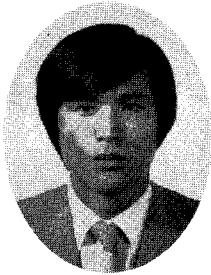


潤滑對策



# 油壓作動油의 에너지 절약 對策

(주) 한국금유  
차 점 식

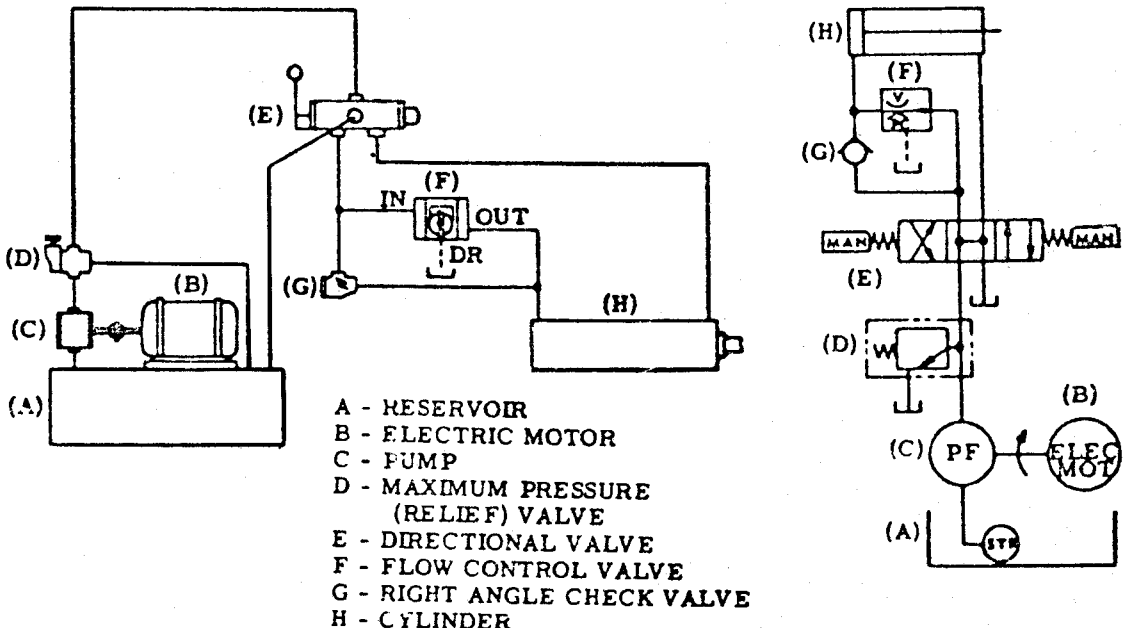
## 1. 첫머리

유압 구동의 역사는 유럽에서 1882년 MAX H ASSE & CO가 평삭기(平削機)의 왕복운동에 응용한 이래, 1920 년경 펌프 종류의 발달과 더불어 1930 년대에서는 드릴링 머신, 브로우칭머신 등에 유압이 본격적으로 응용 되었으며, 현재에는 일반 산업 공장 뿐만 아니라 건설기계, 발전 설비기계, 철도차량, 항공기, 선박 등 모든 산업 분야에 걸쳐서 사용되지 않는 곳이 없게 되었다. 최근의 유압장치는 高壓化, 高速化, 低騒音化 등의 추세에 부응하기 위해 비약적으로 기술이 향상되고 있다. 현재 이들의 기기에 대해서 적합한 유압작동유가 개발되고 있으며 이후

에도 상기와 같이 요구 되는 제반 특성을 만족 하기 위해 가일층 개량 되어 지리라 믿는다. 한편 현재와 같은 經濟 低成長下에 있어서는 유압 장치에 있어서도 자원 절감, 에너지 절약 대책 이 크게 부각 되고 있으며, 필연적으로 유압작 동유에도 에너지 절약 타입의 윤활유가 요구 되 어지고 있다. 여기서는 유압작동유에 있어서 에 너지 절약 대책 및 문제점에 대한 최근의 동향 을 정리하고 금후의 유압작동유의 요구 성능에 대하여 기술한다.

## 2. 유압 시스템의 현황

유압 시스템의 일례를 나타내면 (그림 - 1)과 같으며 (표 - 1)<sup>2)</sup> 과 같은 기기로 구성 된다.



(그림 - 1) 유압시스템의 일례

(표-1) 유압기기의 종류

유 압 기 기				
기 타	아류물레이터	제어밸브	액츄에이터	유압펌프
(1) 보기류	(1) 중력식	(1) 압력제어밸브	(1) 유압실린더	(1) 기어펌프
(2) 배관	(2) 스프링식	(2) 유량제어밸브	(2) 유압요동모타	(2) 베인펌프
	(3) 공기축적식	(3) 방향제어밸브	(3) 유압회전모타	(3) 액션피스톤펌프
		(4) 서어보밸브		(4) 레이디엘 피스톤펌프

이들 유압 시스템에 있어서 에너지 이용 공정에 대해 유압펌프에 의해 유압작동유에 가해진 에너지는 제어밸브, 배관 등에 의해 소모되고 실제로 일을 하는 유압 실린더, 유압 모타 등에 이용되는 것은 약 50% 정도라고 전해지고 있다. 에너지 손실은 전부 열로서 소모되고 각 기기에서의 放熱 및 유압작동유의 油溫 상승과 같은 결과로서 나타난다. 이들 중에서 특히 큰 비중을 나타내는 것은 제어밸브, 배관 등에 있어서 유압작동유의 유동저항에 의한 압력손실이며, 이것에는 밸브 형상, 배관의 형태 등과 함께 유압작동유의 粘度도 크게 영향을 미치고 있다. 또 유압 시스템 전체의 에너지 손실을 감소시키기 위해서는 유압 펌프, 유압 실린더, 유압 모타 등에 있어서 경제운할 상태 하에서도 마찰을 작게 하도록 하는 유압작동유가 요구 되어 진다.

유압 펌프의 경우 베인형에서는 140kgf/cm<sup>2</sup> 정도 피스톤형에서는 210kgf/cm<sup>2</sup> 정도가 되면 각각 피스톤링과 경사판과의 사이 구동 부분의 윤활이 경제운할 상태로 된다고 한다. 이와같은

조건 하에서는 특히 유압작동유에 의해서 구동 부분의 마찰을 감소시키는 것이 절대 필요로 하게 된다.

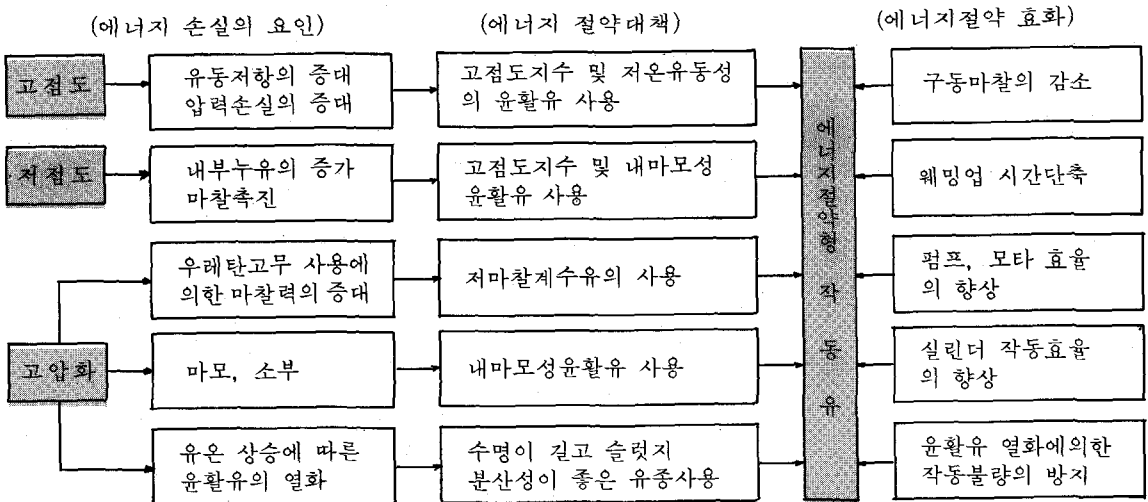
### 3. 유압작동유에 의한 에너지 절약 대책.

유압장치에서 소비되는 에너지중 유효하게 이용되는 것은 약 50% 정도라고 하며, 에너지 손실의 대부분은 압력손실이나 마찰손실이다. 따라서 유압장치에 있어서 에너지 절약 대책으로 다음과 같이 요약 할 수 있다.

- (1) 펌프 모타의 효율 향상
- (2) 배관에 있어서 유동저항(압력손실)의 감소
- (3) 제어밸브 등에 있어서 압력손실의 감소
- (4) 각 부분 구동마찰력의 감소

유압작동유의 측면에서 생각하면 유압작동유가 동력전달 매체로서의 기능이 동시에 요구 되므로, 에너지절약대책은 에너지 전달 효율의 향상과 마찰손실의 감소라고 하는 양면으로 접근 할 필요가 있다. 그래서 유압작동유에 의한 에너지 절약을 종합해서 나타내면 (표-2)와

(표-2) 유압작동유에 의한 에너지 절약 대책 도표



같이 된다.

상술한 4 항목의 대책중에서 (1)(2)(3)항은 유압작동유의 粘度와 관계하는 항목이고 (4) 항은 유압작동유의 潤滑性에 관계되는 항목이다.

1) 유압작동유의 低粘度化에 의한 에너지절약 대책.

유압작동유의 점도는 온도, 압력, 전단 속도 등에 의해 변화되기 때문에 유압펌프나 액츄에이터 등의 유압기기의 효율에 크게 영향을 주고 있다. 유압시스템 전체의 효율을 향상시키기 위해서는 온도 변화에 대해서 점도 변화를 적게 하여 펌프 효율을 유지하도록 할 것. 압력 변화에 대해서 점도 상승을 적게하여 배관의 壓力損失 증가를 억제 할 것. 전단 속도의 변화에 대해서 일시적인 점도저하를 이용해서 압력손실의 감소를 꾀하는 것 등이 필요하다. 유압시스템 전체에 있어서 에너지 손실은 압력손실이 주가 되기 때문에 유압작동유의 점도를 낮추어서 流動抵抗을 감소시키는 것이 키포인트로 된다. 그러나 지나친 점도 저하는 유압펌프 등의 容積效率의 저하 마모 증대, 燒付 등을 일으키기 때문에 충분한 주의가 필요하다.

A) 펌프 효율의 개선

유압펌프의 全效率는 機械效率과 容積效率과 의 곱한 값이며, 유압작동유의 점도에 의해 크게 영향을 받는다. 유압펌프의 기계효율은 아래와 같은 式<sup>5)</sup>으로 나타낼 수 있다.

$$\eta_m = \frac{1}{1 + Cd \frac{\mu n}{p} + c_r} \dots\dots\dots(1)$$

- 여기서  $\eta_m$  : 유압펌프의 기계효율
- $\mu$  : 유압작동유 점도
- $n$  : 유압펌프의 회전수
- $p$  : 유압작동유의 압력
- $c_a$  : 점성에 의한 구름마찰계수
- $c_r$  : 압력에 의한 구름마찰계수

式(1)에 의해 유압작동유의 점도가 작게 되면 유동저항의 감소에 의해 기계효율이 향상되는 것을 알 수 있다. 또 유압펌프 틱새에서의 누설량은 일반적으로

$$\Delta Q = C_s V \frac{P}{\mu} \text{로 표시 되므로 容積效率은}$$

$$\eta_v = \frac{Q}{v \cdot n} = \frac{v \cdot n - \Delta Q}{v \cdot n} = 1 - c_s \frac{p}{\mu n} \dots\dots\dots(2)$$

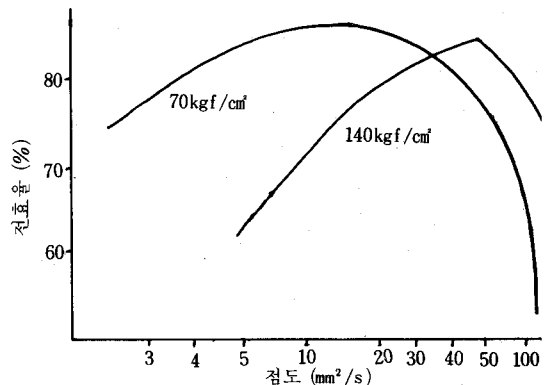
여기서  $\eta_v$  : 유압펌프의 용적효율

- $c_s$  : 층류계수
- $Q$  : 토출량 ( $\text{cm}^3 / \text{sec}$ )

式(2)<sup>6)</sup>에 의해 기계효율과는 반대로 유압작유의 점도가 작게 되면 누설량의 증가에 의해 全效率가 저하되는 것을 알 수 있다. 유압펌프 全效率는 기계효율과 용적효율과의 곱이므로 式<sup>7)</sup>으로 나타낼 수 있다.

$$\eta = \eta_m \eta_v = \frac{1 - c_s \frac{p}{\mu n}}{1 + c_r + c_a \frac{\mu n}{p}} \dots\dots\dots(3)$$

여기서  $\eta$  : 유압펌프의 전효율  
式(3)에서 유압펌프의 全效率는 유압작동유 어느 점에서 최대치를 갖는가를 곡선으로 나타낼 수 있다. 이 효율곡선은 유압펌프의 구조, 식 및 사용압력에 의해 다르나 (그림-2)<sup>7)</sup> 그 일례를 나타냈다.



(그림-2) 베인펌프에 의한 유압작동유의 점도와 효율

유압펌프에서의 에너지 손실을 적게 하고 고의 효율로 운전하기 위해서는 유압펌프의 효율곡선에 의해 적당한 점도를 갖는 油壓作動油를 선정하는 것이 필요하다.

B) 配管에 있어서 壓力損失의 감소

- 배관을 흐르는 유압작동유의 압력손실로서
- (1) 유압작동유 자신의 점도 저항
  - (2) 유압작동유와 관벽간의 마찰
  - (3) 管路의 급격한 방향변화나 管의 유량을 일때.

일반적으로 배관의 압력손실은 다음 式<sup>8)</sup>으로 나타낸다.

$$\Delta P = \lambda \times \frac{V^2 \cdot r}{2g} \times \frac{L}{D} \dots\dots\dots(4)$$

여기서  $\Delta P$  : 압력손실

$\lambda$  : 管 마찰계수

층류의 경우 :  $\lambda = \frac{64}{N_{Re}} \quad (N_{Re} < 2100)$

난류의 경우 :  $\lambda = \frac{0.316}{\sqrt[4]{N_{Re}}} \quad (N_{Re} > 2100)$

V : 관내 평균 유속

r : 유압작동유의 비중량

g : 중력가속도

L : 직관 상당배관 길이

또 레이놀즈 수는 다음 식<sup>9)</sup>으로 표시된다.

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V}{\nu} \dots\dots\dots(5)$$

여기서  $\nu$  : 동점도

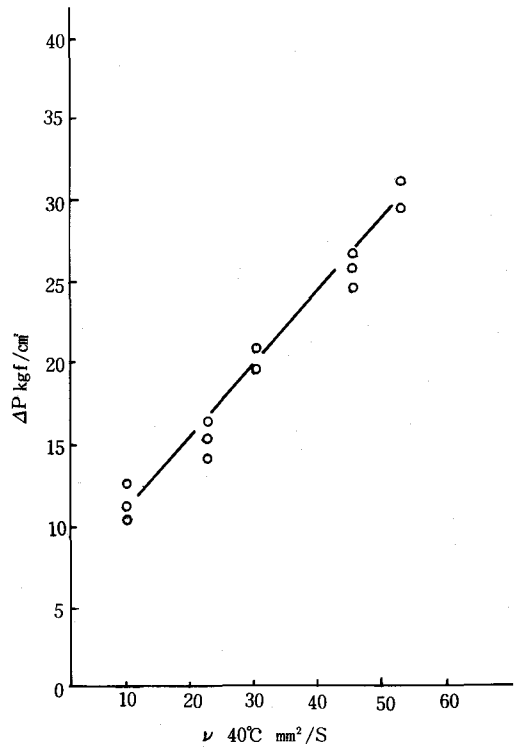
유압장치는 일반적으로 층류가 되도록 설계되고 있으므로 식(5)를 식(4)에 대입하면 다음 식이 된다.

$$\Delta P = 32 \frac{V \cdot L}{D^2} \times \frac{r \nu}{g} \dots\dots\dots(6)$$

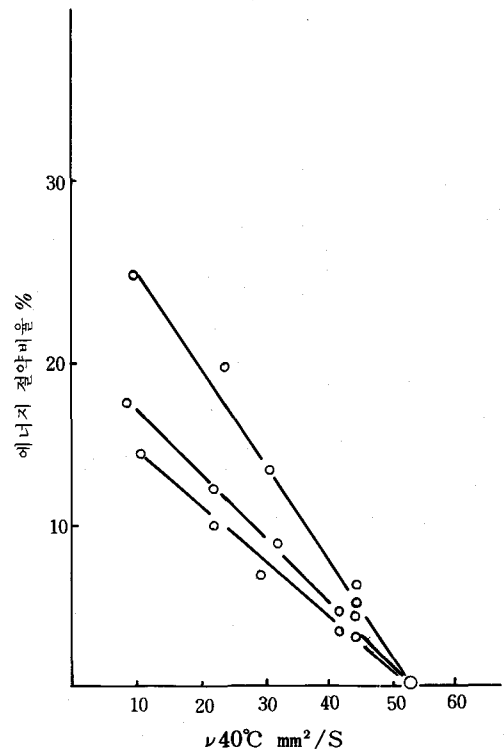
식(6)에 의해 압력손실은 동점도에 비례해서 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 유압작동유의 점도를 낮추는 것이 배관내의 압력손실을 줄일 수 있는 것을 알 수 있다. 일례로서 점도와 압력손실, 전력량 감소, 에너지 절약 비율, 펌프 용적효율 등과의 관계에 대해서 高瀬彰男 등이 실험한 결과를 (그림 3)~(그림 6)<sup>10)</sup>에 나타냈다. (그림 3)에 있어서 유압작동유의 점도가 낮게 되면 유동저항의 감소에 의해 압력손실은 작게 된다. 예컨대 점도가 VG56에서 VG10으로 낮아지면 압력손실은 약 1/3로 되는 것을 알 수 있다. 또 동시에 점도가 낮아지므로서 전력량 감소를 (그림 4)의 결과로서 알 수 있다. (그림 5)는 (그림 4)의 전력소비량 감소를 VG56을 100으로 각각 점도를 올린 에너지 절약 비율을 나타낸 것이다. 작동압이 높게 될수록 에너지 절약 비율이 낮게 되는 것은 고압의 경우에는 유압작동유의 점도가 낮게 되면 펌프 구동 부분에 있어서 유막 두께가 작게 되어 마찰저항이 증가하기 때문이다. 그러나 점도를 너무 낮게 하면 (그림 6)에 나타난 것과 같이 특히 고압의 경우에는 容積效率이 크게 낮아지고 펌프의 燒付, 이상마모등을 일으킬 우려가 있어 粘度를 너무 낮게 하지 않도록 충분한 주의가 필요하다.

C) 제어밸브등에 있어서 압력손실의 감소

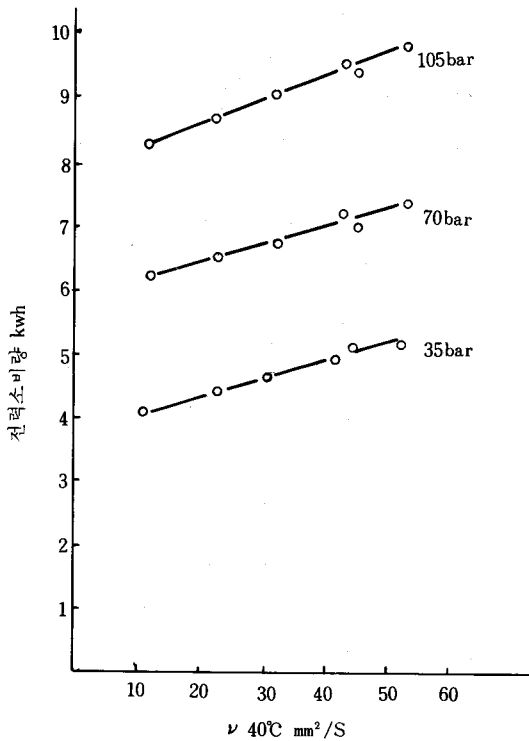
제어밸브의 부분에서는 좁은 틈 사이를 유압작동유가 흐르고 있기 때문에 전단속도가 극히



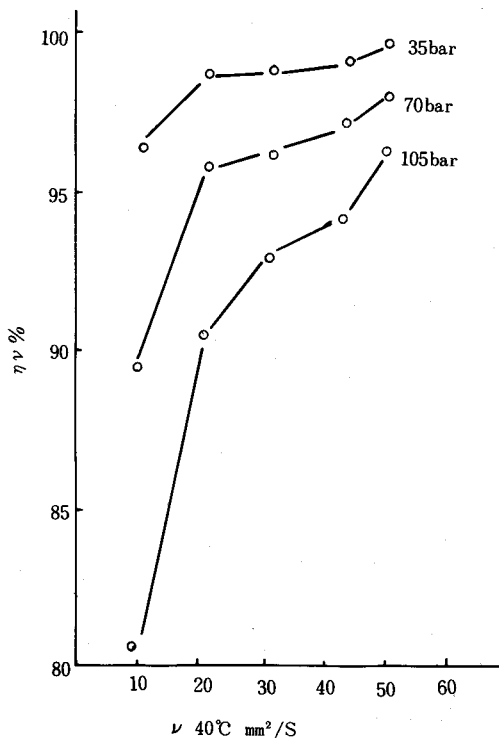
(그림 - 3) 점도 -  $\Delta P$  (유량 15 L/min)



(그림 - 4) 점도 - 전력소비량



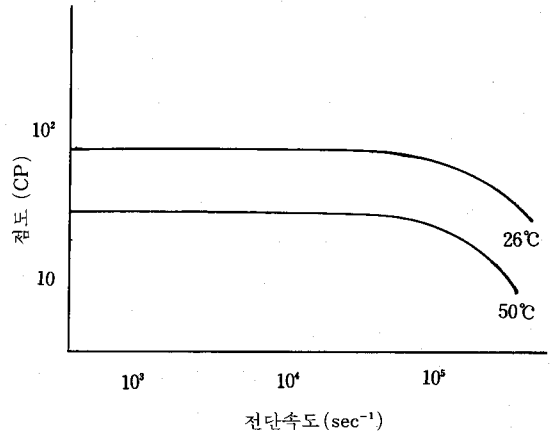
(그림 - 5) 점도-에너지절약비 (VG 56 기준)



(그림 - 6) 점도-용적효율

크게 된다. 粘度-溫度 特性을 향상시킨 유압 작동유에서는 粘度指數向上劑로서 高分子 폴리마를 첨가 하고 있기때문에 (그림 7)<sup>1)</sup>에 나타난것과 같이 전단속도의 증가에 따라서 일시적으로 점도가 떨어지는 특성을 갖고있다. 또 전단속도가 극히 크게 되면 고분자 폴리마의 기계적 파손이 일어나서 영구적으로 점도가 떨어지는 경우가 있다.

이와같이 유압작동유는 전단속도가 비교적 작은 펌프내에서는 점도가 거의 변하지 않기때문에 누유나 윤활성에 악영향을 주지않으며 전도속도가 큰 제어밸브 부분에서는 일시적으로 점도가 저하해서 에너지 손실을 줄이는 작용을 한다. 그렇지만 고전단속도하에서 이같은 高粘度指數 유압작동유를 사용하는 경우에는 영구적으로 점도 저하를 일으키게 되므로 油壓作動油



(그림 - 7) 고점도지수의 전단속도와 점도관계

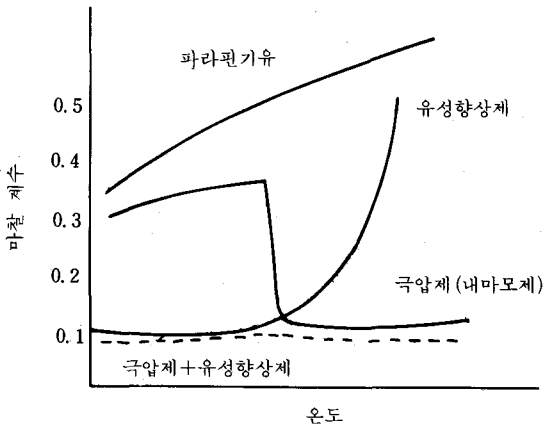
의 선정시에는 알맞은 전단 안정성이 양호한것을 선택할 필요가 있다.

2) 유압작동유의 潤滑性向上에 의한 에너지 절감 대책

A) 펌프, 모타의 潤滑性向上

유압펌프, 모타의 사용조건은 高壓化, 小型化, 高効率化에 따른 面壓의 상승, 구동속도의 상승등에 의해 더욱 까다롭게 되고 있다. 또 에너지 절약 대책으로서 유압작동유의 低粘度化가 진행되면, 구동부분에서의 유막형성이 어렵게 된다. 이때문에 경계윤활 영역에 있어서 윤활성을 유지하기 위해서 윤활성을 향상하는 첨가제를 사용하는 경우가 많다. 이들 첨가제의 종류는 많이 있으나 윤활성 향상을 목적으로 사용되는 것으로서는 油性向上劑, 耐摩耗劑가 있다.

유성향상제의 효과는 유기극성화합물이 금속표면에 흡착작용에 의해 금속간의 마찰을 작게 하도록한다. 또 내마모제의 효과는 내마모제와 금속표면과의 반응에 의해 고체 윤활막이 형성되는 것에 의해서 금속간의 마찰을 감소하게 된다. (그림)<sup>13)</sup>에 일반적인 유성향상제와 내마모제의 효과를 온도와 관계로 비교해서 표시했다.



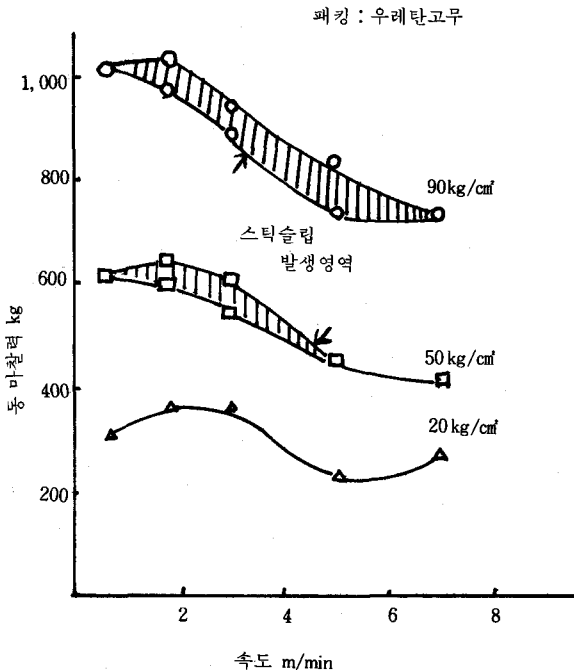
(그림 - 8) 유성제, 극압제의 온도특성

유성향상제로서 대표적인 것으로는 지방산이 있으나 이것이 유효하게 작용 하는데는 대체로 150℃까지이며, 2 이상 고온으로 되면 흡착작용이 급격히 저하해서 효과가 약해진다. 한편 耐摩耗劑는 금속표면과의 반응에 의한 고체 윤활막에 의해 효과가 나타나기 때문에 상당히 고온 영역까지 효과가 있으나 저온에서는 일반적으로 작다. 그래서 그림에서 표시된 바와같이 兩者를 併用하면 저온에서 고온까지 좋은 결과가 나타난다. 그러나 지방산은 유성향상제로서의 효과는 우수하나 安定性의 면에서 문제가 있기 때문에 유압작동유에 적용되는 예는 극히 적다. 또 마모방지 성능에는 첨가제의 종류에 의해 다르므로 그 선정에는 각종 시험이 필요하다. 일례로서 내마모제의 종류에 따른 펌프 내마모성의 관계를 (표-3)<sup>13)</sup>에 나타냈다. (표-3)에 나타낸 바와같이 내마모제의 종류에 의해서 마모량이 크게 다르므로 내마모제의 선정은 신중을 기할 필요가 있다.

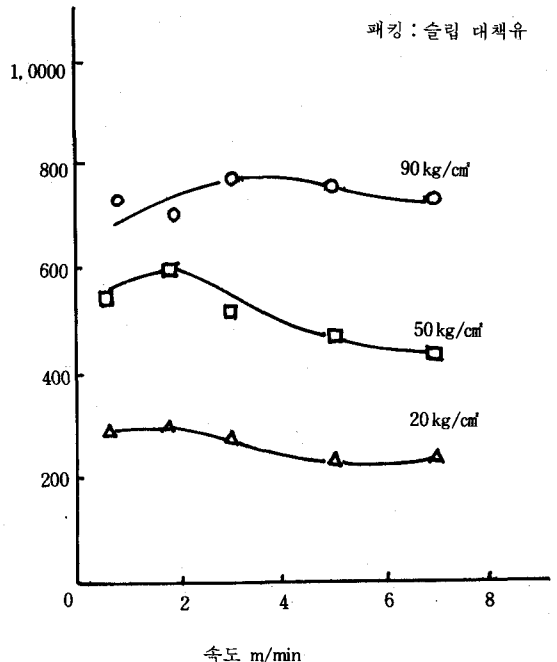
B) 유압실린더의 마찰감소

최근 유압실린더의 高壓化에 따라 강도의 면에서 패킹 재료는 지금까지 사용되었던 리튬 고무에서 우레탄고무로 바뀌어지고 있다. 우레탄고

스틱슬립 미대책유



스틱슬립 대책유



(그림 - 9) 유압실린더 작동시의 동 마찰력

(표 - 3) 베인펌프 시험의 마모량(mg)

항목	ISO VG	내마모제 - B			내마모제 - C
	22	15	22	22MULTI- GRADE	22MULTI- GRADE
베인	8.2	4.3	3.9	3.9	6.3
캠	245.6	40.6	18.2	14.4	74.5
계	253.8	44.9	22.1	18.4	80.8

22MULTI GRADE : 점도지수 140

펌 프 : CKERS V 104 C

압 력 : 140bar

회전수 : 1200 rpm 온도 : 66℃ 시험시간 : 250 시간

무는 리튬고무에 비해서 강도는 향상되나 구동 마찰력이 크기 때문에 發熱, 振動, 騒音등이 발생하기 쉽다. 이것을 해결하기 위해서는 유압 실린더와 우레탄고무사이 마찰을 줄이기 위해서 油性向上劑를 유압작동유에 첨가 할 필요가 있고 유압작동유에 의해 유압실린더 작동시의 마찰력을 감소시킨 예를 (그림-9)에 나타냈다. (그림-9)는 유압실린더의 1스트로구중의 動 摩 擦 力을 실린더 속도, 압력을 바꿔가며 측정 한 실험예이고, 스틱슬립 대책유로서는 고하중 으로 되어도 스틱슬립을 발생하지 않고 특히 고 하중시의 동마찰력이 크게 감소되고 있다. 그러나 유성향상제 중에는 우레탄고무의 적합성에 맞지않는 것이 있으므로 사용시에는 충분한 검토가 필요하다.

4. 맺 음

지금까지 서술한 것은 油壓作動油에 의한 에너지 절감 대책이었으나 유압장치의 에너지 절감은 潤滑油만의 문제가 아니고 그이상에 유압 기기 유압시스템의 면에서 개선 효과가 크다고 생각되며, 또한 장치의 운전 방법에도 크게 의존하리라 믿는다. 차후는 윤활유메이커, 機器메이커등이 협력해서 유압장치의 에너지 절약화에 매진할 필요성이 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) GULF SALES ENGINEER, TRAINING MANUAL XVI-16
- 2) 김덕운 유압기술편람 223-455(1982)
- 3) 제25회 일본 윤활학회 동경 연구발표 51 (1980)
- 4) 일본 박용기관학회지 16 (1981)

- 5) 김덕운 유압기술편람 224 (1982)
- 6) 김덕운 유압기술편람 224 (1982)
- 7) 김덕운 유압기술편람 298 (1982)
- 8) WARREN L, MCCABE, UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING 89 (1976)
- 9) " 51 (1976)
- 10) 제27회 일본 윤활학회 연구발표 57 (1982)
- 11) 일본 박용기관학회지 16 (1981)
- 12) 桜井俊男 윤활과 물리화학 236 (1978)
- 13) 제27회 일본 윤활학회 연구발표 57 (1982)

古典鑑賞

(문제) (白先活)

※ 좌우 白의 철벽을 이용, 양쪽 흑 두점을 공략해서 活을 얻는다.  
(해답은 30 페이지)