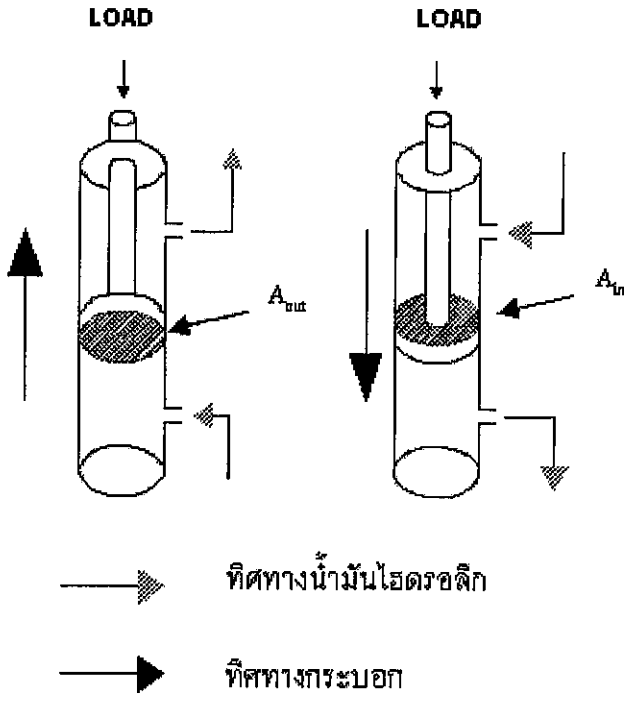
บทที่ 2
เนื้อหาทฤษฎีพื้นฐาน

ในระบบไฮดรอลิกทั่วไปการเลือกใช้อุปกรณ์การทำงานถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่ง ระบบไฮดรอลิกจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อการเลือกใช้ขนาดและชนิดของอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง ในบทนี้จะกล่าวถึงการเลือกใช้อุปกรณ์การทำงานที่จะใช้สำหรับการพัฒนาระบบไฮดรอลิกในรถแฮนด์ลิฟท์

2.1.กระบอกสูบไฮดรอลิก(HYDRUALIC CYLINDER)

กระบอกสูบไฮดรอลิกมีหน้าที่ในการรับน้ำมันที่ส่งมาจากปั๊มและวาล์วควบคุมต่างๆ เพื่อเปลี่ยนกำลังงานไฮดรอลิกให้เป็นกำลังงานกล โดยการเปลี่ยนความดันและความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิกในท่อทางให้เป็นการเคลื่อนที่ของลูกสูบทำให้เกิดงานขึ้น โดยในการใช้งานในการพัฒนาระบบไฮดรอลิกของรถแฮนด์ลิฟท์เราจะใช้กระบอกสูบแบบ 2 ทาง ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 การทำงานของกระบอกสูบชนิด 2 ทิศทาง

สูตรในการคำนวณหากระบอกสูบ

เราสามารถคำนวณหาแรง,พื้นที่หน้าตัด และความดัน ในจังหวะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นและเคลื่อนที่ลงได้ดังนี้

แรงที่ทำกับลูกสูบในจังหวะเลื่อนขึ้น = ความดันเกจ × พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

แรงที่ทำต่อลูกสูบในจังหวะเลื่อนลง = ความดันเกจ × พื้นที่หน้าตัดสุทธิ

หรือเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F_{out} = P \times A_{out} \qquad ..(2.1)$$

$$F_{in} = P \times A_{in} \qquad ..(2.2)$$

โดยที่ F_{out} คือ แรงที่ทำกับลูกสูบขณะเลื่อนขึ้น

F_{in} คือ แรงที่ทำกับลูกสูบขณะเลื่อนลง

P คือ ความดันเกจ

A_{out} คือ พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

A_{in} คือ พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (พื้นที่ลูกสูบ – พื้นที่ก้านสูบ)

ความเร็วกระบอกสูบ

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในระบบไฮดรอลิกจะเป็นไปแน่นอนขึ้นอยู่กับอัตราการไหล ซึ่งจะสามารถคำนวณหาความเร็วของลูกสูบได้ดังสมการ 2.3

$$\text{ความเร็วลูกสูบ} = \frac{\text{อัตราการไหลที่ป้อนเข้ากระบอกสูบ}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}}$$

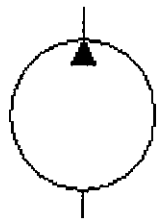
$$V_c = \frac{Q_c}{A} \qquad ..(2.3)$$

โดยที่ V_c คือ ความเร็วของลูกสูบ A คือ พื้นที่หน้าตัด

Q_c คือ อัตราการไหลที่ป้อนเข้ากระบอกสูบ

2.2.ปั๊มไฮดรอลิก

ปั๊มไฮดรอลิกทำหน้าที่เคลื่อนย้ายน้ำมันไฮดรอลิกด้วยการสร้างอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก หรือเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานของเหลวในรูปอัตราการไหลและภายใต้ความดัน กล่าวคือเมื่อให้พลังงานกลไปขับปั๊มให้ทำงาน ปั๊มจะเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานจลน์ในรูปของเหลว ซึ่งมักเรียกกันง่ายๆว่า พลังงานไฮดรอลิก ตามความเข้าใจในหลักการทำงาน น้ำมันไฮดรอลิกจะถูกดูดจากอ่างเก็บน้ำมันแล้วส่งออกไปตามท่อทางในระบบเพื่อใช้งาน การไหลของน้ำมันต้องมีพลังงานศักย์เพียงพอที่จะผ่าความต้านทานภายในของระบบ ความต้านทานการไหลในระบบนี้เองทำให้เกิดความดันในระบบไอดรอลิกขึ้น ซึ่งจะถูกนำไปใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ พลังงานกลที่ใช้ในการขับปั๊มก็คือมอเตอร์นั่นเอง



รูปที่ 2.2 สัญลักษณ์ปั๊มไฮดรอลิก

ปั๊มแบบเวน(Vane Pump)

ปั๊มเวนมีทั้งแบบปั๊มปริมาตรคงที่และปริมาตรปรับค่าได้ โดยสัญลักษณ์ทั่วไปสามารถเขียนได้ดังรูปที่ 2.2 ประกอบด้วยโรเตอร์เซาะเป็นร่องโดยรอบ อยู่ในตำแหน่งเยื้องศูนย์กลาง ความกว้างของร่องขนาดพอดีกับขนาดของใบเวน(vane) ที่สอดอยู่ในร่อง(slot) ซึ่งจะทำให้ใบเวนเลื่อนตัวเข้า-ออกจากร่องได้อย่างอิสระกับเรือนปั๊มรูปแหวน(roter ring) เมื่อโรเตอร์หมุน จะสลัดใบเวนออกจากร่องหรือกางออกด้วยสปริง ใบเวนจะกางออกมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับช่องว่างของเรือนปั๊มรูปแหวน ซึ่งผลจากการที่ใบเวนกางได้มากหรือน้อยจะเกิดส่วนที่กว้างและส่วนที่แคบกับเรือนปั๊มรูปวงแหวน และแยกออกเป็น 2 ห้อง ป้องกันการรั่วไหลของน้ำมันย้อนกลับ ปั๊มเวนและปั๊มชนิดปริมาตรคงที่แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือแบบไม่สมดุลกับไม่สมดุล แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงแบบไม่สมดุลเท่านั้นเพราะเป็นแบบที่เลือกใช้

ปั๊มเวนชนิดไม่สมดุล(umbalanced vane pump) ประกอบด้วยโรเตอร์เซาะร่องตามแนวรัศมี 6-8 ร่อง โรเตอร์อยู่ในตำแหน่งเยื้องจุดศูนย์กลางในเรือนปั๊มรูปวงแหวน ใบเวนสอดอยู่ในร่องเลื่อนเข้า-ออกไปสัมผัสกับด้านในเรือนปั๊ม เมื่อโรเตอร์หมุนพาใบเวนกางออก จะมีช่องว่างเกิดสุญญากาศดูดน้ำมันเข้าไปในช่องว่างระหว่างใบเวน ต่อจากนั้นใบเวนจะหดตัวจมหายเข้าไปในร่องเมื่อโรเตอร์หมุน

ไปในส่วนที่แคบที่สุดภายในเรือนปั๊ม น้ำมันจึงถูกดันให้ออกที่ทางออก ความดันน้ำมันที่ทางออกจะสูงกว่าความดันน้ำมันที่ทางเข้า ทั้งนี้เนื่องมาจากความไม่สมดุลของความดันของโรเตอร์การปรับเลื่อนโรเตอร์ให้เยื้องไปด้านตรงข้ามจากตำแหน่งเดิมจะเปลี่ยนทิศทางการดูดน้ำมันเข้าและส่งน้ำมันออกเป็นตรงข้ามกันได้

อัตราการจ่ายน้ำมันของปั๊ม

โดยทั่วไปสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$GPM = \frac{V_p\left(\frac{in^3}{rev}\right) \cdot RPM \cdot \eta_{V.p}}{231} \qquad ....(2.4)$$

โดยที่ GPM = อัตราจ่ายน้ำมันของปั๊ม หน่วย gallon/min

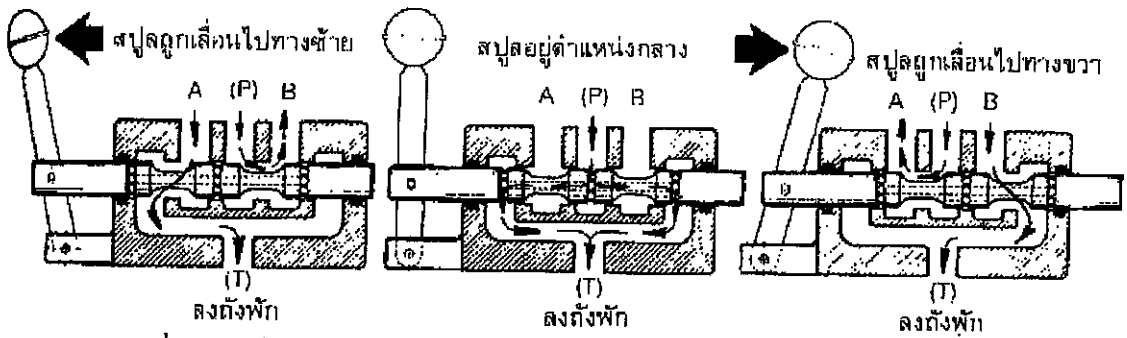
V_p = ปริมาตรจุของปั๊ม หน่วย in^3/rev

RPM = ความเร็วรอบที่ใช้ขับปั๊ม หน่วย rev/min

η_{Vp} = ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของปั๊ม

2.3.วาล์วควบคุมทิศทางแบบสปูลเลื่อน(spool valves)

วาล์วแบบสปูลนี้มีสปูลหรือแกนภายในวาล์วซึ่งเลื่อนไปมาได้รองแกนถูกเลื่อนไปตรงกับช่องต่างๆที่ตัววาล์วต่อถึงกัน น้ำมันก็จะไหลผ่านไปได้และปิดเมื่อร่องแกนผ่านพ้นไป แบบสปูลเลื่อนเป็นที่นิยมใช้มากในวาล์วควบคุมทิศทางของระบบไฮดรอลิกเพราะมีความสมดุลของแรงที่กระทำกับแกน จึงง่ายต่อการควบคุมแม้จะใช้ในระบบที่มีความดันสูง วาล์วแบบสปูลนี้จะมีทั้งแบบ 2, 3, 4 และ 5 ทิศทาง ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงวาล์วควบคุมทิศทางแบบสปูล4ทิศทาง3ตำแหน่งตำแหน่งกลางแบบแทนเดม (tandem center)ที่ใช้ในระบบแฮนด์ลิฟท์ เท่านั้น



รูปที่ 2.3 วาล์วควบคุมทิศทางแบบ4ทิศทาง3ตำแหน่ง ตำแหน่งกลางแบบเทนเดม

วาล์วควบคุมทิศทาง4ตำแหน่ง3ทิศทางตำแหน่งกลางแบบแทนเดมตัวสปูลของวาล์วแบบนี้จะมีร่องอยู่ภายใน(แกนกลาง)เพื่อให้รูต่อน้ำมันเข้าวาล์ว P ต่อกันกับรูต่อน้ำมันไหลกลับ T เมื่อวาล์วอยู่ในตำแหน่งกลางส่วนรูต่อออกไปใช้งานA และ B จะถูกบล็อกปิดทั้ง 2 รู ดังแสดงในรูป 2.3 ตำแหน่งกลางแบบนี้จะช่วยให้ปั๊มไม่ต้องอัดส่งน้ำมันที่ความดัน(ทำงานโอเวอร์โหลด) ในช่วงที่วาล์วอยู่ในตำแหน่งกลางเหมือนกับตำแหน่งกลางปิดหมด เพราะน้ำมันสามารถไหลกลับถังพักได้จึงช่วยลดภาระการทำงานของปั๊มลดลงและไม่เกิดความร้อนสูงในระบบในช่วงที่กระบอกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกไม่ต้องการใช้น้ำมัน ดังนั้นในการควบคุมกระบอกสูบสองทางในวงจรไฮดรอลิกที่ต้องการหยุดที่ขณะใดๆก็ได้ จึงนิยมใช้วาล์ว 4 ทิศทางที่มีตำแหน่งกลางแบบแทนเดมมากกว่าเพราะผลการทำงานที่ได้ออกมาเป็นที่น่าพอใจมากแต่การจะใช้กับระดับความดันต่ำๆเท่านั้นคือมีค่าสูงสุดประมาณ 25 แรงม้า ถ้าใช้กับความดันสูงๆจะเกิดการกระตุกขึ้นเมื่อวาล์วทำงาน หรือในบางวงจรที่ต้องการควบคุมกระบอกสูบ 2 ทางหลายๆตัว ให้ทำงานโดยใช้ปั๊มเพียงตัวเดียวก็ทำได้โดยใช้วาล์วควบคุม 4 ทิศทางโดยใช้ตำแหน่งกลางแบบแทนเดมต่ออนุกรมกัน คือ ใช้รูต่อน้ำมันไหลกับ T-ของวาล์วตัวแรกไปต่อกับรูต่อน้ำมันเข้าวาล์ว P ของตัวถัดไปเป็นต้น

2.4.กรองไฮดรอลิก

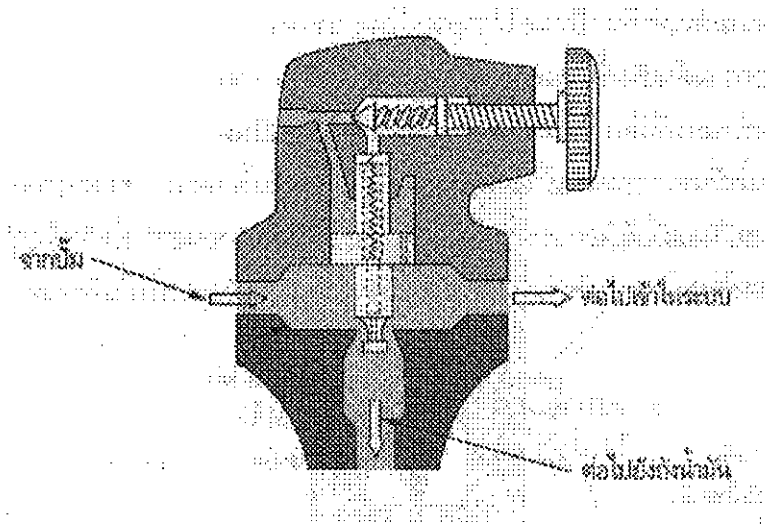
การทำงานในระบบไฮดรอลิก สิ่งสกปรกแปลกปลอมมักเกิดขึ้นกับระบบเสมอ สิ่งสกปรกแปลกปลอมเหล่านี้ได้แก่ฝุ่นละออง น้ำ อากาศ ยางเหนียว จาระบี เศษผงโลหะที่เกิดจากการเสียดสี และสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายใน หรือเป็นสิ่งสกปรกจากภายนอกเล็ดลอดเข้ามาในขณะทำงาน ดังนั้นน้ำมันในระบบไฮดรอลิกจึงมีแต่สิ่งแปลกปลอมที่ไม่พึงประสงค์ ปะปน ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพ ระบบเกิดการขัดข้อง หรือ เสียหายได้ เพื่อป้องกันชิ้นส่วนต่างๆไม่ให้สิ่งสกปรกปลอมปนเข้ามาในระบบ การใช้กรองไฮดรอลิกจึงเป็นวิธีการรักษาความสะอาดให้กับน้ำมันไฮดรอลิกและระบบที่ดีวิธีหนึ่งแบบของการกรอง

แบบของการกรองน้ำมันไฮดรอลิก มีอยู่ 2 แบบคือ การกรองน้ำมันทั้งหมด และการกรองน้ำมันบางส่วน

การกรองน้ำมันทั้งหมด(Full Flow System Filter) กรองจะกลับทางเข้าปั๊มและเส้นทางน้ำมันไหลกลับสู่อ่างเก็บ ดังนั้นน้ำมันทั้งหมดของระบบทั้งหมดจึงผ่านกระบวนการกรองทำความสะอาด ที่กรองมีวาล์วปลดความดัน เพื่อป้องกันความดันสูงที่เกิดในไส้กรอง เมื่อไส้กรองเกิดการอุดตันทำให้น้ำมันผ่านไส้กรองไม่สะดวก ความดันจึงเกิดขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง วาล์วปลดความดันจะเปิดให้น้ำมันไหลออกลงสู่อ่างเก็บโดยไม่ผ่านการกรอง

2.5.วาล์วปลดความดัน

เป็นวาล์วควบคุมความดันที่อยู่ส่วนแรกของวงจรไฮดรอลิกคือติดตั้งไว้ที่ท่อทางน้ำมันไหลออกจากปั๊มก่อนเข้าสู่ระบบ มีหน้าที่คอยควบคุมความดันของวงจรทั้งหมดหรือวงจรบางส่วนที่อยู่ระดับความดันเดียวกันทั้งวงจร ใช้เพื่อจุดประสงค์ในการป้องกันการเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ทั้งหมดในวงจรเนื่องมาจากความดันสูงเกินไปคือ เมื่อความดันในวงจรเพิ่มขึ้นถึงจุดที่กำหนด(set pressure) หรือ



รูปที่2.4 วาล์วปลดความดัน

ปรับตั้งไว้ วาล์วนี้จะเปิดเพื่อระบายน้ำมันที่ทำให้เกิดความดันส่วนเกิน(over pressure) โดยน้ำมันนี้จะดันสปริงของวาล์วให้ยุบตัวเมื่อความดันในระบบสูงขึ้นจนชนะแรงสปริงตัวลูกบอลหรือป๊อปเป็ตหรือสปูลถอยเปิดให้น้ำมันไหลกลับสู่ถังพักได้ ความดันก็จะลดลงและมีค่าคงที่เท่ากับที่ปรับตั้งไว้ วาล์วปลดความดันนี้สามารถแบ่งได้ตามวิธีการควบคุม 2 ประเภทคือ วาล์วปลดความดันแบบไดเรกแอกติง และวาล์วปลดความดันแบบไพลอต

1. วาล์วปลดความดันแบบไดเรกแอกติง วาล์วแบบนี้มีโครงสร้างง่ายๆและมีราคาถูก มีขนาดเล็กเหมาะสำหรับอัตราการไหลที่จำกัด ภายในประกอบด้วยลูกบอลหรือป๊อปเป็ตหรือสปูลเลื่นที่ติดกับสปริง ทำหน้าที่ต้านความดันของระบบและทำให้วาล์วอยู่ในตำแหน่งปกติปิด วาล์วจะเปิดโดยใช้แรงดันน้ำมันดันกระทำโดยตรงต่อลูกบอลหรือป๊อปเป็ต เมื่อเอาชนะแรงสปริงที่ตั้งไว้เพื่อเปิดน้ำมันไหลกลับถังพักและจะควบคุมแรงดันน้ำมันให้คงที่ตลอดเวลา แต่วาล์วแบบนี้มี ข้อเสียคือ จะมีการกระทบของลูกบอลหรือป๊อปเปตกับบ่ามากตลอดเวลาที่วาล์วทำงาน ทำให้เกิดเสียงดังและการสึกหรอเร็ว สามารถปรับค่าความดันได้ต่ำ ไม่เหมาะกับวงจรที่ปริมาณการไหลมากและความดันสูงๆ

2.6.ถังพักน้ำมันไฮดรอลิก

เป็นส่วนประกอบอีกชนิดหนึ่งที่ขาดไม่ได้ในระบบไฮดรอลิก ซึ่งในระบบไฮดรอลิกต้องมีถังพักน้ำมัน หรือถังเก็บน้ำมันไฮดรอลิก

หน้าที่ของถังพักน้ำมันไฮดรอลิก มีดังต่อไปนี้

1. รักษาระดับน้ำมัน ถังพักน้ำมันไฮดรอลิกจะต้องมีขนาดไม่ใหญ่เกินไป แต่ต้องสามารถเก็บรักษาน้ำมันไฮดรอลิกได้เพียงพอแก่ความต้องการของระบบโดยต้องมีระดับน้ำมันสูงกว่า ปากทางท่อดูดตลอดเวลาที่ทำงาน และรักษาระดับความดันเท่ากับบรรยากาศ โดยน้ำมันสามารถไหลกลับลงอ่างได้ด้วยแรงดึงดูดของโลก

2. รักษาความสะอาดให้กับน้ำมัน โดยเป็นที่ขจัดสิ่งสกปรกต่างๆที่ปะปนเข้ามา สิ่งสกปรกเหล่านี้จะทำให้อุปกรณ์ในระบบเกิดการขัดข้องเสียหายได้ ดังนั้นในอ่างเก็บจึงต้องมีอุปกรณ์คอยดักไว้เพื่อให้สิ่งสกปรกต่างๆ ตลอดจนน้ำแยกตัวออกจากน้ำมัน และตกตะกอนสู่ก้นอ่างเก็บ และเหลือแต่น้ำมันที่ไม่มีสิ่งสกปรก

3. ช่วยระบายความร้อนของน้ำมันในระบบ ความร้อนจากการทำงาน เช่น การสูญเสียความร้อนทางกลที่เกิดขึ้นที่แบริ่งภายในตัวปั๊มและมอเตอร์ การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในกระบอกสูบ และการสูญเสียกำลังงานของของเหลวเนื่องจากความดันลดลงที่วาล์ว ท่อ และ ข้อต่อ เมื่อน้ำมันไหลผ่านส่วนต่างๆ กำลังงานที่สูญเสียไปจะอยู่ในรูปความร้อน ความร้อนจารน้ำมันจะถูกถ่ายเทออกโดยการนำและแผ่กระจายความร้อนผ่านผนังของถังพักน้ำมันถ้าเป็น ถังพักน้ำมันแบบเปิด การระบายความร้อนจะเป็นไปได้ด้วยดี

4. ป้องกันการเกิดฟองอากาศ ขณะน้ำมันไหลกลับสู่ถังพักน้ำมันจะเกิดฟองอากาศ ฟองอากาศจะถูกแยกตัวกลับสู่บรรยากาศ โดยภายในอ่างเก็บมีพื้นที่สำหรับอากาศเหนือผิวน้ำมัน ซึ่งมีความดันเท่ากับบรรยากาศ ทั้งนี้เพื่อรับการขยายตัว ของน้ำมันและรับฟองอากาศไว้ได้ อ่างเก็บน้ำมันที่มีขนาดใหญ่การจัดฟองอากาศจะเป็นไปอย่างสมบูรณ์

2.7 น้ำมันไฮดรอลิก

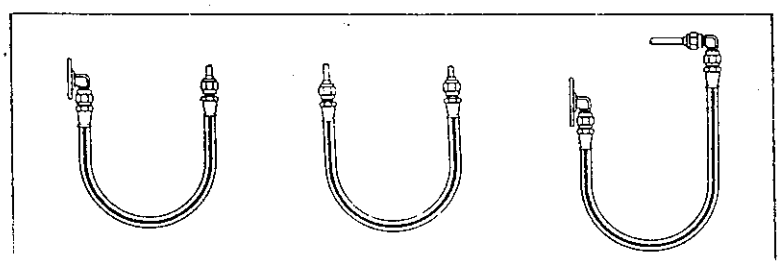
น้ำมันปิโตรเลียม(Petroleuam base fluids) เป็นน้ำมันที่นิยมใช้กับระบบไฮดรอลิก คุณสมบัติของน้ำมันปิโตรเลียมขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการคือ

- ชนิดของน้ำมันดิบ
- วิธีการและระดับการกลั่น
- สารประกอบที่ใช้

โดยทั่วไปน้ำมันไฮดรอลิกชนิดนี้มีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเยี่ยม โดยเฉพาะน้ำมันดิบบางชนิดมีคุณสมบัติในการต้านทานการสึกหรอ ต้านทานการเกิดสนิมในอุณหภูมิสูงๆ มีดัชนีความหนืดสูงและมี

ความสามารถในการซีลดีมาก อย่างไรก็ตามข้อเสียของน้ำมันปิโตรเลียมที่สำคัญก็คือเป็นน้ำมันที่ติดไฟ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมกับงานที่อยู่ใกล้เปลวไฟ เช่น เครื่องหล่อแบบพิมพ์ เตาเผาเหล็ก

2.8.ท่อและสายไฮดรอลิก



รูปที่ 2.5 สายไฮดรอลิก

การเลือกใช้แป๊ป ท่อ สายไฮดรอลิก และข้อต่อชนิดต่างๆ ในวงจรไฮดรอลิกจะต้องเลือกขนาดที่สามารถทนต่อระดับความดันสูงสุดของระบบ และแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากความดันในท่อขนาดทำงาน รูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างของสายไฮดรอลิกที่ใช้ในระบบไฮดรอลิกทั่วไปซึ่งการต่อสายไฮดรอลิกนั้นควรมีการต่อสายให้ตรงไม่มีการบิดงอเกิดขึ้นเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

แรงสั่นสะเทือน(shock) ในท่อเกิดขึ้นเมื่อวาล์วควบคุมเริ่มทำงานอย่างกระทันหัน ทำให้น้ำมันหยุดหรือไหลกลับอย่างรวดเร็ว และเกิดจากการหยุดหรือเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่อย่างกะทันหันตลอดเวลาของกระบอกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิก นอกจากนี้ยังเกิดอาการ ช็อคโหลด(shock load)เมื่อกระบอกสูบหรือมอเตอร์เกิดการรับโอเวอร์โหลดอย่างกระทันหันจนหยุดการเคลื่อนที่

ดังนั้นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ ความดันที่ปลอดภัยในการทำงาน ถ้าหากท่อขนาดมาตรฐานไม่สามารถจะทนความดันได้ในระบบก็จะต้องเลือกใช้ท่อชนิดแข็งแรงและหนาเป็นพิเศษ หรือ ชนิดหนาเป็นพิเศษ 2 เท่า ซึ่งจะมีความปลอดภัยสูงกว่า เพราะมีขนาดหนากว่า

ก่อนที่จะทราบค่าความดันที่ปลอดภัยในการทำงาน สิ่งสำคัญที่ต้องทราบคือ ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยของท่อและความดันสูงสุดที่ท่อทนได้หรือความดันที่ทำให้ท่อแตก(brust pressure) ความดันสูงสุดที่ท่อชนิดต่างๆทนได้ขึ้นอยู่กับความเค้นดึง(tensile strengh) ของวัสดุที่ใช้ทำท่อและความหนาของท่อ สำหรับความหนาของท่อและแฟกเตอร์ความปลอดภัยที่แนะนำโดย FPIS (Fluid Power Industry Standards) จะขึ้นอยู่กับการคำนวณจากสูตรของบาโล(Barlow's formula) ดังนี้

$$\text{ความหนาอย่างน้อยที่สุดของท่อ} = \frac{BP(psi) \cdot OD(in)}{2 \cdot TS(psi)} \qquad \text{....(2.5)}$$

$$\text{แฟกเตอร์ความปลอดภัย(FS)} = \frac{\text{ความดันสูงสุดที่ท่อทนได้}}{\text{ความดันในการทำงาน}} = \frac{BP}{WP} \qquad \text{....(2.6)}$$

เมื่อ FS = แฟกเตอร์ความปลอดภัย

BP = ค่าความดันสูงสุดที่ท่อทนได้ มีหน่วยเป็น psi

WP = ค่าความดันในการทำงาน มีหน่วยเป็น psi

OD = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ มีหน่วยเป็น in

TS = ความเค้นดึงสูงสุดที่ท่อทนได้ มีหน่วยเป็น psi

ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม แฟกเตอร์ความปลอดภัยของท่อแนะนำให้ใช้ค่าอย่างน้อยระหว่าง 4 ถึง 1 และอย่างมากระหว่าง 8 ถึง 1

- ถ้าความดันตั้งแต่ 0-1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แฟกเตอร์ความปลอดภัยควรใช้ค่า 8ถึง 1
- ถ้าความดันตั้งแต่ 100-2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แฟกเตอร์ความปลอดภัยควรใช้ค่า 6ถึง 1
- สูงกว่า 2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้วขึ้นไป แฟกเตอร์ความปลอดภัยควรใช้ค่า 4 ถึง 1

จากสมการ 2.5 และ 2.6 เราสามารถนำไปใช้เลือกขนาดของ แป๊ป ท่อ และสายไฮดรอลิก เพื่อให้สามารถทนต่อความดันขึ้นลงสูงสุดที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในระบบ