แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 9

หัวข้อเนื้อหา

การออกแบบวงจรและการกำหนดขนาดอุปกรณ์
วงจรทำงานมีความเร็วสูงและความเร็วต่ำ
การคำนวณขนาดของอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์
วงจรลดแรงดัน
วิธีบำรุงรักษาและแก้ไขปัญหาในระบบไฮดรอลิกส์

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อศึกษาบทที่ 9 จบแล้วนักศึกษาสามารถ
1. เพื่อให้รู้และเข้าใจหลักการออกแบบไฮดรอลิกส์
2. อธิบายถึงขั้นตอนของการออกแบบวงจรไฮดรอลิกส์ได้
3. บอกขั้นตอนของการกำหนดขนาดอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์ได้
4. คำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ในการออกแบบได้
5. บอกวิธีการบำรุงรักษาและแก้ไขปัญหาในระบบไฮดรอลิกส์ได้

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. วิธีสอน
   1.1 การบรรยาย
   1.2 การมีกิจกรรมในชั้นเรียน
   1.3 การสอนแบบเน้นการเรียนรู้ด้วยตนเอง
2. กิจกรรมการเรียนการสอน

2.1 การเข้าร่วมกิจกรรมในชั้นเรียนและห้องปฏิบัติการ การถามตอบ การแสดงความคิดเห็นของ นักศึกษาเพื่อนำเข้าสู่การออกแบบวงจรและการกำหนดขนาดอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์

2.2 ผู้เรียนศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร ตำราและหนังสือที่เกี่ยวข้องแล้วทำการสรุปเนื้อหานำเสนอผู้สอน

2.3 แบ่งกลุ่มทำการปฏิบัติต่อวงจรจากแบบปฏิบัติการ 11 และ 12 แล้วสรุปผลนำเสนอ

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน
2. แผ่นโปร่งใส
3. เครื่องฉายภาพสามมิติ
4. วีดิทัศน์
5. ชุดฝึกปฏิบัติการ

การวัดและการประเมินผล

1. สังเกตจากความสนใจขณะบรรยาย
2. สังเกตจากการปฏิบัติงานออกแบบวงจร
3. กิจกรรมถามตอบ
4. ผลสรุปจากการออกแบบวงจร
5. ตรวจผลสรุปจากการออกแบบวงจร

บทที่ 9
การออกแบบวงจรและการกำหนดขนาดอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์

ตามที่ได้ศึกษามาแล้วเกี่ยวกับวงจรไฮดรอลิกส์และการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้น ในบทนี้จะได้นำอุปกรณ์ที่ศึกษามาแล้วมาประยุกต์ใช้การเพื่อเป็นการออกแบบวงจรให้เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องจักรเพราะจะทำให้เกิดผลของงานที่มีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถประหยัดราคาของอุปกรณ์ที่ใช้งาน โดยการนำวงจรมาต่อและทำงานร่วมกันอย่างมีระบบและใช้สัญลักษณ์เขียนแทนขนาดของอุปกรณ์จริงลงในผังวงจร นอกจากนี้การวางตำแหน่งอุปกรณ์จะมีขั้นตอนคือ การหาขนาดกระบอกสูบ หาขนาดของปั๊ม หาขนาดของมอเตอร์ หาขนาดของท่อ หาขนาดของวาล์วและหาขนาดของถังน้ำมัน

อุปกรณ์ไฮดรอลิกส์ที่นำมาใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยทั่วไปที่วิศวกรหรือช่างเทคนิคเกี่ยวข้องจะมีอยู่ 3 ประการ คือ

1. การซ่อมบำรุง
2. การสร้างเครื่องจักรจากการลอกแบบของต่างประเทศ
3. การออกแบบวงจรและสร้างเครื่องจักรเองทั้งหมด

งานทั้ง 3 ประการ แบ่งออกได้ 2 ส่วนคือ

1. งานโครงสร้างเครื่องจักร
2. งานเกี่ยวกับระบบไฮดรอลิกส์

ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะในงานที่เกี่ยวกับระบบไฮดรอลิกส์

การซ่อมบำรุง ส่วนใหญ่อุปกรณ์ถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศ ฉะนั้นช่างเทคนิคจะทำการดูแลเรื่องน้ำมันไฮดรอลิกส์ การรั่วของน้ำมันตามท่อทางน้ำมัน หรือถ้ามีอุปกรณ์ส่วนใดชำรุดก็ทำการซ่อมแก้ไข หรือเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ให้มีขนาดและชนิดเหมือนของเดิม

การลอกแบบ สามารถทำได้โดยดูขนาดและชนิดของอุปกรณ์จากเครื่องจักรเดิมซึ่งโดยทั่วไปสภาพงาน อุตสาหกรรมในประเทศไทยถือได้ว่าเป็นที่ดีที่สุด ง่ายที่สุดและประหยัดที่สุด

การออกแบบวงจรและสร้างเครื่องจักรเอง ในสมัยก่อนไม่ค่อยได้ทำ แต่ในปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมเกิดขึ้นมาก มีการแข่งขันในการผลิตสินค้ามากขึ้น ความรู้ของช่างเทคนิคสูงขึ้น บริษัทผู้แทนจำหน่ายสินค้าเกี่ยวกับระบบไฮดรอลิกส์มีมากขึ้น สามารถหาซื้อได้ง่าย ทำให้โอกาสในการสร้างเครื่องจักรมีมาก ในปัจจุบันประเทศไทยได้ผลิตเครื่องจักรที่เกี่ยวกับระบบไฮดรอลิกส์ได้แก่เครื่องฉีดพลาสติก และเครื่องจักรอีกหลายอย่างส่งขายต่างประเทศ นับได้ว่า

เป็นความก้าวหน้าขั้นหนึ่ง แต่อุปกรณ์ไฮดรอลิกส์โดยส่วนมากหรือเกือบทั้งหมดสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ มีทั้งยุโรป อเมริกา และญี่ปุ่น ในอนาคตอาจจะมีการผลิตอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์ขึ้นภายในประเทศไทยก็เป็นได้ ซึ่ง มนตรี โชติวรวิทย์, และชนินทร์ นุ่มศิริ (2536, หน้า 146-147) ได้กล่าวว่า ในการสร้างเครื่องจักรไฮดรอลิกส์ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงมีอยู่ 2 ประการคือ การออกแบบวงจร และการกำหนดขนาดอุปกรณ์

การออกแบบวงจรและการกำหนดขนาดอุปกรณ์

ในการออกแบบวงจรและสร้างเครื่องจักรที่ดีต้องมีคุณสมบัติดังนี้

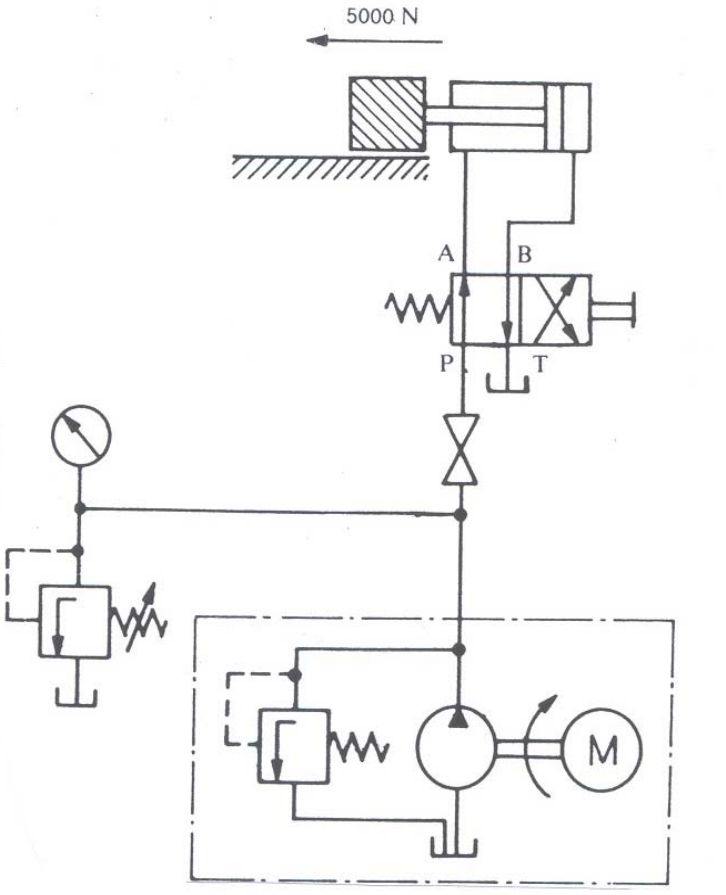
1. สามารถทำงานได้ดี และมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง
2. ต้นทุนในการสร้างเครื่องจักรต่ำ
3. เสียค่าใช้จ่ายในการใช้งานน้อย (ประหยัดค่าไฟฟ้า)
4. อายุการใช้งานนาน
5. ซ่อมบำรุงดูแลรักษาง่ายและประหยัด
6. สามารถปรับปรุง เปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มเติมอุปกรณ์ให้ทำงานได้หลายชนิด

ขั้นตอนการออกแบบวงจรและการกำหนดขนาดอุปกรณ์มีดังนี้

1. ต้องรู้ว่างานที่จะทำเป็นงานอะไร
2. ต้องหาวงจรที่ใช้ให้เหมาะสม
3. ต้องรู้ภาระงานที่จะทำ ต้องใช้แรงไปกระทำเท่าใด
4. เลือกใช้ตัวทำงานให้เหมาะสมคือจะเลือกกระบอกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกส์
5. การกำหนดความเร็วของตัวทำงาน
6. การกำหนดความดันใช้งาน
7. คำนวณหาขนาดอุปกรณ์
   - 7.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ
   - 7.2 ขนาดของปั๊ม
   - 7.3 ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า
   - 7.4 ขนาดท่องทางน้ำมัน
   - 7.5 ขนาดวาล์วควบคุมทิศทางน้ำมัน
   - 7.6 ขนาดถังน้ำมัน

ตัวอย่างที่ 9.1 การกำหนดขนาดอุปกรณ์

การทำงานเคลื่อนย้ายวัตถุชนิดหนึ่ง วิศวกรผู้ออกแบบได้เลือกใช้ระบบไฮดรอลิกส์ในการช่วยทำงานนั้นและได้ออกแบบวงจรไว้ดังแสดงในภาพที่ 9.1



ภาพที่ 9.1 ออกแบบการเคลื่อนย้ายวัตถุ

ที่มา (มนตรี โชติวรวิทย์ และชนินทร์ นุ่มศิริ, 2545, หน้า 148)

จากการคำนวณด้านความเสียดทานของผิววัตถุกับพื้นแล้ว ปรากฏว่าต้องใช้แรงในการเคลื่อนย้ายวัตถุนี้ด้วยแรง 5000 นิวตัน วัตถุจึงจะเคลื่อนที่

โดยกำหนดให้

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบ = 4 เมตร/นาที

ต้องการให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นระยะทาง = 0.3 เมตร (ไม่ควรเกิน 1 เมตร)

ความดันใช้งาน = 60 บาร์ (ควรอยู่ในช่วง 40 - 100 บาร์)

ถามว่าวิศวกรผู้นี้จะต้องกำหนดขนาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานขนาดเท่าใดบ้าง

1. หาขนาดกระบอกสูบ

จากสูตร

$F_n = (A \cdot P) - F_R$

เมื่อ $F_n = 5000$ N

$F_R = 500$ N (10% ของกระบอกสูบ)

$P = 60$ bar

$\therefore A = \frac{5000 + 500N}{60 \times 10^5 N/m^2 \cdot 10^{-4} m^2/cm^2}$

$= 9.16 \text{ cm}^2$

$A = D^2 \cdot \frac{\pi}{4}$

$D^2 = \frac{A \cdot 4}{\pi}$

$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}}$

$= \sqrt{\frac{9.16 \times 4}{\pi}}$

$= 3.41 \text{ cm} = 34.1 \text{ mm}$

$\therefore$ ควรเลือกใช้กระบอกสูบขนาด 35 mm $\times$ 300 mm

2. หาขนาดของปั๊ม

จากสูตร $Q = V \cdot A = V \cdot D^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 4 \cdot (35)^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 10^{-3}$ l/min

$= 3.84$ l/min

$\therefore$ ควรเลือกใช้ปั๊มขนาดที่สามารถสั่งจ่ายปริมาณการไหลของน้ำมันได้ 4 l/min

3. หาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า

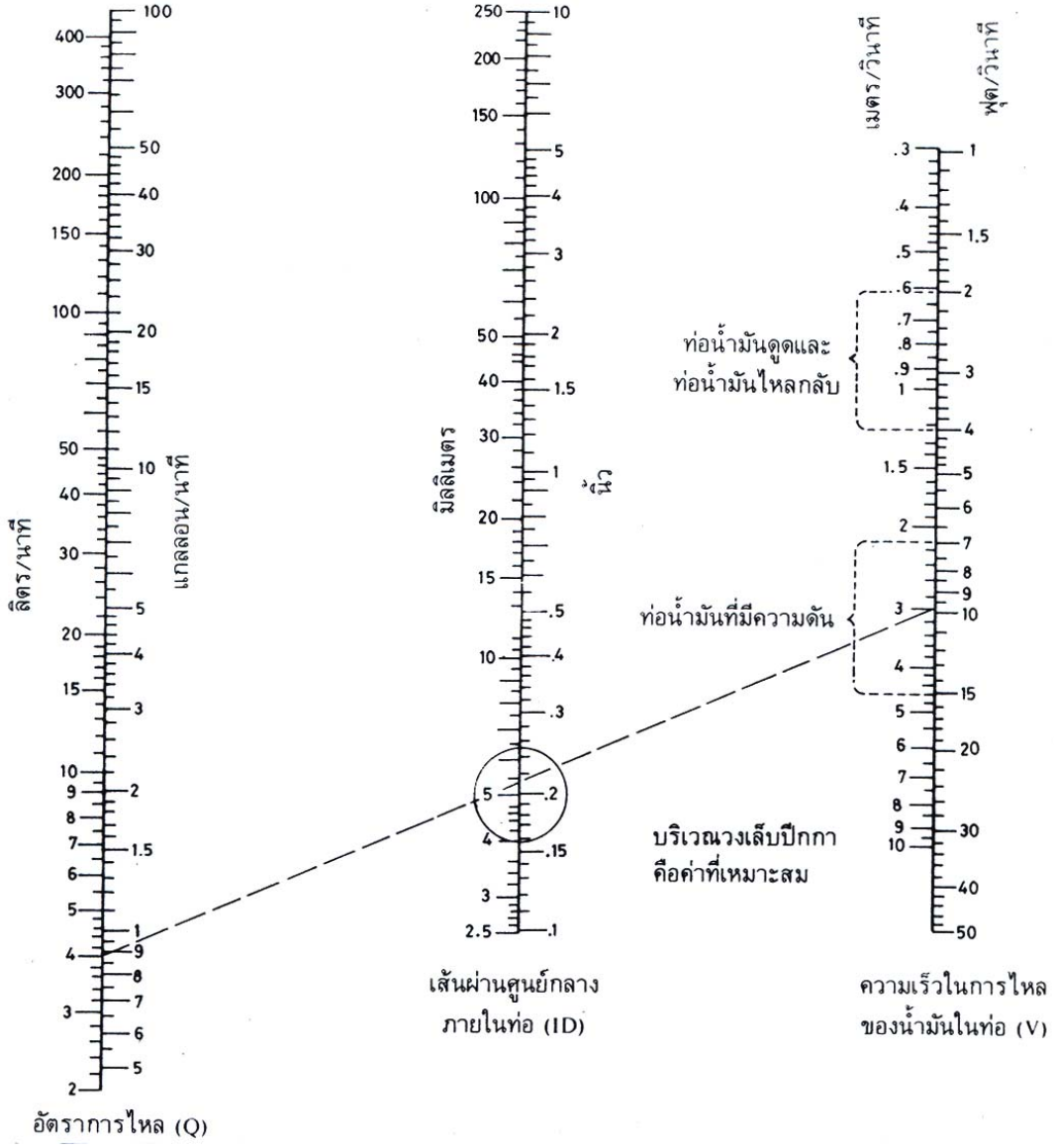
จากสูตร $\text{Power}_N = \frac{Q \cdot P}{\eta_M \cdot \eta_P}$ (ปั๊มใหม่มีค่า $\eta_P = 80\%$ และ $\eta_M = 80\%$

$= \frac{4 \times 60 \times 10^5 \times 10^{-3}}{0.8 \times 0.8} = 37500 \frac{N \cdot m}{\text{min}}$

หรือ $= \frac{37500}{60}$ W $= 625$ W $= 0.625$ kW

$= \frac{625}{746}$ hp $= 0.84$ hp

$\therefore$ ควรเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดอย่างต่ำสุด 0.7 kW หรือเลือกขนาด 1 แรงม้า



ภาพที่ 9.2 แผนภาพหาขนาดท่อ

ที่มา (มนตรี โชติวรวิทย์ และชนินทร์ นุ่มศิริ, 2545, หน้า 150)

4. หาขนาดท่อทางน้ำมัน จากภาพที่ 9.2 สามารถหาขนาดท่อได้ 5.5 มิลลิเมตรหรือ 2 หุน แต่การใช้งานโดยทั่วไปจะมีขนาด 3 หุนถึง 6 หุน ฉะนั้นวงจรนี้ให้เลือกใช้ท่อทางน้ำมันขนาด 3 หุน

วิธีการหา เมื่อทราบค่าอัตราการไหลของน้ำมัน สมมุติมีค่า 4 ลิตร/นาที กำหนดจุดไว้บนแกนด้านซ้ายแล้วลากเส้นไปทางแกนด้านขวาให้อยู่ในช่องของวงเล็บปีกกา ซึ่งมีอยู่ 2 วงเล็บ คือ ท่อน้ำมันดูด ท่อน้ำมันไหลกลับ เป็นท่อที่ไม่มีความดันและท่อน้ำมันที่มีความดัน เส้นจะลากตัดผ่านแกนกลาง เราจะได้ค่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

5. หาขนาดของวาล์วน้ำมันต่าง ๆ ให้เลือกใช้ขนาดตามท่อทางน้ำมันที่ใช้ เพราะถ้าเลือกตัวเล็กเกินไปจะมีผลต่อการต้านทานการไหลของน้ำมัน ถ้าใช้ตัวใหญ่จะแพงไปและกินเนื้อที่ติดตั้ง

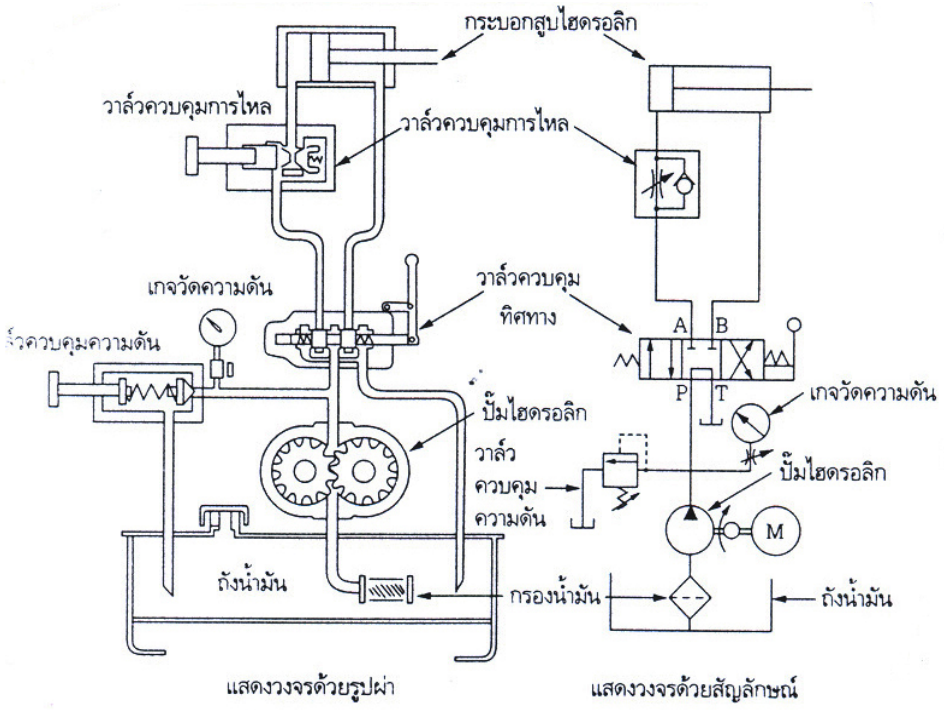
ในกรณีเช่นวงจรนี้ให้เลือกใช้ขนาด 3 หุน

6. หาขนาดของถังน้ำมัน ให้กำหนดมีปริมาตรความจุน้ำมันได้ 5 เท่าของอัตราการไหลที่ปั๊มส่งจ่ายออกไปใช้งาน เพื่อให้ปริมาณน้ำมันเพียงพอต่อการใช้งานหมุนเวียนภายในระบบและยังช่วยระบายหรือถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

ฉะนั้นปริมาตรถัง = $5 \times 4 =$ 20 ลิตร

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ติดตั้งโดยอย่าให้ถังแบนราบจนเกินไป และอย่าให้ระดับน้ำมันอยู่ต่ำกว่าท่อดูดน้ำมันของปั๊ม

ระบบไฮดรอลิกส์ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ ชุดต้นกำลัง (power unit) วาล์วควบคุมความดัน (pressure control valve) วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมัน (directional control valve) วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน (flow control valve) อุปกรณ์ทำงาน (actuator) ระบบท่อทาง (piping system) และอุปกรณ์อื่น ๆ (accessories) ซึ่ง ณรงค์ ตันชีวะวงศ์ (2545, หน้า 216) ได้อธิบายการนำเอาระบบไฮดรอลิกส์ไปใช้งานกับเครื่องจักรจะต้องนำเอาอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้มาต่อรวมกันเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องจักรให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เรียกว่าวงจรไฮดรอลิกส์ การนำเอาวงจรไฮดรอลิกส์ไปใช้งานนั้นมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ว่าต้องการลักษณะการทำงานเป็นแบบใด ถ้าเป็นการทำงานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนวงจรที่ใช้จะเป็นแบบธรรมดา แต่บางครั้งอาจนำวงจรต่าง ๆ มารวมกันเพื่อควบคุมการทำงานที่ซับซ้อน ซึ่งอยู่กับการพิจารณาเลือกใช้วงจรให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน



ภาพที่ 9.3 วงจรพื้นฐานของระบบไฮดรอลิกส์
ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2546, หน้า 216)

วงจรทำงานที่มีความเร็วสูงและต่ำ

1. วงจรทำงานที่ความดันต่ำ

จากภาพที่ 9.4 รายชื่อของอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้

(A) , (B) = ปั๊ม (Pump)

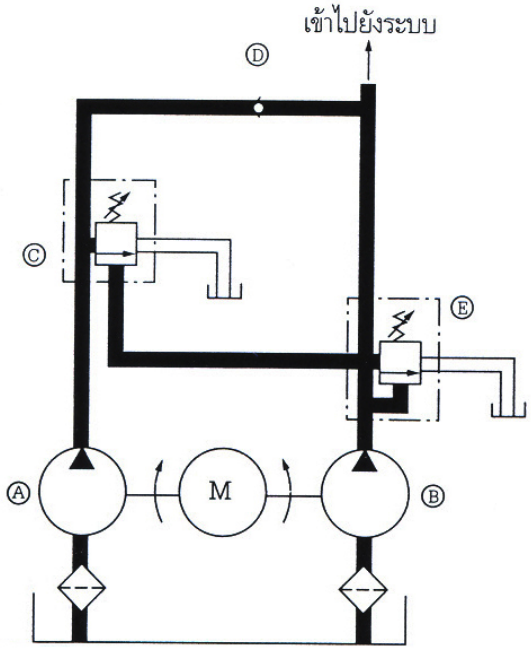
(C) = วาล์วลดโหลด (unloading valve)

(D) = เช็กวาล์ว (check valve)

(E) = รีลีฟวาล์ว (relief valve)

M = มอเตอร์ไฟฟ้า (electric motor)

หลักการทำงานมีดังนี้ เมื่อความดันในระบบต่ำกว่าค่าของวาล์ว (C) และ (E) วาล์วทั้งสองนี้จึงอยู่ในตำแหน่งปิด น้ำมันที่ออกจากปั๊ม (B) จะส่งเข้าไปในระบบผ่านทางวาล์ว (E) ส่วนน้ำมันจากปั๊ม (A) ส่งเข้าระบบโดยผ่านทางวาล์ว (C), (D) จากนั้นน้ำมันจากปั๊มทั้งสองตัวรวมกันส่งน้ำมันเข้าไปในระบบ



ภาพที่ 9.4 วงจรทำงานที่ความดันต่ำ

ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2546, หน้า 217)

2. วงจรทำงานที่ความดันสูง

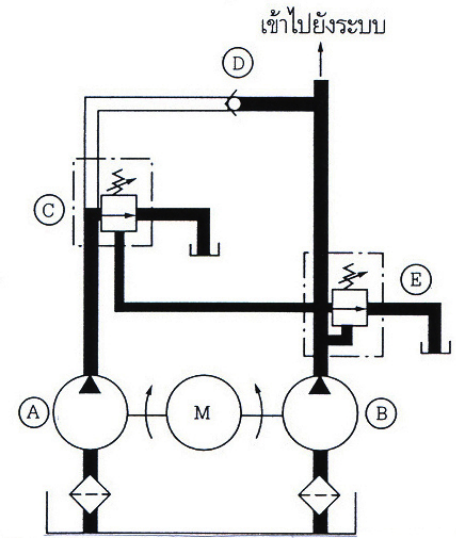
จากภาพที่ 9.5 รายชื่อของอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้

(C) = วาล์วลดโหลด (unloadind valve)

(E) = รีลีฟวาล์ว (relief valve)

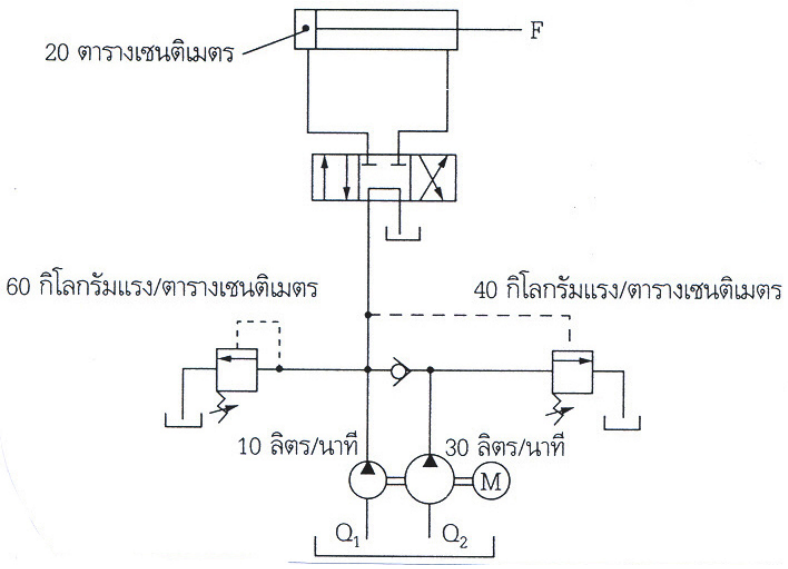
หลักการทำงานมีดังต่อไปนี้คือ เมื่อความดันในระบบสูงขึ้นจนถึงค่าที่ตั้งไว้ที่วาล์ว (C) ทำให้วาล์ว (C) เปิด การเปิดของวาล์ว (C) นั้นจะมาจากความดันด้านปั๊ม (B) เมื่อวาล์ว (C) เปิดทำให้การส่งน้ำมันของปั๊ม (A) ส่งน้ำมันลงถังน้ำมันโดยตรง การส่งน้ำมันเข้าไปในระบบจึงมาจากปั๊ม (B) เพียงตัวเดียว สำหรับวาล์ว (D) มีไว้ป้องกันไม่ให้ความดันด้านปั๊ม (B) ไหลไปสู่ความดันด้านปั๊ม (A) ได้

ปกติวาล์ว (E) จะตั้งค่าไว้สูงค่าของวาล์ว (C) ดังนั้นความดันด้านปั๊ม (B) จึงเป็นด้านความดันสูง แต่ขนาดการส่งน้ำมันของปั๊มต่ำ ซึ่งตรงข้ามกับด้านปั๊ม (A) ที่เป็นด้านความดันต่ำแต่อัตราการส่งน้ำมันได้สูง



ภาพที่ 9.5 วงจรที่ทำงานที่ความดันสูง
ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2546, หน้า 217)

ตัวอย่างที่ 9.2 การหาค่าต่าง ๆ ในวงจรไฮดรอลิกส์



ภาพที่ 9.6 วงจรความเร็วสูงและความเร็วต่ำ
ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2544, หน้า 304)

กรณี A : แรง F = 600 กิโลกรัมแรง (สูบยังไม่สัมผัสภาระ)
กรณี B : แรง F = 1,200 กิโลกรัมแรง (สูบวิ่งสัมผัสภาระ)

สูตรต่าง ๆ

1. $V = Q/A$
2. $F = PA$
3. $L_i = \frac{PQ}{612} \times$ ประสิทธิภาพ (กิโลวัตต์)

กรณี A : กระบอกสูบวิ่งเข้าหาชิ้นงานใช้ปั๊มทั้งสองตัว

1.) ความเร็วของกระบอกสูบ

$V = \frac{Q}{A}$

$Q_T = Q_1 + Q_2$

$= 10$ ลิตร/นาที $+ 30$ ลิตร/นาที

$= 40$ ลิตร/นาที

$= \frac{40 \times 1{,}000}{60}$ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที

สูตร $V = \frac{Q}{A}$

$= \frac{\frac{40 \times 1{,}000}{60}}{20}$ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที / ตารางเซนติเมตร

ฉะนั้นความเร็ว $= 33.33$ เซนติเมตร/วินาที

2.) ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า

$L_i = \frac{PQ}{612} \times 1$

(ให้ประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 1)

$P = \frac{F}{A}$

$= \frac{600 \text{ กิโลกรัมแรง}}{20 \text{ ตารางเซนติเมตร}}$

$= 30$ กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร

$$L_i = \frac{30 \text{ กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร} \times 40 \text{ ลิตร/นาที}}{612}$$

$$= 1.9 \text{ กิโลวัตต์ (2 กิโลวัตต์)}$$

กรณี B : กระบอกสูบวิ่งสัมผัสภาระ

1.) ความเร็วของกระบอกสูบ

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$Q = \frac{10 \text{ ลิตร} \times 1{,}000 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}}{\text{นาที} \times 60 \text{ วินาที}}$$

$$A = 20 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

$$V = \frac{\frac{10 \times 1{,}000}{60} \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที}}{20 \text{ ตารางเซนติเมตร}}$$

$$= 8.33 \text{ เซนติเมตร/วินาที}$$

2.) ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า

$$L_i = \frac{PQ}{612} \times 1$$

(ให้ประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 1)

$$P = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{1{,}200 \text{ กิโลกรัมแรง}}{20 \text{ ตารางเซนติเมตร}}$$

$$= 60 \text{ กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร}$$

$Q = 10$ ลิตร/นาที (เนื่องจากปั๊มขนาด 30 ลิตร/นาที อยู่ในสภาพไม่มีภาระหรือให้ส่งน้ำมันลงถังโดยตรง)

$$L_i = \frac{60 \text{ กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร} \times 10 \text{ ลิตร/นาที}}{612}$$

$$= 0.98 \text{ กิโลวัตต์}$$

การคำนวณหา L_i รวมในกรณี B

$$L_i = L_1 + L_2$$

$$L_1 = \frac{PQ}{612}$$

$$= \frac{60 \text{ กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร} \times 10 \text{ ลิตร/นาที}}{612}$$

(คิดที่ความดันสูงสุดในระบบคือ 60 กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร ส่วน Q คิดที่ปั๊มจังหวะสัมผัสภาระ)

$$= 0.98 \text{ กิโลวัตต์ (1 กิโลวัตต์)}$$

$$L_2 = \frac{5 \text{ กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร} \times 30 \text{ ลิตร/นาที}}{612}$$

(Q ของปั๊ม 30 ลิตร/นาที ถึงแม้ว่าจะอยู่ในจังหวะไม่มีภาระ แต่ยังต้องใช้พลังงานขับให้หมุนที่ความดัน 5 กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร (เป็นความต้านทานภายในของวาล์ว) ปกติใช้ค่าตั้งแต่ 5-10 กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร)

$$= 0.24 \text{ กิโลวัตต์}$$

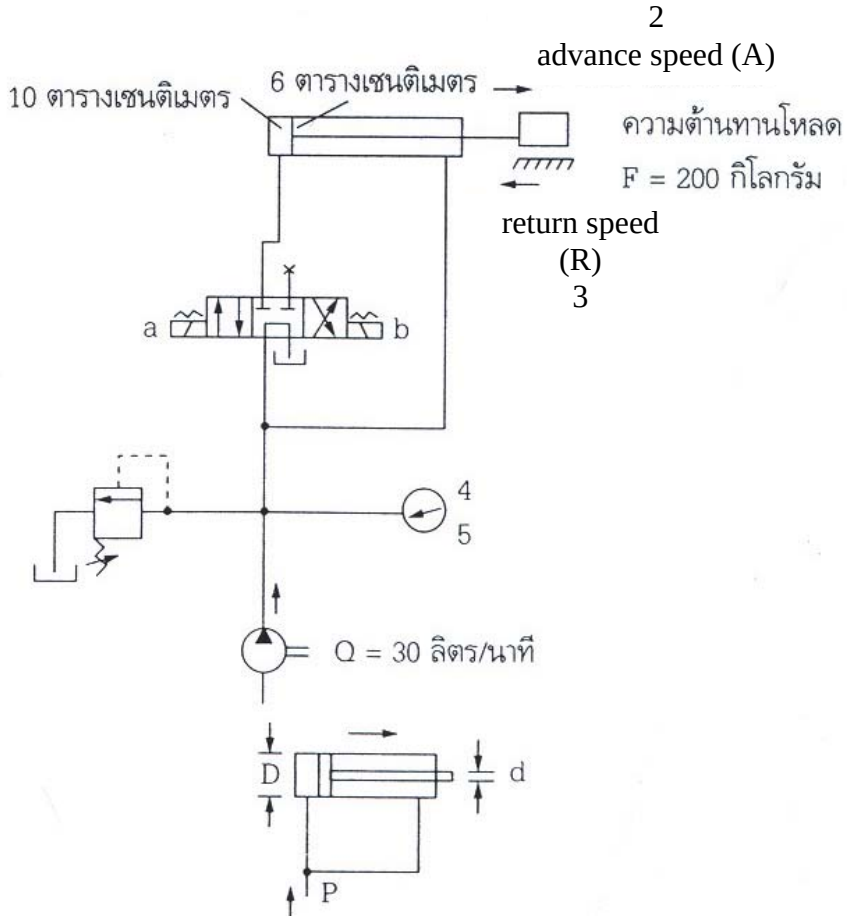
$$L_i = L_1 + L_2$$

$$= 1 + 0.24$$

$$= 1.24 \text{ กิโลวัตต์ หรือ } 2 \text{ กิโลวัตต์}$$

สรุปได้ว่าขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในวงจรนี้ทั้งในกรณี A และ B เท่ากับ 5 กิโลวัตต์

ตัวอย่างที่ 9.3 การหาค่าต่าง ๆ ในวงจรไฮดรอลิกส์



ภาพที่ 9.7 วงจรตัวอย่างเพื่ออธิบายค่าต่าง ๆ ในวงจรไฮดรอลิกส์

ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2540, หน้า 198)

จากภาพที่ 9.7 เป็นวงจรไฮดรอลิกส์ จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. วงจรนี้เป็นวงจรชนิดใด
2. ความเร็วในจังหวะ advance speed เป็นเท่าไร (เซนติเมตร/วินาที) (วงจรรีเจนเนอเรทีฟ)
3. ความเร็วในจังหวะ return speed เป็นเท่าไร (เซนติเมตร/วินาที) (วงจรธรรมดา)
4. pressure during advance เป็นเท่าไร (กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร)
5. pressure during return เป็นเท่าไร (กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร)

แสดงวิธีทำ

1. เป็นวงจรรีเจนเนอเรทีฟ เมื่อโซลีนอยด์ a ทำงาน

2. ความเร็วในจังหวะ advance speed (วงจรรีเจนเนอเรทีฟ) หาได้จากสูตร

$$V = \frac{Q}{A} \quad (A = \text{พื้นที่ของก้านสูบ})$$

$$= \frac{30 \text{ ลิตร} \times 1{,}000 \text{ ซม.}^3 \times \text{นาที}}{(10\text{-}6) \text{ ซม.}^2 \times \text{นาที} \times \text{ลิตร} \times 60 \text{ วินาที}}$$

$$= \frac{30 \times 1{,}000}{4 \times 60} \text{ เซนติเมตร/วินาที}$$

$$= 125 \text{ เซนติเมตร/วินาที}$$

3. ความเร็วในจังหวะ return speed (วงจรธรรมดา) หาได้จากสูตร

$$V = \frac{Q}{A} \quad (A = \text{พื้นที่ของก้านสูบ})$$

$$= \frac{30 \text{ ลิตร} \times 1{,}000 \text{ ซม.}^3 \times \text{นาที}}{6 \text{ ซม.}^2 \times \text{นาที} \times \text{ลิตร} \times 60 \text{ วินาที}}$$

$$= 83.33 \text{ เซนติเมตร/วินาที}$$

4. ความดันในจังหวะลูกสูบวิ่งออก (วงจรรีเจนเนอเรทีฟ) กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร

หาได้จากสูตร $F = PA$

$$P = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{200 \text{ กิโลกรัมแรง}}{(10\text{-}6) \text{ ตารางเซนติเมตร}}$$

$$= 50 \text{ กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร}$$

5. ความดันในขณะลูกสูบวิ่งเข้า (วงจรธรรมดา) กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร

หาได้จากสูตร $F = PA$

$$P = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{200 \text{ กิโลกรัมแรง}}{6 \text{ ตารางเซนติเมตร}}$$

$$= 33.33 \text{ กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร}$$

การคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์

1. เครื่องเพรสขนาด 15 ตัน

การคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์ของเครื่องเพรส 15 ตัน

กำหนดให้

F = แรงที่ต้องการ 15 ตัน
(15,000 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือ $2,204 \times 15 = 33,060$ ปอนด์

Q_1 = ความเร็วลูกสูบขณะเคลื่อนที่ขึ้น 3 นิ้ว/วินาที
(76.2 มิลลิเมตร/วินาที)

Q_2 = ความเร็วลูกสูบขณะเคลื่อนที่ลง (ยังไม่แตะชิ้นงาน) 1.5 นิ้ว/วินาที
(38.1 มิลลิเมตร/วินาที)

Q_3 = ความเร็วลูกสูบขณะเคลื่อนที่ลง (ขณะอัดชิ้นงาน) 0.2 นิ้ว/วินาที
(5.08 มิลลิเมตร/วินาที)

P = ความดัน 1,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว
($1,500 \times 0.070 = 105$ กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร
$1,500 \times 0.069 = 103.5$ บาร์)

1.) การคำนวณหาขนาดกระบอกสูบ

จากสูตร $F = PA$

$$A = \frac{F}{P}$$

$$= \frac{33,060 \text{ ปอนด์}}{1,500 \text{ ปอนด์/ตารางนิ้ว}}$$

$$= 22 \text{ ตารางนิ้ว}$$

สูตรหาเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = \sqrt{\frac{A \times 4}{3.14}}$

$$= \sqrt{\frac{22 \times 4}{3.14}}$$

$$= \sqrt{28.02}$$

$$= 5.29 \text{ นิ้ว}$$

ฉะนั้นต้องใช้กระบอกสูบขนาด 5 นิ้ว ก้านสูบขนาด 3 นิ้ว (ขนาด 5.29 นิ้ว ไม่มีจำหน่ายในท้องตลาด) และต้องเพิ่มความดันขึ้น เพื่อให้ได้แรงตามที่ต้องการ

จากสูตร $F = PA$ (เมื่อ $P = 2{,}000$ ปอนด์/ตารางนิ้ว, $A = 5$ นิ้ว)

$$= 2{,}000 \times \frac{3.14 \times 5 \times 5}{4}$$

$$= 39{,}250 \text{ ปอนด์}$$

$$= 17.8 \text{ ตัน}$$

2.) การคำนวณหาขนาดของปั๊ม

จากสูตร $Q = VA$

$$Q_1 = 3 \times \left(\frac{(3.14 \times 5 \times 5)}{4} - \frac{(3.14 \times 3 \times 3)}{4} \right)$$

$$= 37.7 \text{ ลูกบาศก์นิ้ว/วินาที}$$

$$= \frac{37.7 \times 60}{231}$$

$$= 97.9 \text{ แกลลอน/นาที (GPM)}$$

(231 ลูกบาศก์นิ้ว = 1 US gallon)

$$= \frac{9.79}{0.2642}$$

$$= 37.05 \text{ ลิตร/นาที (l/min)} (0.2642 \text{ US gallon} = 1 \text{ ลิตร})$$

อัตราการไหลของน้ำมัน (Q_1) ในจังหวะลูกสูบวิ่งขึ้น = 9.79 แกลลอน/นาที

$$Q_2 = 1.5 \times \frac{(3.14 \times 5 \times 5)}{4}$$

$$= 29.44 \text{ ลูกบาศก์นิ้ว/วินาที}$$

$$= \frac{29.44 \times 60}{231}$$

$$= 7.64 \text{ แกลลอน/นาที}$$

อัตราการไหลของน้ำมัน (Q_2) ในจังหวะลูกสูบเลื่อนลง (ยังไม่แตะชิ้นงาน) = 7.64 แกลลอน/นาที

$$Q_3 = 0.2 \times \frac{3.14 \times 5 \times 5}{4}$$

$$= 3.92 \text{ ลูกบาศก์นิ้ว/วินาที}$$

$$= \frac{3.92 \times 60}{231}$$

= 1.01 แกลลอน/นาที

อัตราการไหลของน้ำมัน (Q_3) ในจังหวะลูกสูบเลื่อนลง (ขณะอัดชิ้นงาน) = 1.01 แกลลอน/นาที

เพราะฉะนั้นใช้ปั๊มแบบดับเบิลปั๊ม ขนาด 7 แกลลอน/นาที และ 1 แกลลอน/นาที ที่ 1,200 รอบ/นาที หรือ ขนาด 8.45 แกลลอน/นาที และ 1.2 แกลลอน/นาที ที่ 1,450 รอบ/นาที

3.) การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า

จากสูตร แรงม้า (HP) = $\frac{\text{Flow Rate (GMP)} \times \text{Pressure (PSI)} + \text{Safety Factor 20\%}}{1{,}714}$

$$= \frac{(8.45 + 1.2) \times 500}{1{,}714} + 20\%$$

= 3.4 แรงม้า (ขณะลูกสูบเคลื่อนที่ลง ยังไม่แตะชิ้นงาน)

$$\text{แรงม้า} = \frac{1.2 \times 2{,}000}{1{,}714} + 20\%$$

= 1.7 แรงม้า (ขณะอัดชิ้นงาน)

สรุปพิจารณาเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในจังหวะการทำงานของลูกสูบทั้งหมด ขนาด 5.5 แรงม้า เนื่องจากอาจจะใช้ความดันเกินกว่า 2,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ขณะอัดชิ้นงาน

4.) การหาขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ หน่วยเป็นกิโลวัตต์

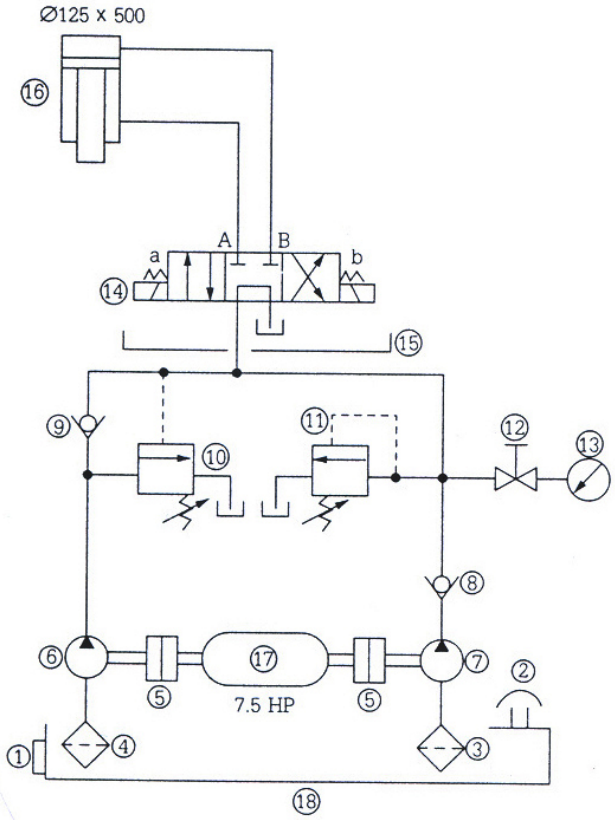
$$\text{HP} = \frac{P\ (\text{kgf/cm}^2) \times Q\ (\text{l/min})}{612}$$

$$= \frac{500 \text{ ปอนด์/ตารางนิ้ว} \times 0.070 \times \left(\frac{8.45 + 1.2}{0.2642}\right) + 20\%}{612}$$

= 2.18 กิโลวัตต์ + 20% = 2.61 กิโลวัตต์

= 2.61 × 1,341

= 3.5 แรงม้า (1 กิโลวัตต์ = 1,341 แรงม้า)



รายชื่ออุปกรณ์

1	วัดระดับน้ำมัน	
2	ฝาเติมน้ำมันและรูหายใจ	
3-4	กรองน้ำมัน	
5	ข้อต่อ	
6	ปั๊มไฮดรอลิก	Hi-Flow Lo-Press
7	ปั๊มไฮดรอลิก	Lo-Flow Hi-Press
8-9	เช็กวาล์ว	
10	วาล์วลดโหลด	
11	รีลีฟวาล์ว	
12	วาล์วสำหรับเกจวัดความดัน	
13	เกจวัดความดัน	
14	โซลีนอยด์วาล์ว	
15	Subplate	
16	กระบอกสูบ	
17	มอเตอร์ไฟฟ้า 7.5 HP	
18	ถังน้ำมัน 120 ลิตร	

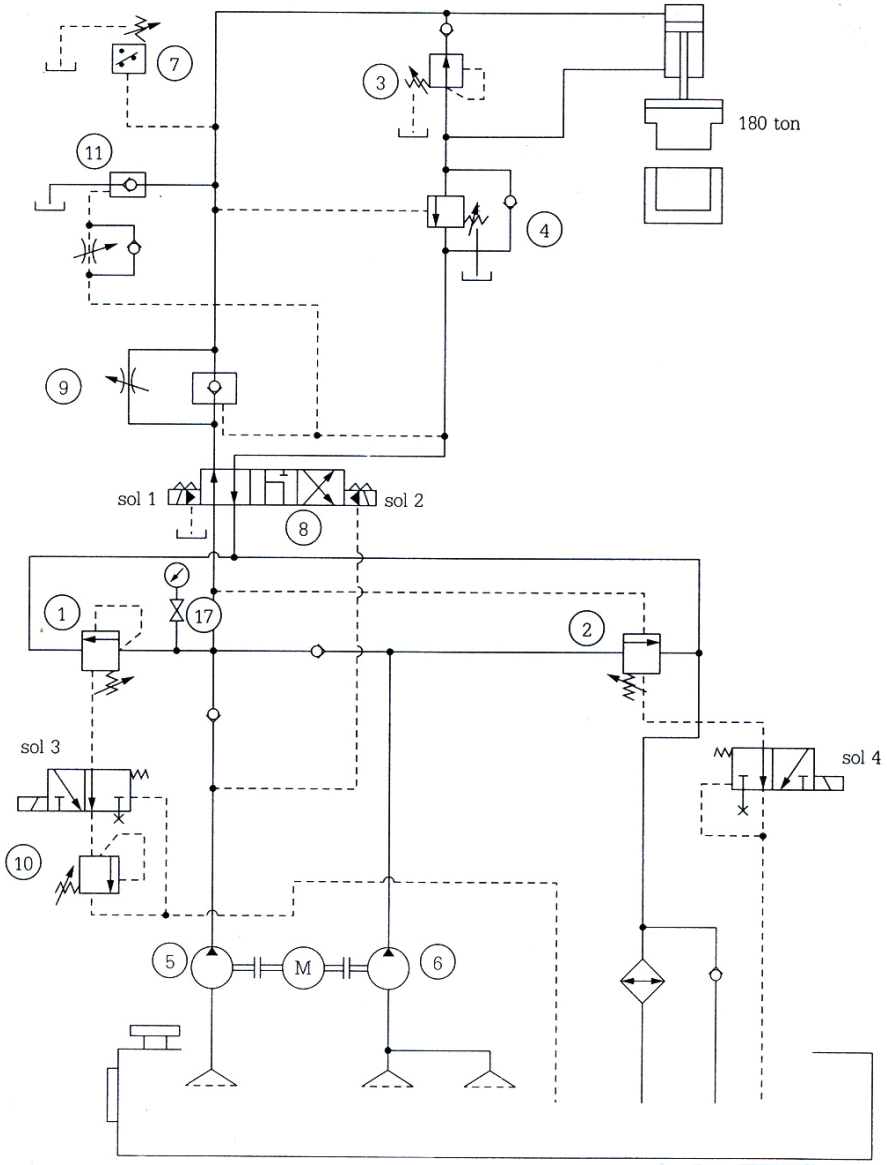
ภาพที่ 9.8 วงจรตัวอย่างของเครื่องเพรส 15 ตัน

ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงษ์, 2544, หน้า 289)

การทำงานของเครื่องเพรสดังภาพที่ 9.8 ต้องการความเร็วของกระบอกสูบมาก จึงต้องใช้ระบบความเร็วสูงและความเร็วต่ำ ซึ่งควบคุมด้วยวาล์วภาระและรีลีฟวาล์ว ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 7.5 แรงม้า และกำหนดให้ค่าอื่น ๆ มีดังต่อไปนี้

แรงกด	15 ton	ความเร็ว	15 cm/sec
ขนาดกระบอกสูบ	∅ 125 mm (5 นิ้ว)	ขนาดปั๊ม	LO = 23 GPM
	A = 19.6 in^2		HI = 7 GPM
ความดัน	140 kg/cm^2 (2,000 PSI)	มอเตอร์ไฟฟ้า	7.5 HP

2. เครื่องเพรส 180 ตัน



ภาพที่ 9.9 วงจรเครื่องเพรส 180 ตัน

ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงษ์, 2547, หน้า 156)

หลักการทำงานของวงจรเครื่องเพรส 180 ตัน

เมื่อกดสตาร์ทเพื่อให้ปั๊มความดันสูง (5) และความดันต่ำ (6) กระบอกสูบเลื่อนลงทำงาน จะต้องให้มีไฟป้อนที่ sol 1, sol 3 และ sol 4 (sol 3 และ sol 4 ทำงาน ทำให้มีความดันเกิดขึ้นที่รีลีฟวาล์ว (1) และ unloading valve (2)) ทำให้น้ำมันจากปั๊มทั้งสองตัวไหลลงถังไม่ได้

น้ำมันจึงถูกส่งน้ำมันเข้าไปในกระบอกสูบด้านหัวลูกสูบให้ลูกสูบเลื่อนลง ในขณะที่ลูกสูบเลื่อนลงนั้น จะมีความดันน้ำมันด้านก้านสูบสูงขึ้นจนถึงค่า 30 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ทำให้ sequence valve (3) เปิด ดังนั้นน้ำมันจึงย้อนกลับไปเข้ากระบอกสูบด้านหัวลูกสูบอีกครั้งหนึ่ง จึงทำให้ความเร็วลูกสูบเพิ่มขึ้น (วงจร regenerative) เมื่อลูกสูบวิ่งลงมาอัดแม่พิมพ์ จะทำให้มีความดันด้านลูกสูบเพิ่มขึ้นเป็น 70 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ทำให้ sequence valve (4) เปิด น้ำมันด้านก้านสูบก็จะไหลลงถังน้ำมัน (ตัดวงจร regenerative ออก) และขณะเดียวกัน unloading valve (2) ก็จะเปิดให้น้ำมันจากปั๊ม (6) ไหลลงกลับถังน้ำมันด้วย คงเหลือแต่ปั๊ม (5) (เป็นปั๊มที่มีอัตราการไหลต่ำกว่าปั๊ม (6) แต่มีความดันสูงกว่าปั๊ม (6)) ส่งน้ำมันเข้าระบบเพียงตัวเดียว เมื่อลูกสูบเลื่อนลงอัดแม่พิมพ์ตัวล่าง จะทำให้ความดันเพิ่มสูงขึ้นอีกเป็น 200 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ทำให้สวิตซ์ความดัน (7) ตัดสัญญาณของ sol 1 , sol 2 และ sol 3 ดังนั้นวาล์ว (8) จึงอยู่ในตำแหน่งกลาง ในขณะนี้ความดันด้านลูกสูบจะค่อย ๆ ลดลง โดยระบายน้ำมันผ่านทางวาล์ว (9) และปั๊ม (5) ก็ส่งน้ำมันลงถังโดยตรงโดยผ่านทางวาล์ว (8) หรือผ่านทางรีลีฟวาล์ว (1) ซึ่งมีความดันเพียง 40 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร เท่านั้น (ตั้งค่า remote valve (10) ไว้เพียง 40 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ส่วนปั๊ม (6) จะส่งน้ำมันลงถังโดยตรงทางวาล์ว (8) หรือผ่านทางวาล์ว (2) ก็ได้

เมื่อสวิทซ์ความดันต่อสัญญาณไฟเข้า sol 2, sol 3 และ sol 4 อีกครั้งหนึ่ง ทำให้น้ำมันจากปั๊มทั้งสองตัวส่งน้ำมันเข้ากระบอกสูบทางด้านก้านสูบเพื่อให้ลูกสูบถอยกลับที่เดิม ในขณะนี้ถ้าไม่มีการระบายน้ำมันจากด้านลูกสูบออกลงถังน้ำมันก่อนหน้านี้จะทำให้เกิดเสียงดังมาก น้ำมันทางด้านก้านสูบจะระบายออกทางไพลอตเช็กวาล์ว (11) โดยเอาความดันจากด้านก้านสูบของกระบอกสูบ จึงสามารถระบายน้ำมันออกได้อย่างรวดเร็ว เมื่อกระบอกสูบถอยกลับสุดแล้วจึงตัดสัญญาณ sol 2, sol 3 และ sol 4 ออก เพื่อให้ปั๊มทั้งสองอยู่ในสภาวะ unloading ต่อไป การทำงานก็จะเริ่มต้นใหม่ได้อีกครั้งหนึ่ง

จากวงจรดังกล่าวนี้จะหาขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างไร เมื่อให้ความเร็วของกระบอกสูบจังหวะวิ่งเข้าหาเท่ากับ 130 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วจังหวะอัดชิ้นงานเท่ากับ 5.5 mm/sec ส่วนจังหวะหดกลับได้มีความเร็วเท่ากับ 130 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้ความดันในระบบเท่ากับ 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (210 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

รายการในการคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ในวงจรเครื่องเพรส 180 ตัน

$$F = 180 \text{ ton}$$

$$= 180 \times 1{,}000$$

$$= 180{,}000 \text{ kg}$$

จากสูตร F = PA

$$A = \frac{F}{P}$$

$$A = \frac{180{,}000}{210}$$

$$= 857.14 \ \text{cm}^2$$

จากสูตร $$D = \sqrt{\frac{A \times 4}{3.14}}$$

$$= \sqrt{\frac{857.14 \times 4}{3.14}}$$

$$= \sqrt{1{,}091.90}$$

$$= 33 \ \text{cm}$$

$$Q = VA$$

$$Q = 130 \times 857.14 \times 0.006$$

$$= 668.56 \ \text{LPM}$$

ถ้าให้ Q ลดลงเหลือ 300 LPM จะได้

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{300}{857.14 \times 0.006}$$

$$= 58.33 \ \text{mm/sec}$$

แต่เนื่องจากความเร็วนี้เมื่อทำเป็นวงจร regenerative จะได้ความเร็วเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า ดังนั้น

$$HP = \frac{kgf/cm^2 \times LPM}{450 \times 0.9}$$

$$= \frac{50 \times 300}{450 \times 0.9}$$

$$= 37.03$$

$$= 40 \ \text{HP}$$ คือ แรงม้าในจังหวะกระบอกสูบวิ่งออก

$$HP = \frac{kgf/cm^2 \times LPM}{450 \times 0.9}$$

$$= \frac{210 \times 28.28}{450 \times 0.9}$$

$$= 14.66$$ คือ แรงม้าในจังหวะอัดชิ้นงาน

ค่า 28.28 LPM มาจาก Q = VA

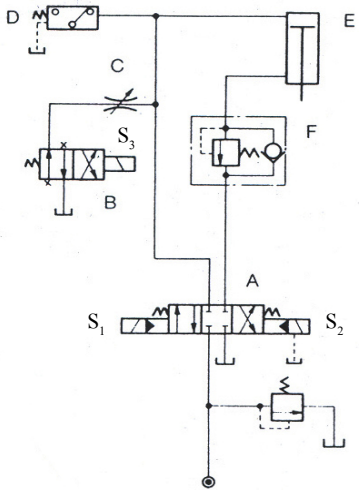
= $5.5 \times 857.14 \times 0.006$

= 28.28 LPM

สรุป ขนาดแรงม้าที่ใช้ในระบบ = 40 HP

วงจรลดแรงอัด

วงจรลดแรงอัดที่แสดงในภาพที่ 9.10 เป็นวิธีที่จะช่วยลดความดันสูงในท่อทางที่ต่อกับกระบอกสูบอัดชิ้นงานในเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอาการช็อคจากความดันน้ำมันที่สูงมากหลังจากอัดชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว และต้องการเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วควบคุมทิศทางเพื่อให้กระบอกสูบเลื่อนถอยกลับ ถ้าไม่มีวิธีลดแรงอัดการทำงานของวาล์วควบคุมทิศทางในช่วงดังกล่าวจะทำให้เกิดเสียงดังมากในท่อทาง



ภาพที่ 9.10 วงจรลดแรงอัดด้วยวิธีควบคุมทางไฟฟ้า

ที่มา (ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ และปานเพชร ชินินทร, 2539, หน้า 473)

จากภาพที่ 9.10 เป็นวงจรลดแรงอัดในเครื่องไฮดรอลิกส์ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยระบบไฟฟ้า เมื่อกดสตาร์ทให้เครื่องอัดทำงาน จะมีไฟป้อนเข้าโซลีนอยด์ S_1 ด้านซ้ายมือของวาล์ว A วาล์วจะเปลี่ยนตำแหน่งให้น้ำมันจากปั๊มส่งเข้ากระบอกสูบทำให้ก้านสูบเลื่อนออกไปอัดชิ้นงาน การเลื่อนออกจะเป็นไปอย่างนิ่มนวลด้วย ในขณะที่อัดชิ้นงาน ความดันในท่อทางจะ

สูงขึ้นจนถึงค่าที่ปรับตั้งไว้ที่สวิทซ์ ความดัน (วาล์ว D) ซึ่งถูกปรับตั้งให้ทำงานด้วยความดันเดียวกับที่ต้องการให้อัดชิ้นงาน เมื่อสวิทซ์ความดันทำงาน จะช่วยตัดไฟที่ป้อนเข้าโซลีนอยด์ S_1 ของวาล์ว A ด้านซ้ายมือและป้อนไฟเข้าโซลีนอยด์ S_3 ของวาล์ว B น้ำมันในท่อทางก็จะค่อย ๆ ลดลง การเลื่อนกลับตำแหน่งกลางของวาล์ว A ก็จะไม่มีผลทำให้เกิดอาการช็อคขึ้น เสียงดังในท่อทางก็จะไม่เกิด และเมื่อสตาร์ตให้ก้านสูบเลื่อนถอยกลับ จะมีไฟป้อนเข้าโซลีนอยด์ S_2 ของวาล์ว A ด้านขวามือ และตัดไฟที่ป้อนเข้าโซลีนอยด์ S_3 ของวาล์ว B ก้านสูบจะเลื่อนถอยกลับ ส่วนวาล์ว F นั้นจะเป็นวาล์วกันตกของก้านสูบในกรณีที่วงจรไม่ทำงาน

วิธีบำรุงรักษาและแก้ไขปัญหาในระบบไฮดรอลิกส์

วิธีบำรุงรักษาและแก้ไขปัญหาในระบบไฮดรอลิกส์ (maintenance management and troubleshooting) ซึ่ง ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ และปานเพชร ชินินทร (2539, หน้า 541-546) ได้กล่าวถึงวิธีการบำรุงรักษาไว้ดังนี้

1. วิธีการบำรุงรักษาระบบไฮดรอลิกส์ แสดงดังตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.1 แสดงวิธีการบำรุงรักษาระบบไฮดรอลิกส์

สิ่งที่ควรตรวจสอบ	ช่วงเวลาที่ตรวจสอบ	วิธีการและจุดประสงค์ในการตรวจสอบ
ปั๊มมีเสียงดังผิดปกติ	1 ครั้ง/วัน	ตรวจสอบสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ โดยการฟังเสียงและสังเกตดู - ฟองอากาศปนในน้ำมัน - สเตรนเนอร์อุดตัน - การสึกหรอของอุปกรณ์ชิ้นใดชิ้นหนึ่งในปั๊ม
ระดับสุญญากาศในท่อดูดของปั๊ม	1 ครั้ง/3 เดือน	ตรวจสอบโดยดูว่าความดันสุญญากาศจากเกจวัดสุญญากาศที่ติดใกล้กับท่อดูดของปั๊มเพื่อตรวจสอบดูการอุดตันที่สเตรนเนอร์
อุณหภูมิที่ตัวปั๊ม	1 ครั้ง/3 เดือน	ตรวจสอบเพื่อดูว่ามีการสึกหรอที่อุปกรณ์หรือแบริ่งหรือไม่
ความดันในการส่งน้ำมันของปั๊ม	1 ครั้ง/3 เดือน	ตรวบสอบเพื่อดูว่ามีการสึกหรอที่อุปกรณ์หรือไม่

ตารางที่ 9.1 แสดงวิธีการบำรุงรักษาระบบไฮดรอลิกส์ (ต่อ)

สิ่งที่ควรตรวจสอบ	ช่วงเวลาที่ตรวจสอบ	วิธีการและจุดประสงค์ในการตรวจสอบ
เสียงผิดปกติที่คัปปลิ้งต่อเพลามอเตอร์ขับปั๊ม	1 ครั้ง/6 เดือน	ตรวจสอบโดยการฟังเสียงแล้วตรวจดูการสึกหรอและดูศูนย์หรือแนวของเพลาขับปั๊มว่าผิดไปหรือไม่
คัปปลิ้งที่ใช้งานมานาน – ดูการชำรุด	1 ครั้ง/1 ปี	เปลี่ยนจาระบีสำหรับคัปปลิ้งแบบโซ่
สเตรนเนอร์ท่อดูดและบริเวณปลายท่อดูดที่ใช้ต่อ	1 ครั้ง/3 เดือน	ทำความสะอาดสเตรนเนอร์ที่ท่อดูดด้วยน้ำยาแล้วเป่าโดยใช้ลมเป่าจากด้านในออกมา
มอเตอร์มีเสียงผิดปกติ	1 ครั้ง/3 เดือน	ตรวจสอบโดยการฟังเสียงเพื่อดูว่ามีการสึกหรอที่อุปกรณ์หรือไม่
เกจวัดความดันที่ติดตั้งในบริเวณต่าง ๆ ของวงจร	1 ครั้ง/6 เดือน	ตรวจสอบเพื่อดูการทำงานของวงจรว่าปกติหรือไม่และมีการสึกหรอที่อุปกรณ์ใด ๆ รวมทั้งตรวจสอบการทำงานและการสึกหรอของเกจ
ความเร็วของอุปกรณ์การทำงาน	1 ครั้ง/6 เดือน	ตรวจสอบเพื่อดูการทำงานผิดปกติหรือไม่และการรั่วซึมภายในเพิ่มขึ้นหรือไม่ อันเนื่องมาจากการสึกหรอของอุปกรณ์
จังหวะการทำงานของเครื่องจักรและระยะเวลาที่โหลดปั๊ม	1 ครั้ง/6 เดือน	ตรวจสอบเพื่อดูว่าอุปกรณ์ใดทำงานผิดปกติหรือไม่และดูว่ามีการรั่วซึมภายในเพิ่มขึ้นหรือไม่อันเนื่องมาจากการสึกหรอของอุปกรณ์
ปะเก็นที่อุปกรณ์การทำงาน	1 ครั้ง/ปี	เปลี่ยนปะเก็นใหม่
อุณหภูมิที่แบริ่ง	1 ครั้ง/6 เดือน	ตรวจสอบเพื่อดูการสึกหรอของแบริ่ง
ความดันของแก๊สในถังสะสมพลังงานเมื่อเริ่มทำงาน	1 ครั้ง/3 เดือน	ถ้าลดลง ให้ตรวจดูการรั่วโดยใช้ฟองสบู่

ตารางที่ 9.1 แสดงวิธีการบำรุงรักษาระบบไฮดรอลิกส์ (ต่อ)

สิ่งที่ควรตรวจสอบ	ช่วงเวลาที่ตรวจสอบ	วิธีการและจุดประสงค์ในการตรวจสอบ
เกจวัดความดัน เทอร์โมมิเตอร์ จังหวะในการทำงาน	1 ครั้ง/ปี	ตรวจสอบความถูกต้อง และปรับให้ได้ค่าตามมาตรฐานที่กำหนด
สายไฮดรอลิกส์	1 ครั้ง/6 เดือน	ตรวจสอบว่ามีรอยฉีกขาดเสียหายหรือไม่
ซีลในอุปกรณ์ต่าง ๆ และซีลในระบบท่อทาง	1 ครั้ง/6 เดือน	ตรวจสภาพซีลโดยดูว่ามีการรั่วซึมเกิดขึ้นหรือไม่
อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน	1 ครั้ง/6 เดือน	สำหรับอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบใช้อากาศให้ทำความสะอาดอุปกรณ์ระบายความร้อน และสำหรับอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่ใช้น้ำมันหล่อเย็นให้ทำความสะอาดภายในหม้อน้ำ
เกลียวข้อต่ออุปกรณ์และที่ยึดท่อ	1 ครั้ง/6 เดือน	ในระบบที่มีการสั่นสะเทือนมาก ๆ ควรตรวจสอบให้อยู่ในสภาพแข็งแรง ยึดแน่นเสมอ
ระบบไฮดรอลิกส์ทั้งระบบ	1ครั้ง/ปี	ถอดอุปกรณ์ออกตรวจสภาพ และทำความสะอาดภายในท่อทาง
สภาพน้ำมันไฮดรอลิกส์	1 ครั้ง/3 เดือน	เปลี่ยนถ่ายน้ำมันถ้ามีสภาพไม่ได้มาตรฐาน
อุณหภูมิของน้ำมัน	1 ครั้ง/วัน	ถ้าอุณหภูมิผิดปกติ ให้ตรวจหาสาเหตุและแก้ไข
ระดับน้ำมันในถังพัก	1 ครั้ง/เดือน	เติมน้ำมันมีระดับลดลง และถ้าลดลงผิดปกติให้ตรวจสอบหาจุดรอยรั่ว
น้ำมันมีน้ำปะปน	1 ครั้ง/3 เดือน	ถอดปลั๊กระบายของถังพัก เพื่อระบายน้ำออก
การป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วในระบบปริมาณกระแสไฟฟ้าป้อนวงจร	1 ครั้ง/ปี 1 ครั้ง/3 เดือน	ถ้าหากไฟฟ้ารั่ว ให้ตรวจสอบมอเตอร์ สายลวดโซลีนอยด์วาล์ว สวิตซ์จำกัด ฯลฯ เพื่อหาสาตุ ตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าสูงเกินกำหนด

ที่มา (ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ และปานเพชร ชินินทร, 2539, หน้า 541-542)

2. ปัญหาที่เกิดกับปั๊มไฮดรอลิกส์ แสดงดังตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9.2 แสดงปัญหา สาเหตุ และวิธีการแก้ไขที่เกิดกับปั๊มไฮดรอลิกส์

ปัญหา	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
ปั๊มไม่สามารถส่งน้ำมันตามปกติ (ถ้าให้ปั๊มทำงานต่อไปในสภาพดังกล่าว จะทำให้เสียสภาพการหล่อลื่นและเกิดการสึกหรอ ดังนั้นจึงควรหยุดแล้วหาทางแก้ไข)	1. ปั๊มหมุนกลับทาง	ให้ติดตั้งปั๊มใหม่ให้หมุนตามทิศทางที่สเป็คของปั๊มกำหนด
	2. เพลาไม่หมุนหรือหมุนได้ไม่เต็มที่	ใส่สลักเพลาให้ถูกต้อง และขันคัปปลิ้งให้แน่น
	3. สเตรนเนอร์หรือท่อดูดอุดตัน	ทำความสะอาด
	4. มีการั่วซึมที่ท่อดูด	ตรวจสอบข้อต่อ แล้วขันให้แน่นรวมทั้งเปลี่ยนปะเก็นที่ชำรุด
	5. น้ำมันมีความหนืดมากเกินไป	เปลี่ยนมาใช้น้ำมันที่มีความหนืดพอเหมาะและอุ่นน้ำมันด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนก่อนในกรณีที่ระบบทำงานที่สภาพอากาศหนาวเย็น
	6. ติดตั้งปั๊มสูงจากระดับน้ำมันมากเกินไป	ควรจัดให้ปั๊มอยู่ในระดับใกล้ระดับน้ำมัน คือไม่ติดตั้งสูงเกินกว่า 3 ฟุตน้ำมัน
	7. ความเร็วรอบการหมุนผิดปกติ	ปรับความเร็วให้ตรงตามสเป็คของปั๊ม
	8. ใบเวนเกิดการเสียหายหรือไม่เคลื่อนตัวอยู่ภายในร่องของโรเตอร์ (ในกรณีที่ใช้ปั๊มแบบเวน)	ถอดอุปกรณ์ออกทำความสะอาดและเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เสียหายประกอบให้ถูกต้อง
	9. อัตราส่งน้ำมันหรือปริมาตรจุภายในปั๊มแบบปรับค่าได้อาจถูกปรับค่าได้อาจถูกปรับไว้ที่ค่าศูนย์	ปรับตั้งค่าปริมาตรจุของปั๊มใหม่
	10. ชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในปั๊มเกิดการชำรุดเสียหายหรือสึกหรอไป	เปลี่ยนชิ้นส่วนที่ชำรุด หรือสึกหรอมากเกินไปใหม่

ตารางที่ 9.2 แสดงปัญหา สาเหตุ และวิธีการแก้ไขที่เกิดกับปั๊มไฮดรอลิกส์ (ต่อ)

ปัญหา	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
ปั๊มมีเสียงดัง ข้อที่ 1-9 เป็นปัญหาที่เกิดจากอาการคาวิเตชั่น ข้อ 10-18 เป็นปัญหาที่เกิดจากอาการอะเรชั่น ข้อที่ 19-24 เป็นปัญหาที่เกิดจากกรณีอื่น ๆ	1. สเตรนเนอร์หรือท่อดูดอุดตัน	ทำความสะอาด
	2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อดูดเล็กเกินไปหรือท่อยาวเกินไปหรือมีข้อต่องอมากเกินไป	เปลี่ยนท่อและลดจำนวนข้อต่อให้งอน้อยลงเพื่อให้ระดับสุญญากาศในท่อดูดไม่สูงเกินกว่าที่กำหนด (สุญญากาศในท่อดูดไม่ควรเกิดขึ้นเกินกว่า 5 นิ้วปรอท)
	3. สเตรนเนอร์ที่ท่อดูดมีขนาดไม่พอเหมาะใช้ขนาดเล็กเกินไป	ใช้สเตรนเนอร์ที่ให้อัตราการไหลผ่านเป็น 2 เท่าหรือกว่านั้นของอัตราการไหลของน้ำมันในท่อดูด
	4. ติดตั้งปั๊มสูงจากระดับน้ำมันมากเกินไป	ลดระดับน้ำมัน เพื่อไม่ให้ระดับสุญญากาศในท่อดูดสูงเกินกำหนด
	5. บูชของปั๊มเกิดการเสียหายหรือหลวม	เปลี่ยนหรือซ่อมบูชของปั๊มใหม่
	6. น้ำมันมีความหนืดมากเกินไป	เปลี่ยนมาใช้น้ำมันที่มีความหนืดพอเหมาะ
	7. อุณหภูมิในการทำงานของน้ำมันต่ำเกินไป	อุ่นน้ำมันด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนในกรณีที่ระบบต้องทำงานที่สภาพอากาศหนาวเย็น
	8. ความเร็วรอบที่ใช้ในการขับปั๊มเร็วเกินไป	ปรับความเร็วให้ตรงตามสเป็คของปั๊ม
	9. ช่องระบายอากาศบนถังพักน้ำมันอุดตัน	ทำความสะอาดช่องระบายอากาศ เปลี่ยนไส้กรองอากาศถ้าสกปรกมาก
	10. อากาศรั่วไหลเข้าในท่อดูด	ทำความสะอาดช่องระบายอากาศ เปลี่ยนไส้กรองอากาศถ้าสกปรกมาก
	11. มีฟองอากาศในถังพักน้ำมัน	ในกรณีที่น้ำมันมีความเร็วสูง ให้วางปากท่อไหลกลับสู่ต่ำกว่าระดับน้ำมันในถังพักแล้วตรวจเช็คข้อต่อให้แน่น - ปรับสภาพถังพักน้ำมัน เช่น ใช้แผ่นกั้นในถังพัก - ถ้าระดับน้ำมันต่ำเกินไปให้เติมน้ำมันอีก

ตารางที่ 9.2 แสดงปัญหา สาเหตุ และวิธีการแก้ไขที่เกิดกับปั๊มไฮดรอลิกส์ (ต่อ)

ปัญหา	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
	12. ระดับน้ำมันในถังพักต่ำเกินไป	เติมให้ได้ระดับตามกำหนด
	13. ซีลที่เพลาของปั๊มเกิดการสึกหรอและรั่วซึม	เปลี่ยนซีลใหม่
	14. ท่อน้ำมันไหลกลับที่ต่อลงถังอยู่สูงกว่าระดับน้ำ	ติดตั้งใหม่โดยต่อให้ปลายท่อไหลกลับอยู่ในระดับต่ำกว่าผิวน้ำมัน สูงจากก้นถังประมาณ 2 นิ้ว ปลายท่อควรบากเป็นมุม 45^{o} หันด้านบากเข้าหาผนังด้านข้าง
	15. อากาศไม่ถ่ายเทออกนอกปั๊ม	ลดโหลดปั๊ม จนอากาศระบายออกหมด
	16. ท่อน้ำมันรั่วหรือข้อต่อต่าง ๆ ในระบบท่อขันไม่แน่น	ขันให้แน่น
	17. มีฟองอากาศในท่อทาง	ในวงจรปิด ควรใช้วงจรที่มีการระบายอากาศออกจากท่อ
	18. ความเร็วของน้ำมันในท่อไหลกลับลงถังสูงเกินไป	เปลี่ยนท่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ให้ได้ความเร็วในท่อไหลกลับตามที่กำหนด
	19. ความดันสูงเกินกำหนด	เลือกใช้ปั๊มให้เหมาะสมกับความดันที่ใช้งานและปรับตั้งค่าความดันใช้งานให้เป็นไปตามสเป็คของปั๊ม
	20. มีเสียงดังบริเวณคัปปลิ้ง	ปรับแนวข้อต่อเพลาให้ได้ศูนย์ หรือเปลี่ยนคัปปลิ้ง
	21. ชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในปั๊มเกิดการชำรุดเสียหายหรือสึกหรอไป	เปลี่ยนชิ้นส่วนที่ชำรุดหรือสึกหรอมากเกินไปใหม่
	22. แบริ่งชำรุด	เปลี่ยนแบริ่งใหม่
	23. วาล์วแบ่งความดันในปั๊มเวนชนิด 2 สเตจทำงานผิดปกติ	ถอดวาล์วออกทำความสะอาด
	24. อุปกรณ์ปรับอัตราส่งน้ำมันทำงานผิดปกติ	เปลี่ยนหรือซ่อมอุปกรณ์

ตารางที่ 9.2 แสดงปัญหา สาเหตุ และวิธีการแก้ไขที่เกิดกับปั๊มไฮดรอลิกส์ (ต่อ)

ปัญหา	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
อัตราส่งน้ำมันไม่เพียงพอ	1. ชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในปั๊มเกิดการชำรุดเสียหาย	เปลี่ยนชิ้นส่วนที่ชำรุด
	2. เกิดอาการคาวิเตชั่น	แก้ไขปัญหาที่เกิดจากอาการคาวิเตชั่น
	3. เกิดอะเรชั่น	แก้ไขปัญหาที่เกิดจากอาการอะเรชั่น
	4. อุปกรณ์ปรับอัตราส่งน้ำมันหรือปรับค่าปริมาตรจุทำงานผิดปกติ (สำหรับปั๊มแบบปรับค่าอัตราการไหลได้)	เปลี่ยนหรือซ่อมอุปกรณ์
	5. วาล์วแบ่งความดันทำงานผิดปกติ (สำหรับปั๊มเวนชนิด 2 สเตจ)	เปลี่ยนหรือทำความสะอาดวาล์ว
	6. น้ำมันมีความหนืดไม่พอเหมาะ	เปลี่ยนมาใช้น้ำมันที่มีความหนืดพอเหมาะ
อุณหภูมิในการทำงานสูงขึ้นจนผิดปกติ	1. เกิดการรั่วภายในมากทำให้ปริมาตรของน้ำมันไม่เพียงพอ	ซ่อมแซมบริเวณที่รั่ว
	2. ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่เกิดความร้อนสูง	ซ่อมแซมบริเวณที่ชำรุด
	3. แบริ่งชำรุด	เปลี่ยนแบริ่ง
น้ำมันรั่วซึมบริเวณซีลที่เพลา	1. ซีลหรือเพลาชำรุด	เปลี่ยนซีลหรือเพลา
	2. ความดันที่ซีลของเพลาสูงเกินไปเนื่องจากเกิดการรั่วภายใน	ซ่อมแซมส่วนที่ชำรุด
	3. ท่อระบายภายนอกอุดตัน	ทำความสะอาดท่อทาง
	4. ท่อระบายภายนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่พอดีหรือมีความยาวมากเกินไป	เปลี่ยนมาใช้ท่อที่มีขนาดพอเหมาะ
	5. เกิดการระบายภายนอกมากเกินไป	ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ

ตารางที่ 9.2 แสดงปัญหา สาเหตุ และวิธีการแก้ไขที่เกิดกับปั๊มไฮดรอลิกส์ (ต่อ)

ปัญหา	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
ชิ้นส่วนอุปกรณ์ชำรุดหรือร้อนจัดอย่างรวดเร็วหรือมีอายุการใช้งานต่ำ	1. น้ำมันไฮดรอลิกส์มีสิ่งสกปรกปะปน	เปลี่ยนถ่ายน้ำมันหรือเพิ่มฟิลเตอร์
	2. มีน้ำและฟองอากาศผสมอยู่ในน้ำมัน	ซ่อมแซมชิ้นส่วนที่ทำให้น้ำและฟองอากาศรั่วไหลเข้าไปในน้ำมัน
	3. น้ำมันไฮดรอลิกส์มีคุณภาพไม่เหมาะสมกับอุปกรณ์	เปลี่ยนน้ำมันไฮดรอลิกส์ เลือกใช้ชนิดที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ตามที่บริษัทกำหนด
	4. ปั๊มทำงานด้วยความเร็วผิดปกติ	ปรับความเร็วให้พอเหมาะโดยเฉพาะในกรณีที่ใช้น้ำมันไฮดรอลิกส์ ประเภทมีน้ำเป็นส่วนผสม

ที่มา (ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ และปานเพชร ชินินทร, 2539, หน้า 543-546)

สรุป

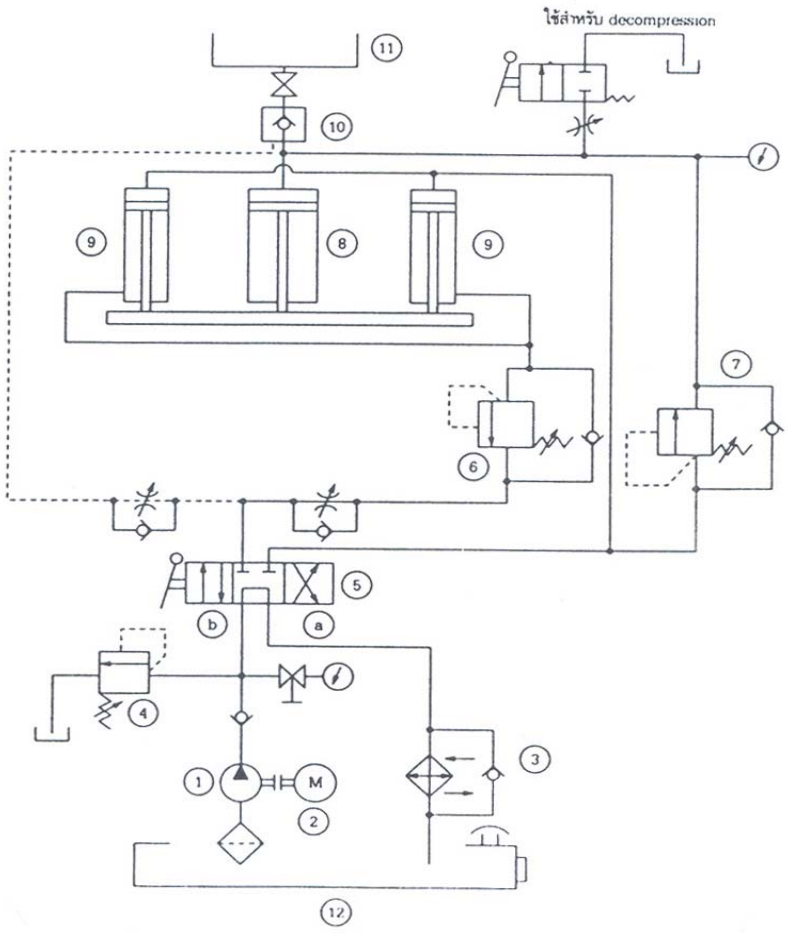
การออกแบบวงจรและการกำหนดขนาดอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์ จะเห็นว่า การใช้สัญลักษณ์แทนแล้วจึงกำหนดขนาดและทิศทางการไหลของน้ำมันลงในอุปกรณ์แต่ละตัว เพื่อให้มีความสอดคล้องกับ เครื่องจักรที่ได้ทำการออกแบบ ส่วนการเอาระบบไฮดรอลิกส์ไปใช้งานกับเครื่องจักรจะต้องนำเอาอุปกรณ์ต่าง ๆ มาต่อรวมกันเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องจักรให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ การนำวงจรระบบไฮดรอลิกส์ไปใช้งานนั้นมีหลายรูปแบบด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ ถ้าเป็นงานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน วงจรที่ใช้จะเป็นแบบธรรมดา

แบบฝึกหัด

1. เพราะอะไรจึงมีการออกแบบวงจรและกำหนดขนาดอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์
2. เครื่องจักรที่ใช้ระบบไฮดรอลิกส์ในงานอุตสาหกรรมของประเทศไทยโดยทั่วไปที่วิศวกรหรือช่างเทคนิคเกี่ยวข้องมีอยู่ 3 ประการ มีอะไรบ้างและจงอธิบายมาให้เข้าใจ
3. การออกแบบวงจรและสร้างเครื่องจักรที่ดีต้องมีคุณสมบัติอะไรบ้าง
4. จงบอกขั้นตอนการออกแบบวงจรไฮดรอลิกส์และการกำหนดขนาดอุปกรณ์มาให้เข้าใจ
5. ปั๊มไฮดรอลิกส์มีเสียงดังผิดปกติจะมีวิธีการและจุดประสงค์ในการตรวจสอบอย่างไร
6. มีเสียงผิดปกติที่คับปลิ้งของเพลามอเตอร์ขับปั๊มไฮดรอลิกส์จะมีวิธีการและจุดประสงค์ในการตรวจสอบอย่างไร
7. ปั๊มไฮดรอลิกส์หมุนกลับทางเกิดจากสาเหตุอะไร
8. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อดูดเล็กเกินไปหรือท่อยาวเกินไปหรือมีข้อต่อมากเกินไป จะมีวิธีแก้ไขอย่างไร
9. น้ำมันรั่วบริเวณซีลเพลามากเกินไปเกิดจากสาเหตุอะไรและมีวิธีแก้อย่างไร
10. จากภาพเครื่องเพรส 300 ตัน

    รายการอุปกรณ์ของวงจรเครื่องเพรส 300 ตัน

    (1) ปั๊มไฮดรอลิกส์
    (2) มอเตอร์ไฟฟ้า
    (3) ตัวระบายความร้อน
    (4) รีลีฟวาล์ว
    (5) วาล์วมือโยก
    (6) counter balance valve
    (7) sequence valve
    (8) กระบอกสูบ
    (9) กระบอกสูบ
    (10) prefill valve
    (11) ถังน้ำมันส่วนบน
    (12) ถังน้ำมันส่วนล่าง



ภาพวงจรเครื่องเพรส 300 ตัน

จากภาพเครื่องเพรส 300 ตัน โดยมีรายการในการคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ในวงจร ดังนี้

- กำหนดให้แรงของกระบอกสูบ = 300 ton
- ความดันในระบบ = 2,000 PSI (140 kgf/cm^2)
- ความเร็วในการวิ่งเข้าหา = 6 cm/sec (60 mm/sec)
- ความเร็วอัด = 0.66 cm/sec (6.66 mm/sec)

จงตอบปัญหาดังต่อไปนี้

4.1 อธิบายหลักการทำงานของวงจรเครื่องเพรส 300 ton

4.2 หาขนาดความโตของกระบอกสูบ (cm)

4.3 หาขนาดปั๊มไฮดรอลิกส์ (Q = lit/min)

4.4 หาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า (h.p.)

4.5 หาขนาดของปั๊มน้ำมันไฮดรอลิกส์ (lit)

เอกสารอ้างอิง

ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ และปานเพชร ชินินทร. (2539). **ไฮดรอลิกส์อุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

ณรงค์ ตันชีวะวงศ์. (2540). **ระบบไฮดรอลิกส์.** กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

_____. (2544). **ไฮดรอลิกส์อุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

_____. (2546). **ไฮดรอลิกส์อุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

_____. (2547). **รวมวงจรนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์.** กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย- ญี่ปุ่น).

ฟุคุนางะ อิจิโระ. (2543). **เทคนิคการบำรุงรักษาเครื่องจักรกล.** กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

มนตรี โชติวรวิทย์, และชนินทร์ นุ่มศิริ. (2545). **หลักการทำงานและเทคนิคการประยุกต์ใช้งานไฮดรอลิกส์.** กรุงเทพฯ:วิทยาลัยเทคนิคปทุมวัน.

วิทยา ดีวุ่น. (2546). **งานนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์เบื้องต้น.** กรุงเทพฯ:ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ กระทรวงศึกษาธิการ.

Gofz , W. (1984). **Hydraulics:theory and applications from bosch.** Stuttgart, Germany: Robert Bosch Comblt.

Vesta. (2002). **Didactics.** n.p.: n.p.