับได้ โดยคำนวณได้จากการนำแรงที่ใช้ดึงวัสดุตัวอย่างมาหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิมและแทนด้วยจุด C บนกราฟความ ความเค้น-ความเครียด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ก-ข ในบางครั้งอาจเรียกให้สั้นลงได้ว่าความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 2.1 แผนภาพความเค้น-เครียด (ก) วัสดุเหนียว และ (ข) วัสดุเปาะ

ขีดจำกัดความเป็นสัดส่วน เป็นค่าความเค้นค่าสุดท้ายที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด ที่จุด A ในรูปที่ 2.1 (ก) เมื่อพ้นจุดนี้ไปแล้วกราฟจะเป็นเส้นโค้งในทางปฏิบัติจะหาจุดนี้ยากมาก ฉะนั้นในการคำนวณจึงนิยมใช้ความต้านทางแรงดึงครากแทน

ขีดจำกัดความยืดหยุ่นอยู่ระหว่างจุด A และ B ในรูปที่ 2.1 (ก) เป็นจุดสุดท้าย เมื่อเอาแรงภายนอกออกแล้ววัสดุสามารถมีขนาดเท่าเดิมกราฟในช่วง AB นี้จะมีความโค้งเล็กน้อย

ความต้านทานแรงดึง เป็นจุดที่ชิ้นทดสอบยืดออกได้มากโดยที่เพิ่มแรงเล็กน้อยเท่านั้น(หรือไม่ได้เพิ่ม) ซึ่งแทนด้วยจุด B หรือเรียกว่าจุดครากความเค้น ณ จุดนี้ถือเป็นหลักออกแบบทั่วไปสำหรับวัสดุที่ไม่มีจุดคราก เช่น เหล็กหล่อก็อาจใช้ความต้านทานแรงดึงในการออกแบบหรืออาจจะความเค้นที่เรียกว่า ความเค้นที่จุดยืดถาวร มาใช้ความต้านแรงดึงคราก โดยลากเส้นขนานกับส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟตามเปอร์เซ็นต์ของความเครียดที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.1 (ข) โดยทั่วไปแล้วมักจะใช้ 0.2 เปอร์เซ็นต์และเพื่อแสดงความแตกต่างระหว่าง ความเค้นที่จุดยืดถาวรกับความเค้นแรงดึงครากจึงใช้สัญลักษณ์แทนความเค้นที่ จุดยืดถาวร 0.2 เปอร์เซ็นต์ว่า หรืออาจเรียกสั้นๆว่าความเค้นพิสูจน์ 0.2 เปอร์เซ็นต์ 0.2σ

ยังส์โมดูลัส (Young's modulus) หรือความยืดหยุ่น เป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดในส่วนที่กราฟเป็นเส้นตรง

โมดูลัสเฉือน (shear modulus) หรือความแข็งแกร่งในการทดสอบชิ้นส่วนโดยใช้แรงเฉือนแล้วเขียนกราฟระหว่างความเค้นเฉือน กับความเครียดเฉือน ก็จะได้กราฟลักษณะเดียวกับการทดสอบแรงดึงอัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือนในส่วนที่กราฟเป็นเส้นตรงเรียกว่า โมดูลัสเฉือน (ที่มา;วริทธิ์:2529:หน้า18-19)

จากที่กล่าวมาเบื้องต้นนี้เป็นเพียงคุณสมบัติทางกลที่สำคัญต่อการออกแบบจากการศึกษาวิชาความแข็งแรงของวัสดุหรือวิชากลศาสตร์วัสดุแสดงคุณสมบัติทางกลของวัสดุชนิดต่างๆ ซึ่งจะได้นำมาประกอบการคำนวณออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ต่อไป

คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือความต้านทานแรงเฉือนคราก ซึ่งใช้ในการออกแบบเสมอแต่มิได้ให้ไว้ในตารางดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามให้ใช้ค่าประมาณจากตาราง

ค่าความปลอดภัย โดยทั่วไปแล้วค่าความปลอดภัยหมายถึง ตัวเลขที่นำไปหารค่าความต้านทานแรงดึงหรือความต้านทานแรงดึงครากของวัสดุ เพื่อให้ได้ความเค้นใช้งานในชิ้นงานที่กำลังออกแบบซึ่งเรียกสั้นๆว่าความเค้นออกแบบ หรือความเค้นใช้งานเช่น เหล็กกล้า ชนิดหนึ่งมีความเค้นแรงดึงและความเค้นแรงดึงครากเท่ากับ 420 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ และในการออกแบบชิ้นงานหนึ่งโดยใช้เหล็กกล้าชนิดนี้ผู้ออกแบบคิดว่าตามลักษณะการใช้งานแล้วความเค้นใช้งานควรไม่เกิน 140 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร ฉะนั้นค่าความปลอดภัยเมื่อถือความต้านทานแรงดึงเป็นหลัก

สำหรับปัญหาที่ไม่เป็นแบบเชิงเส้น เช่น ท่อโลหะ หรือเสาที่อาจจะเสียหายเนื่องจากการ โก่งงอจะต้องใช้ค่าความปลอดภัยกับแรงที่มากระทำโดยตรงแทนที่จะใช้กับความเค้น ทั้งนี้เพราะในปัญหาไม่เชิงเส้น ความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานอาจจะมิได้แปรผันโดยตรงกับแรง

ค่าความปลอดภัยที่เลือกใช้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบจำนวนมากดังนี้

- ชนิดของแรงที่มากระทำต่อชิ้นงานว่าเป็นแรงที่จัดอยู่ในประเภทอยู่นิ่งหรือเปลี่ยนแปลงขนาดอยู่ตลอดเวลาขณะใช้งาน

- ลักษณะการใช้งานของชิ้นงานว่าเกี่ยวข้องกับการที่อาจจะสูญเสียชีวิตหรือทรัพย์สินจำนวนมากหรือไม่

-น้ำหนักของชิ้นงานว่ามีความจำเป็นที่จะต้องเบาที่สุดหรือไม่เช่นชิ้นส่วนสำหรับเครื่องบินเป็นต้นในกรณีเช่นนี้การใช้ค่าความปลอดภัยจะต้องพิจารณาเป็นพิเศษ

- จำนวนของชิ้นงานที่จะผลิตออกมาถ้าผลิตครั้งละมากๆ ควรระมัดระวังการใช้ค่าความปลอดภัยที่ไม่สูงจนเกินไปทั้งนี้เพื่อที่จะให้ประหยัดวัสดุได้มากที่สุด

- เนื้อที่ผลิตออกมาไม่สม่ำเสมอกันทำให้ความสามารถในการรับแรงแตกต่างกัน

ความเค้นการจะนำสูตรความเค้นอย่างง่ายไปใช้ได้นั้นวัตถุหรือชิ้นส่วนจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข ดังนี้

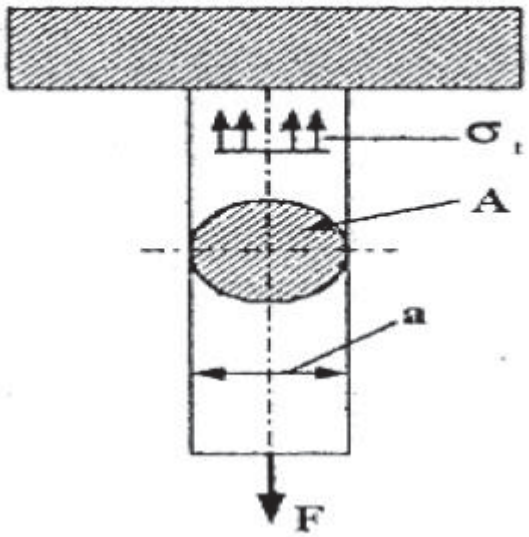
- มีขนาดพื้นที่หน้าตัดที่เท่ากันตลอดทุกตำแหน่งของชิ้นส่วน

- เนื้อของวัตถุหรือชิ้นส่วนต้องเป็นเอกพันธ์ 1 ตลอดทุกส่วน

- แรงกระทำร่วมจะต้องผ่านจุดศูนย์ถ่วงของวัตถุหรือชิ้นส่วน

นิยามของความเค้น คือ แรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงความเค้นอย่างง่าย มีอยู่ 4 ชนิด คือ

1. ความเค้นดึง คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นในขณะวัตถุหรือชิ้นงานรับแรงดึงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความเค้นที่เกิดขึ้นในขณะวัตถุหรือชิ้นงานรับแรงดึง

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \qquad (2.4)$$

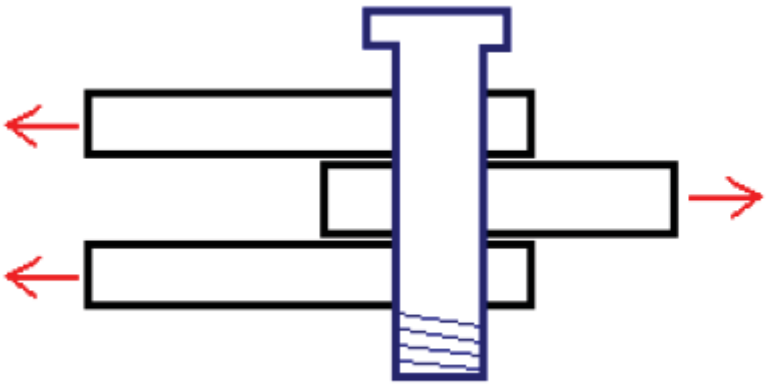
เมื่อ σ_t = ความเค้นดึง (N / m^2)

F = แรงที่กระทำ (N)

A = พื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับแนวแรง (m^2)

(แนวแรงกระทำจะตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด)

ความเค้นเฉือนคู่ (Double Shear) คือหน้าตัดของชิ้นงานที่รับแรงเฉือนมากกว่าหนึ่งแห่งดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีสองแห่งพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงคือ 2A เพราะฉะนั้นความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ



รูปที่ 2.3 ความเค้นเฉือนคู่

$$\tau = \frac{F}{2A} \qquad (2.5)$$

เมื่อ τ = ค่าความเฉือน

F = แรงที่กระทำ

A = พื้นที่หน้าตัด ขนานกับแนวแรง

หลักการออกแบบส่วนโครงสร้างรับแรงอัด (Compression Member)

กำลังรับน้ำหนักของเสา

เสาอาจจำแนกประเภทตามความยาวของเสาออกเป็น เสาสั้น (short column) และเสายาว (long column) ซึ่งกำลังรับน้ำหนักและลักษณะการวิบัติของเสาจะต่างกัน การเปรียบเทียบว่าเป็นเสาสั้นหรือเสายาวพิจารณาได้จากอัตราส่วนความชะลูดของเสา (slenderness ratio) ซึ่งปกติคือ อัตราส่วนระหว่างช่วงความยาวของเสาที่ปราศจากการค้ำยัน (unsupported length) ต่อรัศมีไจเรชันที่น้อยที่สุด (least radius of gyration)

เสาที่มีความยาวน้อยหรือที่เรียกว่าเสาสั้น สามารถรับน้ำหนักได้จนกระทั่งหน่วยแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดของเสามีค่าเท่ากับหน่วยแรงอัดสูงสุดตามแกนของวัสดุที่ใช้ทำเสานั้น ซึ่งเสาจะวิบัติในลักษณะที่ถูกกดอัดจนยู่และเสียรูป (crushing) โดยไม่มีการโก่งตัวออกทางข้าง (buckllng)

ส่วนเสายาวจะรับน้ำหนักได้น้อยกว่าเสาสั้นเพราะผลของแรงดัดที่แฝงมากับแรงอัดที่ทำให้เสาโก่งตัวออกทางข้างก่อนการวิบัติจะเกิดขึ้น หน่วยแรงอัดสูงสุดตรงหน้าตัดวิกฤตของเสาประเภทนี้เรียกว่าหน่วยแรงอัดวิกฤต (critical stress) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงอัดสูงสุดตามแกนของวัสดุที่ใช้ทำเสานั้น หน่วยแรงอัดวิกฤตที่เกิดขึ้นตลอดหน้าตัดของเสายาวอาจมีค่าไม่เกินกว่าหน่วยแรงอัดที่ขีดพิกัดยืดหยุ่น (proportional limit) ของวัสดุที่ใช้ทำเสา ซึ่งเป็นหน่วยแรงที่อยู่ในช่วงอิลาสติก เรียกการวิบัติแบบนี้ว่า elastic buckling แต่ถ้าเสายาวปานกลาง (intermediate column) หน่วยแรงอัดวิกฤตที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงอินอิลาสติกของวัสดุซึ่งมีค่ามากกว่าหน่วยแรงอัดที่ขีดพิกัดยืดหยุ่นของวัสดุ เรียกการวิบัติแบบนี้ว่า inelastic buckling

สูตรคำนวณที่ใช้มีอยู่หลายสูตรซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกัน การคำนวณหาหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเสาไม้ต้นธรรมดารูปตัดสี่เหลี่ยม หน่วยเป็น กก./ซม.^{2} พิจารณาได้จากอัตราส่วนความชะลูด L_e/d ซึ่งต้องมีค่าไม่เกินกว่า 50

เสาสั้น (เมื่อ $\frac{L_e}{d} \leq 11$) : หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ $F_a = F_c$

เสายาวปานกลาง (เมื่อ $11 < \frac{L_e}{d} \leq K$) :

$$\text{หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ } F_a = F_c\left(1-\frac{1}{3}\left(\frac{L_e/d}{K}\right)^4\right) \qquad (2.6)$$

เสายาว (เมื่อ $K < \frac{L_e}{d} \leq 50$) :

$$\text{หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ } F_a = F_c\left(\frac{0.3E}{(L_e/d)^2}\right) \qquad (2.7)$$

ในที่นี้ F_c = หน่วยแรงอัดขนานเสี้ยนที่ยอมให้ของไม้ (ที่ปรับค่าแล้ว) กก.ต่อ ซม.^{2}

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ (ที่ปรับค่าแล้ว) กก. ต่อ ซม.^{2}

$K = 0.671\sqrt{E/F_c}$ เป็นอัตราส่วนความชะลูดที่หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเสามีค่าเท่ากับเศษสองส่วนสามของหน่วยแรงอัดขนานเสี้ยนที่ยอมให้ของไม้นั้น (F_c)

การออกแบบโครงสร้างโดยวิธี Load and Resistance Factor Design (LRFD) ในยุคปีค.ศ. 1980 ได้มีการพัฒนาแนวคิดการออกแบบที่เรียกว่า LRFD ขึ้น โดยที่วิธีนี้มีหลักการออกแบบโดยการเพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุก โดยใช้ค่าตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเพิ่ม γ (Load Factor) ซึ่งค่า γ จะมากกว่าหนึ่งเสมอ ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำหนักบรรทุก และรูปแบบการการรวมกันของน้ำหนักบรรทุกชนิดต่างๆ และใช้ค่าตัวคูณความต้านทาน ϕ (Resistance Factor) ซึ่งมีค่าน้อยกวาหนึ่งเสมอ ในการลดกำลังรับแรงที่ขีดสุดในภาวะต่างๆ (limit state) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{n} \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \qquad (2.8)$$

ซึ่ง Q_i จะเป็นน้ำหนักบรรทุกชนิดต่างๆ R_n คือกำลังที่คำนวณได้ (Nominal Strength) ของโครงสร้างแต่ละชนิด ค่าตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุก γ_i และค่าตัวคูณความต้านทาน ϕ นั้นหามาจากการวิเคราะห์ Reliability Analysis ที่มีพื้นฐานบนทฤษฎีความน่าจะเป็น ทำให้การออกแบบในภาวะต่างๆ จะมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) ใกล้เคียงกัน วิธีนี้จะคล้ายกับวิธีการออกแบบด้วยวิธีกำลัง (Strength Design Method) ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตามที่ Prof. Lynn S. Beedle (1986) ได้กล่าวไว้ในวารสาร “Modern Steel Construction” ถึงประโยชน์ของวิธีการออกแบบโดยวิธี LRFD (Load & Resistance Factor Design) ไว้ดังนี้

1. LRFD เป็นวิธีการออกแบบที่ใช้ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุกเพิ่ม (Load Factor) โดยใช้หลักวิธีการประมาณทางสถิติในการประมาณความไม่แน่นอนของน้ำหนักบรรทุกให้มีเหตุผลสอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุกจริงชนิดต่างๆ

2. LRFDเป็นวิธีออกแบบที่อำนวยความสะดวกต่อการรับข้อมูลใหม่ๆที่อาจจะมีขึ้น หรือ ความรู้ใหม่ๆ เอามาประยุกต์ใช้ได้ง่าย โดยเฉพาะข้อมูลความน่าจะเป็นที่น้ำหนักบรรทุกจะเกิดขึ้น รวมถึงวิวัฒนาการทางด้านวัสดุศาสตร์

3. LRFDการแก้ไขค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุกเพิ่ม (Load Factor,γ) และค่าตัวคูณ ความต้านทาน (Resistance Factor,ϕ) เพื่อให้เข้ากับข้อมูลใหม่ๆ หรือความรู้ใหม่ๆ ที่จะมีขึ้นได้ในอนาคตทำได้ง่าย จึงทำให้เป็นการออกแบบที่ทันสมัยตลอดเวลา

4. LRFD เป็นวิธีออกแบบที่สามารถนำไปประยุกต์เขาใช้กับวัสดุทุกชนิดได้ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ในอนาคต ข้อกำหนด (Specifications) จะไม่จำกัดเฉพาะวัสดุเหล็กเท่านั้นอาจจะกำหนดใช้กับวัสดุได้ทุกประเภท เช่นอลูมิเนียม แม้แต่พลาสติก และไม้ก็อาจจะใช้ได้เช่นกัน

5. ถ้าค่าน้ำหนักบรรทุกจริง (Live Load) มีค่าไม่เกินค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แล้ว การออกแบบโดย LRFD จะให้ค่าที่ประหยัดกว่าวิธี ASD ยกเว้นค่าน้ำหนักบรรทุกจริง (Live Load) มีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แล้ว อาจจะให้โครงสร้างที่ไม่ประหยัดแต่จะให้ความถูกต้อง และการใช้งานได้ปลอดภัยมากกว่าวิธีของ ASD

6. ความประหยัดของโครงสร้างตามข้อ 5) เป็นผลมาจากความชัดเจนของกระบวนการของวิธีการออกแบบโดย LRFD ที่ใช้พฤติกรรมของโครงสร้างที่จุดวิกฤตสูงสุด โดยใช้ค่าของ Load Factor เป็นส่วนของความปลอดภัยของโครงสร้างเพื่อชดเชยความเสี่ยงของความแปรปรวนด้านคุณภาพวัสดุ และคุณภาพของการก่อสร้าง

กระป๋อง คือบรรจุภัณฑ์ชนิดหนึ่ง สร้างจากแผ่นโลหะม้วนเข้าหากันเป็นทรงกระบอก ปิดผนึกด้วยแผ่นโลหะวงกลมทั้งสองด้านโดยไม่ให้สัมผัสอากาศ สิ่งที่ใช้บรรจุภายในมักเป็นอาหาร เพื่อวัตถุประสงค์หลักของการถนอมอาหารให้สามารถเก็บไว้ได้นาน และจำเป็นต้องใช้การตัดหรือการฉีกฝากระป๋องให้เปิดออกด้วยที่เปิดกระป๋อง ปัจจุบันสามารถผลิตกระป๋องซึ่งเปิดได้ง่ายด้วยมือโดยไม่ต้องใช้ที่เปิดแต่อย่างใด

คุณสมบัติ

1. ทนทานต่อความร้อนและความดันสูงจึงสามารถเข้ากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (sterilization) ได้
2. มีความแข็งแรงทางกายภาพ ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำ และแสงได้
3. ช่วยเก็บรักษากลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์
4. สามารถหมุนเวียนกลับเข้ากระบวนการผลิตใหม่ได้

โลหะที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ มี 3 ชนิด คือ

1. เหล็กเคลือบดีบุก เป็นแผ่นเหล็กดำ (black– plate) ที่มีความหนาระหว่าง 0.15–0.5 มิลลิเมตร นำมาเคลือบผิวหน้าด้านเดียวหรือทั้งสองหน้าด้วยดีบุก เพื่อให้ทนทานต่อการผุกร่อน และ ไม่เป็นพิษ เป็นบรรจุภัณฑ์ที่แข็งแรง ป้องกันอันตรายจากสิ่งแวดล้อม และสภาวะอากาศ การลงทุนในการผลิตไม่สูงนักและไม่ซับซ้อนสามารถบรรจุอาหารได้ดีเนื่องจากสามารถปิดผนึกได้สนิทและฆ่าเชื้อได้ด้วยความร้อน ในแง่ของสิ่งแวดล้อมสามารถแยกออกจากขยะได้ง่ายโดยใช้แม่เหล็ก

2. แผ่นเหล็กไม่เคลือบดีบุก (tin free steel, TFS) เป็นแผ่นเหล็กดำ ที่นำมาเคลือบด้วยสารอื่นแทนดีบุก เพื่อลดต้นทุนการผลิต ในปัจจุบันมีการเคลือบอยู่ 3 แบบคือ

-เคลือบด้วยสารผสมฟอสเฟตและโครเมต เป็นฟิล์มบางๆ ใช้ทำกระป๋องบรรจุเบียร์ น้ำผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว และทำถังโลหะชนิดต่างๆ

-เคลือบด้วยอะลูมิเนียม มีความทนทานต่อการกัดกร่อนเนื่องจากความชื้นได้ดี แต่ไม่สามารถใช้กับอาหารที่มีความเป็นกรดหรือด่างสูง

-เคลือบด้วยโครเมียมและโครเมียมออกไซด์ เพื่อให้สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ดี นิยมใช้ทำกระป๋องบรรจุอาหารทะเล นมข้นหวาน เป็นต้น

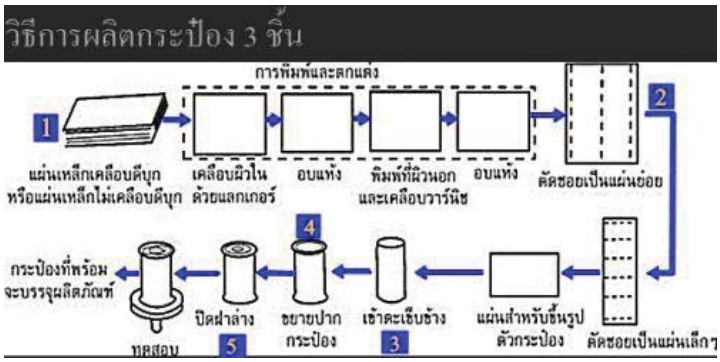
3. อะลูมิเนียม มักใช้ในรูปอะลูมิเนียมเปลว คุณสมบัติเด่นคือ น้ำหนักเบา ทนทานต่อการกัดกร่อนสูง ทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ก๊าซ แสง และกลิ่นรสได้ดีเยี่ยม นิยมใช้ทำกระป๋อง 2 ชิ้น (2piece can) สำหรับบรรจุน้ำอัดลมและเบียร์ กระป๋องฉีดพ่น (aerosol) สำหรับบรรจุสเปรย์ฉีดผมหรือเครื่องสำอางต่างๆ และฝา

ชนิดที่มีห่วงเพื่อให้เปิดง่าย เช่น ฝากระป๋องน้ำอัดลมหรือขวดน้ำดื่ม ในรูปของอะลูมิเนียมเปลวมักใช้ควบกับวัสดุอื่นซึ่งให้ภาพลักษณ์ที่ดีเนื่องจากความเงางามของอะลูมิเนียม

แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีหรือแผ่นเหล็กกัลป์วาไนซ์ (Galvanized Plate) ที่เรานิยมเรียกกันทั่วไปว่า “แผ่นสังกะสี” นั้นจะไม่ใช้ทำกระป๋อง บรรจุอาหารอย่างเด็ดขาด เพราะมีโลหะหนัก พวกสังกะสีและตะกั่ว ซึ่งเป็นพิษต่อร่างกาย แต่ใช้กระป๋องและถังบรรจุผลิตภัณฑ์ ที่มิใช่อาหารได้ดี เนื่องจากมีราคาถูกกว่าแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก

กระบวนการผลิตแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่คือ

1. กระป๋อง 3 ชิ้น ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ ตัวกระป๋อง ฝาบน และ ก้นกระป๋อง มีตะเข็บข้างเกิดขึ้นแต่ก่อนนี้การเข้าตะเข็บข้างจะใช้ตะกั่วเป็นตัวบัดกรีเนื่องจากว่าตะกั่วที่ใช้ก่อ อันตรายแก่ผู้บริโภค ปัจจุบันจึงเข้าตะเข็บโดยเชื่อมด้วยไฟฟ้าแทน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วิธีการผลิตกระป๋องแบบ 3 ชิ้น

2. กระป๋อง 2 ชิ้นเป็นกระป๋องไร้ตะเข็บข้าง มีตัวกระป๋องและฝาล่างเป็นชิ้นเดียวกันและมีฝาบนอีกชิ้นหนึ่งที่จะถูกปิดโดยผู้ผลิตอาหารกระป๋อง หลังจากที่บรรจุอาหารในกระป๋องแล้วจัดเป็น hermetically sealed container มีความแข็งแรง ทนต่อความร้อนและความดันระหว่างการแปรรูปด้วยความร้อน (thermal processing) ในหม้อฆ่าเชื้อ (retort) ด้วยวิธี in-container sterilization และ in-container pasteurization

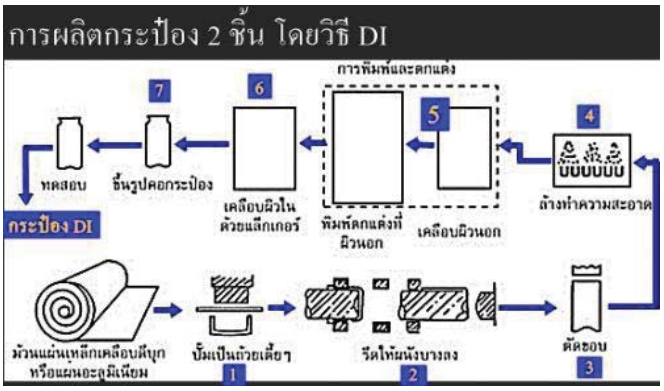
วิธีการขึ้นรูปกระป๋อง 2 ชิ้น มี 3 วิธีการ คือ

1) กระป๋องขึ้นรูปโดยการปั๊มครั้งเดียว (drawn can)

2) กระป๋องขึ้นรูปโดยการปั๊ม 2 ครั้ง (drawn and redrawn can ; DRD can) โดยปั๊มครั้งแรกจะขึ้นรูปเป็นถ้วยเตี้ยก่อน หลังจากนั้นจะปั๊มอีกครั้ง เพื่อให้เส้นผ่าศูนย์กลางของกระป๋องเล็กลงและความสูงมากขึ้น

ตามต้องการ กระป๋อง 2 ชิ้นที่ผลิตโดยวิธีนี้จะมีความหนาเท่ากันตลอดทั้งตัวดังรูปที่ 2.5 และก้นกระป๋องสามารถทนความดันและสุญญากาศในกระป๋องได้

3) กระป๋องขึ้นรูปโดยการปั๊มและรีดผนัง (drawn and wall ironed can หรือ DI can) โดยปั๊มครั้งแรก จะได้ถ้วยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับกระป๋องที่ต้องการ หลังจากนั้นผนังกระป๋องจะถูกรีดให้เบาลงและกระป๋องมีความสูงเพิ่มขึ้น (ขั้นตอนการผลิตแสดงดังรูป) กระป๋องประเภทนี้ตัวกระป๋องมีผนังบางกว่าก้นกระป๋อง สามารถทนความดันได้ แต่ทนสุญญากาศภายในกระป๋องไม่ได้ จึงนิยมใช้บรรจุเบียร์และน้ำอัดลม



รูปที่ 2.5 การผลิตกระป๋อง 2 ชิ้นด้วยวิธี DI

ตาราง 2.1 ด้านล่างแสดงถึงค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุต่าง ๆ

วัสดุ	ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น €
	10^9 N/m^2 หรือ Gpa (จิกะปาสคาล)
แคดเมียม(Cadmium)	55.16
โคบอลต์ (Cobalt)	206.8
โครเมียม(Chromium)	248.2
เงิน (Silver)	72.39
ซิลิกอน (Silicon)	110.3
ซีลิเนียม (Selenium)	57.92
ดีบุก (Tin)	41.37
ตะกั่ว (Lead)	13.79
ทอง (Gold)	74.46
ทองคำขาว(Platinum)	146.9
ทองแดง (Copper)	117.2
ทังสเตน (Tungsten)	344.7

แทนทาลัม(Tantalum)	186.2
ไทเทเนียม(Titanium)	110.3
นิกเกิล (Nickel)	213.7
พลวง (Antimony)	77.91
พลูโตเนียม(Plutonium)	96.53
แมกนีเซียม(Magnesium)	44.13
แมงกานีส(Manganese)	158.6
โมลิบดีนัม(Molybdenum)	275.8
ยูเรเนียม (Uranium)	165.5
โรเดียม (Rhodium)	289.6
วาเนเดียม(Vanadium)	131
สังกะสี (Zinc)	82.74
เหล็ก (Iron)	196.5
เหล็กกล้า (เหนียว)(Steel (Mild))	210
อลูมิเนียม (Aluminum)	68.95
ออสเมียม(Osmium)	551.6

2.3 ระบบการสร้างแรงอัด

ระบบนิวแมติก

นับเป็นเวลานานมาแล้วที่มนุษย์รู้จักการนำเอาลมอัดมาใช้งานให้เป็นประโยชน์ โดยใช้แรงดันนี้มาดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ในกระบอกสูบได้ ผลออกมาจะได้กำลังงานจากลูกสูบมากขึ้น หลักการนี้ได้มาจาการนำเอาความคิดจากการใช้ไม้ซางสำหรับเป่าลูกดอกเพื่อการล่าสัตว์ การต่อสู้ป้องกันตัว ในปัจจุบันได้พัฒนานำเอาลมอัดมาใช้งานในงานด้านอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เช่นเครื่องจักรในการประกอบในงานอุตสาหกรรม เครื่องจักรในการบรรจุหีบห่อ เครื่องจักรผลิตอาหาร เครื่องจักรงานไม้ เครื่องจักรในการขนย้ายวัสดุ เครื่องพิมพ์ และเครื่องมือเครื่องจักรอื่น ๆ อีกมากมาย

เหตุผลที่มีการนำเอาลมอัดมาใช้อย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรมที่เป็นระบบอัตโนมัติ เนื่องจากเป็นการประหยัดแรงงาน โครงสร้างของอุปกรณ์บังคับลมอัดเป็นแบบง่าย ๆ มีความปลอดภัยในหารทำงานสูง เพราะมีอุณหภูมิในการทำงานต่ำ เครื่องจักรที่ใช้พลังงานลมอัดจะมีราคาถูกกว่าระบบอื่น ๆ มีการบำรุงรักษาและควบคุมง่าย นอกจากนั้นระบบลมอัดยังง่ายต่อการดัดแปลง เช่นสามารถใช้ร่วมกับไฟฟ้าในการบังคับจากระยะห่างได้ เป็นที่นิยมใช้ในโรงงานที่ทันสมัย ในปัจจุบันระบบอัดลมที่ได้พัฒนามาใช้ในงานอุตสาหกรรมจึงได้ผลเป็นอย่างมาก ส่วนมากจะเรียกระบบลมอัดนี้ว่า ระบบนิวแมติก

สาเหตุสำคัญที่มีการนำเอาระบบนิวแมติกมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเนื่องมาจาก

1. ระบบนิวแมติกที่ใช้งานทั่วไปไม่มีการระเบิดหรือลุกไหม้เป็นเปลวไฟ จึงประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการป้องกันความปลอดภัย
2. ความเร็วของเครื่องมือที่ใช้ระบบนิวแมติกให้ความเร็วในการทำงานสูง 1 ถึง 2 เมตรต่อวินาที แต่ถ้าหากต้องการความเร็วสูงขึ้นมากกว่านี้ จะต้องใช้กระบอกสูบชนิดพิเศษ ซึ่งมีความเร็วถึง 10 เมตรต่อวินาที
3. ระบบนิวแมติกเมื่อใช้งานแล้วระบายทิ้งปล่อยสู่บรรยากาศเลยไม่ก้องเดินท่อทางน้ำนำกลับมาใช้อีก ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย
4. ระบบนิวแมติกสามารถนำลมอัดตัวแล้วไว้ในถังและนำไปใช้งานได้เลย
5. อุปกรณ์ใช้งานในระบบนิวแมติกมีความปลอดภัยถ้าใช้งานเกินกำลัง
6. ระบบนิวแมติกสามารถปรับความเร็วในการทำงานได้โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว และสามารถทำให้รอบในการทำงานสูงถึง 800 รอบต่อนาที
7. สามารถปรับความดันลมอัดให้มีค่ามากน้อยได้ตามต้องการโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความดัน
8. ความสะอาดของระบบนิวแมติกดีมาก เพราะมีชุดปรับคุณภาพลมก่อนนำไปใช้งาน
9. ระยะชักของก้านสูบสามารถปรับแต่งระยะชักให้สั้นหรือยาวได้ตามความต้องการ
10. สามารถทำงานได้ที่ระดับความแตกต่างของอุณหภูมิสูง

จะเห็นได้ว่าระบบนิวแมติกมีข้อดีอยู่หลายประการ แต่ในขณะเดียวกัน ระบบนิวแมติกก็มีข้อเสียอยู่ดังนี้

1. ในโครงงานอุตสาหกรรมบางครั้งมีการเพิ่มอุปกรณ์นิวแมติกเข้ามาในวงจรโดยไม่คำนึงถึงความสามารถของเครื่องอัดลม ซึ่งอาจจะทำให้เครื่องจักรทำงานคลาดเคลื่อนได้ และในบางครั้งถ้ากระบอกสูบอยู่ห่างจากอุปกรณ์ควบคุมเกินกว่า 5 เมตร จะทำให้เกิดปัญหาในการทำงานของกระบอกสูบ
2. ลมที่ได้มาจากการอัดตัวในระบบนิวแมติกจะมีความชื้นปนอยู่ และเมื่อความดันลดลงจะทำให้เกิดหยดน้ำขึ้นได้
3. การทำงานของระบบนิวแมติกมักจะมีเสียงดังเพราะจะต้องมีการระบายลมทิ้งเนื่องจากลมที่ทิ้งปล่อยออกสู่บรรยากาศ จึงจำเป็นจะต้องมีท่อเก็บเสียง
4. ความดันของลมอัดในระบบนิวแมติกจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงความดันก็จะสูง และถ้าอุณหภูมิต่ำความดันก็จะต่ำลงด้วย
5. ถ้าต้องการแรงในการใช้งานมาก เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบจะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางโตขึ้นเพื่อที่จะให้ได้แรงตามความต้องการ ซึ่งกระบอกในระบบนิวแมติกจะมีขีดจำกัดอยู่

คุณสมบัติของนิวแมติกเมื่อเปรียบเทียบกับไฮดรอลิก

เนื่องจากระบบนิวแมติกและระบบไอดรอลิกมีความสัมพันธ์ซึ่งเป็นลักษณะของพลังงานของไทยเหมือนกัน เมื่อนำเอาระบบนิวแมติกเปรียบเทียบกับระบบไฮดรอลิกจะมีข้อแตกต่างกันดังนี้

1. ความดันใช้งานของลมอัดในระบบนิวแมติกมีค่าอยู่ระหว่าง 6 ถึง 7บาร์ แต่ถ้าต้องการความดันใช้งานสูงกว่านี้ก็ได้แต่ไม่เกิน 10 บาร์ ซึ่งน้อยกว่าความดันใช้งานของระบบไฮดรอลิกมาก จึงเหมาะกับการใช้งานเบา ๆ เท่านั้น
2. ลมอัดมีการยุบตัวมากกว่าน้ำมันในระบบไฮดรอลิก ดังนั้นเมื่อมีการหยุดค้าง ตำแหน่งในระหว่างระยะชักจึงไม่ดีเท่าที่ควร
3. ความต้านทานการไหลของลมอัดในท่อทางส่งมีค่าน้อยกว่าความต้านทายการไหลของน้ำมันในระบบไอดรอลิก จึงสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า
4. ระบบนิวแมติกมีความสะอาดมากกว่าระบบไฮดรอลิกมาก เพราะระบบไอดรอลิกมีการรั่วไหลของน้ำมันเกิดขึ้น และอาจเกิดอันตรายของการติดไฟของน้ำมันได้
5. โดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมมักจะใช้ลมอัดใช้งานประเภทอื่นอยู่แล้ว ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกที่จะนำเอาระบบนิวแมติกมาใช้ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการเดินท่อทางลมอัดมีราคาถูกกว่า ถ้าต้องการจะนำเอาระบบไฮดรอลิกมาใช้ในโรงงาน และค่าใช้จ่ายในการเดนท่อทางส่งน้ำมันไฮดรอลิกมีราคาสูงมาก
6. ระบบนิวแมติกสามารถใช้งานในขณะที่อุณหภูมิของลมอัดสูงถึง 160°C โดยขึ้นอยู่กับลักษณะใช้งานและอุปกรณ์ทำงาน ส่วนในระบบไฮดรอลิก น้ำมันที่ใช้ในการส่งถ่ายกำลังจะมีอุณหภูมิสูงไม่เกิน 70°C

การเปรียบเทียบระบบนิวแมติกกับระบบการทำงานอื่นๆ

เนื่องจากในงานอุตสหกรรม การบังคับการทำงานด้วยระบบกลไก ระบบไฟฟ้า ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบไฮดรอลิก และระบบนิวแมติก ซึ่งแต่ละระบบก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไปดังรายละเอียดในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการบังคับการทำงานด้วยระบบต่างๆ

รายละเอียดของระบบ		บังคับการทำงานด้วยระบบ			
		กลไก	ไฟฟ้า / อิเล็กทรอนิกส์	ไฮดรอลิก	นิวแมติก
ระบบขับเคลื่อน	โครงสร้าง	ค่อนข้างซับซ้อน	ค่อนข้างซับซ้อน	ค่อนข้างซับซ้อน	ง่าย
	ความสามารถ	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดี แต่ต้องระวัง
	เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง	ง่าย	ง่าย	ยาก	ง่าย
	เคลื่อนที่แบบหมุน	ง่าย	ง่าย	ค่อนข้างยาก	ค่อนข้างยาก
	กำลังขับ	น้อย-มาก	น้อย-มาก	กลาง-มากกว่า	น้อย-กลาง
	การปรับกำลังขับ	ยาก	ยาก	ง่าย	ง่าย
	การบำรุงรักษา	ง่าย	ต้องใช้เทคโนโลยี	ค่อนข้างง่าย	ง่าย
	ความเร็วคงที่	ดีมาก	ดี	ดี	ไม่คงที่ ความดันต่ำ
	การรับภาระเกินกำหนด (overload)	ค่อนข้างยาก	ยาก	ค่อนข้างยาก	ง่าย
	การเลือกรูปแบบการติดตั้ง	น้อย	กลาง	มาก	มากกง่า
	การใช้อุปกรณ์ช่วยทำงานเมื่อขาดกระแสไฟฟ้า	ค่อยข้างจะเป็นไปได้	ยาก	เป็นไปได้	เป็นไปได้

ตาราง 1.1 (ต่อ) เปรียบเทียบการบังคับการทำงานด้วยระบบต่าง ๆ

รายระเอียดของระบบ		บังคับการทำงานด้วยระบบ			
		กลไก	ไฟฟ้า / อิเล็กทรอนิกส์	ไฮดรอลิก	นิวแมติก
ระบบการบังคับ	การส่งสัญญาณ	ยาก	ง่ายมาก	ค่อยข้างยาก	ง่าย
	การป้องกันการติดไฟ	ดี	ต้องใช้อุปกรณ์ช่วย	ดี	ดีมาก
	ความรู้สึกไวต่อความชื้น	น้อย	มาก	น้อย	ต้องระบายออก
	ความรู้สึกไวต่ออุณหภูมิ	น้อย	มาก	กลาง	น้อย
	การเลือกวิธีการบังคับ	น้อย	มากกว่า	น้อย	มาก
	การคำนวณในระบบ	น้อย	มาก	น้อย	กลาง
	การคำนวณความเร็ว	สูง	สูงมาก	กลาง	กลาง
	การคำนวณการบังคับ	อะนาลอก (ดิจิตอล)	ดิจิตอล (อะนาลอก)	อะนาลอก	ดิจิตอล (อะนาลอก)
	ข้อเสียเมือเกิดการสั่นสะเทือน	ปกติ	มีผลเสีย	ปกติ	ปกติ

อุปกรณ์ของระบบนิวแมติก

การทำงานของระบบนิวแมติกจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. เครื่องอัดลม (Air compressor) คือเครื่องที่เปลี่ยนพลังงานจากพลังงานไฟฟ้าเป็นลมอัด ทำให้มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ แบ่งขนาดความสามารถของเครื่องอัดลมออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ดังตารางที่ 1.2 ความสามารถของเครื่องอัดลมในการสรางความดันลมอัดได้ถึง 10 บาร์ โครงสร้างของเครื่องอัดลมแบ่งออกเป็นลูกสูบ และแบบ
สกรู ฯลฯ

ตารางที่ 2.2 ขนาดและความสามารถของเครื่องอัดลม

ขนาด	สารทำงาน	กำลัง
เล็ก	อากาศ	0.2 ถึง 7.5 กิโลวัตต์
กลาง	อากาศและน้ำ	7.5 ถึง 75 กิโลวัตต์
ใหญ่	น้ำ	75 กิโลวัตต์

2. เครื่องระบายความร้อนลมอัด (Heat exchanger) เนื่องจากเครื่องอัดลมจะดูดเอาอากาศที่ความดันบรรยากาศด้วยปริมาณ 8 ลูกบาศก์เมตรไปอัดให้มีความดันสูงขึ้น 7 ถึง 10 บาร์ เหลือปริมาตรของอากาศ

ประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นอากาศที่มีความดันสูงนี้จะมีอุณหภูมิสูง ถ้าใช้ลมอัดนี้ไปใช้งานโดยตรงจะสร้างความเสียหายให้แก่ซีลต่าง ๆ ของอุปกรณ์ จึงจำเป็นจะต้องลดอุณหภูมิของเครื่องอัดลมด้วยเครื่องระบายความร้อน

3. เครื่องกรองท่อเมน (Main air filter) จะเป็นตัวกรองฝุ่นละออง สนิม และน้ำที่ปะปนมากับลมอัดให้สะอาดก่อนนำไปใช้งานและก่อนที่จะไปใช้กับเครื่องจักรในระบบนิวแมติก

4. เครื่องทำลมให้แห้ง (Air dryer) ลมอัดที่ออกจากเครื่องอัดลมจะมรความชื้นปนอยู่มาก ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทำลมอัดให้เย็นลงเพื่อจะดูดเอาความชื้นออกจากลมอัดและอาจจะใช้สารเคมีในการขับความชื้นออกจากลมอัดก็ได้ความชื้นที่ถูกดูดออกมาจะกลั่นตัวเป็นน้ำและถูกนำออกมาทิ้งจากระบบด้วยกับดักน้ำ(trap)

5. กรองลม (Air filter) จะทำหน้าที่คล้านกับเครื่องกรองลมในท่อเมนเพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์ที่ใช้ลม ในกรณีที่ไม่มีเครื่องทำลมให้แห้ง ตัวกรองลมนี้จะทำหน้าที่ดักน้ำที่ปนมากับลมด้วย

6. วาล์วลดความดัน (Pressure reducing valve) เครื่องอัดลมจะทำหน้าที่อัดลมไว้ในถังพักให้มีค่าความดันอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งค่าความดันนี้จะมีค่ามากกว่าค่าความดันใช้งานเล็กน้อย ดังนั้นในการใช้งานจึงจำเป็นจะต้องลดค่าความดันลงมาโดยใช้วาล์วความดันที่ทำหน้าที่ดังกล่าว

7. อุปกรณ์ผสมน้ำมันหล่อลื่น (Oil lubricator) เนื่องจากในอุปกรณ์นิวแมติกส่วนใหญ่จะต้องมีการหล่อลื่นชิ้นส่วนภายใน จึงจำเป็นที่จะต้องใหมีน้ำมันหล่อลื่นปนไปกับลมอัดเพื่อทำการหล่อลื่น แต่ในงานบางประเภทของระบบนิวแมติกห้ามมีน้ำมันหล่อลื่นปนไปกับลมอัด เช่นงานด้านผลิตอาหาร หรือ อุปกรณ์นิวแมติกบางประเภทก็ห้ามมีน้ำมันหล่อลื่นปนไปกับลมอัด โดยปกติแล้ว กรองลม วาล์วลดความดัน และอุปกรณ์ผสมน้ำมันหล่อลื่นมักจะรวมอยู่ในชุดเดียวกัน เรียกว่า *ชุดปรับคุณภาพลม (service unit)*

8. อุปกรณ์เก็บเสียง (Air silencer) ลมอัดเมื่อถูกใช้งานแล้วจะระบายทิ้งออกสู่อากาศ โดยออกมาทางรูระบาย ถ้าไม่มีตัวเก็บเสียงมาติดตั้งที่รูระบายแล้ว เมื่อลมอัดถูกระบายทิ้งออกสู่บรรยากาศจะมีเสียงดัง

9. วาล์วเปลี่ยนทิศทางลม (Air flow change valve) จะทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่อุปกรณ์การทำงานของระบบนิวแมติก เช่น กระบอกสูบนิวแมติกเลื่อนออกหรือเลื่อนเข้า มอเตอร์นิวแมติกหมุนทางซ้ายหรือหมุนทางขวา วิธีการบังคับเปลี่ยนทิศทางนั้นอาจจะใช้การป้อนสัญญาณไฟฟ้าหรือหารป้อนลมอัดบังคับให้เคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางการไหลของลม

10. วาล์วบังคับความเร็ว (Speed control valve) จะทำหน้าที่บังคับลมอัดให้เคลื่อนที่เร็วหรือช้าโดยการปรับปริมาตรลมอัดให้ได้มากน้อยตามต้องการ ซึ่งมีผลทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่ออกเร็วหรือช้า รวมทั้งการหมุนของมอเตอร์นิวแมติกด้วย บางครั้งเรียกวาล์วประเภทนี้ว่า *วาล์วควบคุมการไหล (flow control valve)*

11. กระบอกสูบ (Air cylinder) เป็นอุปกรณ์การทำงานของนิวแมติกชนิดหนึ่งในจนวนหลายแบบ ตัวกระบอกสูบลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนรูปของพลังงานลมอัดให้อยู่ในรูปของพลังงานกล โดยทั่วไปกระบอกสูบลมอัดมีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้จะเป็นกระบอกสูบทำงานแบบ 2 ทาง

ข้อดีของลมอัด

1. ลมอัดสะอาดและมีความปลอดภัย หากมีการรั่วก็ไม่เป็นอันตราย สามารถปล่อยสู่บรรยากาศได้โดยไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและไม่ก่อให้เกิดอันตราย
2. มีปริมาณไม่จำกัด
3. การเก็บลมอัดไว้ในถัง ทำให้สามารถใช้งานได้ตามต้องการและอุปกรณ์ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง
4. ไม่เกิดการระเบิดหรือติดไฟกรณีมีการรั่วซึม ทำให้ไม่ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันราคาแพง
5. อุณหภูมิใช้งานสูง
6. อุปกรณ์มีโครงสร้างง่าย ราคาถูก ทนทาน ซ่อมบำรุงรักษาง่าย
7. สามารถส่งถ่ายไดระยะทางไกลๆ ไม่ต้องมีท่อลมกลับสามารถปล่อยทิ้งได้เลยเมื่อใช้แล้ว
8. สามารถควบคุมความเร็ว ความดัน ด้วยอุปกรณ์ที่ง่ายและราคาถูก
9. สามารถใช้งานเกินกำลัง (over load) โดยอุปกรณ์ไม่เกิดความเสียหาย
10. ระบบสามารถทำให้อุปกรณ์ทำงาน(ลูกสูบ)สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงได้ประมาณ 1-2 เมตร/วินาที หรือ 10 เมตร/วินาที สำหรับลูกสูบแบบพิเศษ

ข้อเสียของลมอัด

1. ลมอัดมีความชื้นและฝุ่นละออง จึงต้องมีอุปกรณ์กรองความชื้นและฝุ่นละอองก่อนนำไปใช้งาน
2. ลมอัดมีเสียงดังขณะระบายทิ้ง จึงต้องมีอุปกรณ์เก็บเสียง
3. ความดันของลมอัดเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอ
4. ลมอัดทำงานได้ที่ความดันจำกัด ประมาณ 7 bar หรือได้แรงในช่วง 20,000 - 30,000 นิวตัน
5. ลมอัดเป็นตัวกลางที่ราคาแพงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเปลี่ยนแปลงพลังงานอื่น ๆ แต่ก็ได้รับการชดเชยจากราคาของอุปกรณ์บางชิ้นที่มีราคาถูกและมีสมรรถนะ (จำนวนรอบของการทำงานที่สูงกว่า)

ระบบไฮดรอลิคส์ เป็นระบบที่มีการส่งถ่ายพลังงาน (Transmission) ของของไหลให้ เป็นพลังงานกล โดยผ่านตัวกระทำ (Actuators) เช่น กระบอกสูบ (Cylinder) มอเตอร์ไฮโดรลิกส์ (Hydraulic Motor) ในอุตสาหกรรมนิยมใช้น้ำมันไฮโดรลิกส์ (Hydraulic Oil) เป็นตัวกลาง ในการส่งถ่ายพลังงาน เพราะน้ำมันไฮโดรลิกส์มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ไม่สามารถยุบตัวได้(Incompressible) จึงทำให้การส่งถ่ายพลังงานมีประสิทธิภาพมาก

การนำระบบไฮโดรลิกส์ไปใช้งาน

ในปัจจุบันได้มีการนำระบบไฮโดรลิกส์ไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย แยกตามประเภทอุตสาหกรรม คือ

1 อุตสาหกรรมเหล็ก

2 อุตสาหกรรมประเภท เครื่องอัดขึ้นรูป (Press) งานตัด (Cutting) งานดัด (Bending)

3 อุตสาหกรรมอาหาร เช่นเครื่องบด

4 อุตสาหกรรมยานยนต์ และชิ้นส่วน

5 อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ และการพิมพ์

6 งานด้านวิศวกรรมโยธา

7 งานด้านการเดินเรือทะเล และงานสำรวจแหล่งแร่ ขุดเจาะต่างๆ

8 อุตสาหกรรมยางไม้

9 อุตสาหกรรมพลาสติก

งานทั่วๆ ไปที่นำระบบไฮโดรลิกส์ไปใช้ เช่น เครื่องอัดขึ้นรูป (Press) เครื่องปั๊มขึ้นรูป (Plung) เครื่องอัด (Bending) เครื่องตัด (Cutting) เครื่องมือลำเลียง ขนถ่าย เครื่องบรรจุ เครื่องมือขุดเจาะ อุปกรณ์การยกเคลื่อนย้าย เป็นต้น

ข้อดี ข้อด้อย ของระบบไฮโดรลิกส์

เมื่อเปรียบเทียบระบบไฮโดรลิกส์ กับระบบอื่น ๆ เช่น ระบบนิวแมติกส์ ระบบเครื่องกล หรือ ระบบไฟฟ้าแล้ว จะเห็นว่าในระบบไฮโดรลิกส์มีข้อดีที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน คือ

1 สามารถรับแรง (Load) ได้สูงมาก ทั้งในแนวเส้นตรงและแนวหมุน โดยให้แรงที่คงที่ทุกความเร็ว

2 สามารถส่งถ่ายพลังงานไปได้ไกลๆ โดยผ่านทางท่อไฮโดรลิกส์ไปที่กระบอกสูบหรือมอเตอร์ไฮโดรลิกส์ได้ โดยไม่ต้องใช้โซ่ หรือเพลาส่งกำลังเหมือนระบบทางกล

3 สามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่าระบบนิวแมติกส์ และระบบไฟฟ้า

4 ราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับการรับภาระโหลดที่เท่ากัน

ข้อด้อยของระบบไฮโดรลิกส์

5 อุปกรณ์ทำงาน จะเคลื่อนที่ช้ากว่าระบบนิวแมติกส์ และไฟฟ้า

6 การออกแบบวงจร และการติดตั้งเดินท่อจะทำได้ยากกว่าระบบนิวแมติกส์

7 สามารถเกิดการรั่วซึมของน้ำมันได้ตามจุดข้อต่อต่างๆ

8 การบำรุงรักษายากกว่าระบบนิวแมติก และไฟฟ้า

ระบบไฮโดรลิกส์เบื้องต้น

ระบบไฮโดรลิกส์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้ดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้า

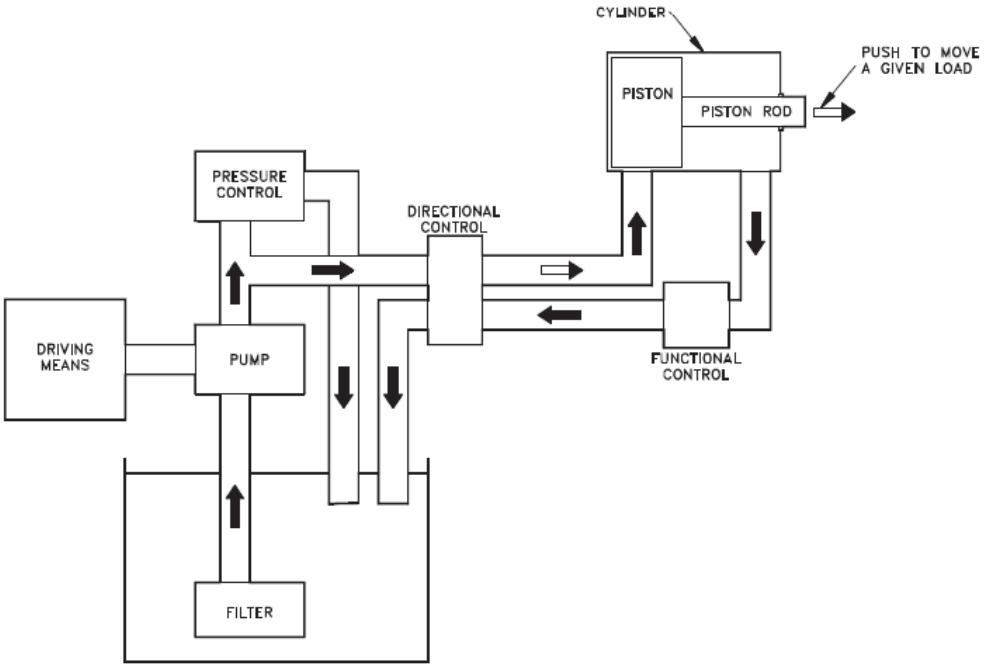
2. Pump

3. Control

แหล่งจ่ายพลังงาน

ทำหน้าที่ส่งถ่ายพลังงานน้ำมัน (pump) เข้าสู่ระบบโดยมีมอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์เป็นตัวขับ (Drive) ไฮโดรลิกส์ปั๊มให้หมุนเพื่อที่จะดูดน้ำมันจากถังพักเข้ามาในตัวเสื้อของปั๊ม และส่งออกไปสู่ระบบ โดยส่วนมากมักจะเรียกส่วนนี้ว่า Power Unit ซึ่งจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 2.6 ระบบการทำงานของไฮโดรลิคส์ เช่น

1. ไฮโดรลิกส์ปั๊ม (Hydraulic pump)
2. มอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์ขับ
3. ถังพักน้ำมัน (Tank)
4. ไส้กรองน้ำมัน (Strainer)
5. ที่ดูระดับน้ำมัน (Level gauge)
6. ฝาเติมน้ำมัน และระบายอากาศ (Air Breather)
7. ยอยด์ (Drive Coupling)



รูปที่ 2.6 ระบบการทำงานของไฮโดรลิคส์

ระบบควบคุมการทำงาน

เป็นระบบที่ใช้ควบคุมการทำงานของ กระบอกไฮโดรลิกส์ หรือไฮโดรลิกส์มอเตอร์ โดยควบคุม

1. ทิศทางการไหลของน้ำมัน (Directional Control) ทำให้กระบอกเคลื่อนที่ เข้า-ออก ได้ เช่น โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) เป็นต้น

2. ควบคุมความดันของน้ำมันในระบบ (Pressure Control) เพื่อจำกัดความดันในการใช้งานต่างๆ ให้เป็นไปตามต้องการ อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมความดัน ได้แก่

2.1 วาล์วปลดความดัน หรือเรียกอีกชื่อว่า รีลิฟวาล์ว (Pressure Relief Valve)

2.2 วาล์วลดความดัน (Pressure Reducing Valve)

2.3 วาล์วจัดลำดับความดัน (Pressure Sequence Valve)

2.4 Counter balancing Valve (เคาน์เตอร์บาล๊านซ์ วาล์ว)

2.5 Unloading Valve (อันโหลด วาล์ว)

3. ควบคุมปริมาณการไหลของน้ำมัน (Flow Control) เพื่อจำกัดปริมาณการไหลของน้ำมันให้มากหรือน้อย ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของอุปกรณ์ทำงานได้

อุปกรณ์ทำงาน (Actuator) ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานจากพลังงานไฮโดรลิกส์เป็นพลังงานกลเพื่อกระทำต่อภาวะโหลด เช่น กระบอกสูบ จะส่งถ่ายพลังงานในแนวเชิงเส้น (linear) หรือไฮโดรลิกส์มอเตอร์ จะส่งถ่ายพลังงานในแนวเชิงหมุน (Rotary) กระทำต่อโหลด