

# 유압회로 설계(회로 계산)의 사례

부산수산대학교 부교수  
이 일 영

## 1. 머리말

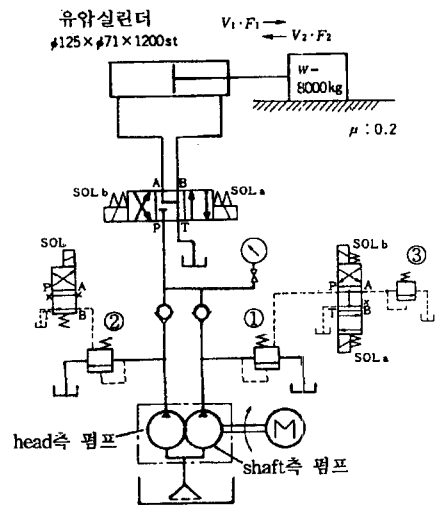
필자는 본「어선」지 제47호로부터 제51호까지 5회에 걸쳐 「어선의 자동화를 위한 유압기술」이라는 제목의 해설 기사를 연재한 바 있다. 기사가 게재된 후 여러차례 어선 관련 기술인들로부터 관심의 표명과 기술자문의 요청이 있었으며, 유압 기술이 어선의 자동화에 긴요한 기술임을 실감할 수 있었다.

연재 기사의 말미에서도 언급한 바와 같이, 연재된 내용이 유압장치에 관한 기초 지식에 국한되어 있었으므로 선박용 유압 시스템의 설계 등 응용 기술에 관심이 있는 독자들에게는 미흡한 내용이었을 것으로 생각된다. 이번에 다시 본지 편집자로부터 원고 청탁을 받고, 지난번 연재 내용에 이은 「유압회로 설계(회로 계산)」의 대표적 사례 몇가지를 들어서 해설함으로써 독자들과 다시 만나는 자리를 갖고자 한다.

## 2. 회로 계산 사례

### 2.1 유압 실린더 구동 회로

그림 1과 같은 유압회로에서  $\phi 125 \times \phi 71 \times 1200$  스트로크(stroke)의 유압 실린더를 사용하여 8000 kgf인 부하를 테이블 상에서 움직이는 유압 장치를 설계한다. 테이블에서의 마찰계수는 0.2이고, 실린더의 효율은 0.9이다.



〈그림 1〉 2압 펌프에 의한 유압 실린더 구동 회로

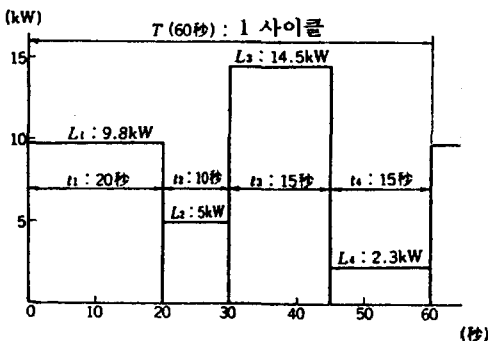
(1) 유압 실린더 헤드(head)측에 작동유를 공급하여 이 부하를 0.2 s 동안에 12 m/min의 속도로 가속시켜 움직이는데 있어, ① 샤프트(shaft)측 유압 펌프를 사용할 경우 이 펌프의 최저 필요 유량을 구하여라. ② 회로 내에서의 압력 손실을  $10 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 간주하여 릴리프 밸브 ①의 설정 압력을 구하여라

라. ㉔ 헤드측 펌프는  $7 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 릴리프 밸브 ㉔에 의하여 언로드(unload)되어 있으며, 유량이  $12 \text{ l/min}$ 일 때, 이 2압 펌프의 축입력을 구하여라. 단, 이 2압 펌프의 전효율은 샤프트측 및 헤드측 모두 0.8이다.

(2) ㉔ 그 후, 릴리프 밸브 ㉔의 설정압력을 높여서 헤드측 펌프를 사용하여 부하를  $15400 \text{ kgf}$ 의 힘으로 가압 유지할 때 릴리프 밸브 ㉔의 설정 압력은 얼마 이상 필요한가? ㉕ 이 때 샤프트측 펌프는  $7 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 릴리프 밸브 ㉔에 의하여 언로드되고 있다고 하면, 2압 펌프의 축입력은 몇 kW인가? 단, 샤프트측 펌프의 언로드시 유량은  $150 \text{ l/min}$ , 헤드측 펌프 유량은  $10 \text{ l/min}$ 라 한다.

(3) 그 후, 방향제어밸브를 변환하여 유압 실린더 로드(rod)측에 작동유를 공급하여 중량물을 좌측으로 이동시킬 때, ㉔ 샤프트측 펌프로부터의 유량( $147 \text{ l/min}$ )이 전량 로드측으로 유입한다고 하면 중량물 이동 속도는 얼마인가? ㉖  $0.2 \text{ s}$  동안에 ㉔에서 계산되는 속도에 도달하려면 릴리프 밸브 ㉔의 설정 압력은 얼마로 해야 하나? ㉗ 이 때 헤드측 펌프는  $7 \text{ kgf/cm}^2$ 의 압력으로 릴리프 밸브 ㉔로부터 언로드되고 있다고 하면, 2압 펌프 축입력은 몇 kW인가?

(4) 이상 (1)~(3)의 작동 사이클 및 각 행정에서의 소요 시간, 소요 동력이 그림 2와 같이 구해졌을 때, 평균 소요 동력을 구하여라.



〈그림 2〉 소요동력과 시간과의 관계

〈풀이〉

(1) 실린더 헤드측 면적  $A_h$ , 헤드측 펌프 유량  $Q$ 를 구하면 아래와 같다.

$$A_h = \frac{\pi}{4} D^2 = 122.7(\text{cm}^2)$$

$$Q = V \cdot A_h = 12(\text{m/min}) \times 122.7 \times 10^{-4}(\text{m}^2) \\ = 1.472 \times 10^{-1}(\text{m}^3/\text{min}) \\ = 147.2(\text{l/min}) \quad \text{㉔}$$

실린더 구동력  $F_1$ 는 마찰력  $F_r$ , 관성력  $F_a$ 의 합이며,  $F_r$ ,  $F_a$  및  $F_1$ 은 아래와 같이 구해진다.

$$\text{마찰력} : F_r = \mu W = 0.2 \times 8000 = 1600(\text{kgf})$$

$$\text{관성력} : F_a = m \cdot a = \frac{W}{g} \frac{\Delta V}{\Delta t} \\ = 8000(\text{kg} \cdot \text{m/s}^2) \div 816(\text{kgf})$$

실린더 구동력 :

$$F_1 = F_r + F_a = 1600 + 816 = 2416(\text{kgf})$$

실린더 헤드측 압력  $P_h$ 는

$$P_h = F_1 / (\eta_c \cdot A_h) = 2416 / (0.9 \times 122.7) \\ \approx 22(\text{kgf/cm}^2)$$

로 계산되며, 따라서 릴리프 밸브 ㉔의 설정 압력  $P_s$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$P_s = P_h + \text{회로 손실 압력} \\ = 22 + 10 = 32(\text{kgf/cm}^2) \quad \text{㉕}$$

샤프트측 펌프 소요 동력  $W_s$  및 헤드측 펌프 소요 동력  $W_h$ 는 다음과 같이 구해지며,

$$W_h = P_s Q / (612 \cdot \eta_o) \\ = 32 \times 147.2 / (612 \times 0.8) = 9.6(\text{kW})$$

$$W_s = P_s Q' / (612 \cdot \eta_o) \\ = 7 \times 12 / (612 \times 0.8) \approx 0.2(\text{kW})$$

따라서, 2압 펌프 축입력  $W$ 는 아래와 같다.

$$W = W_s + W_h = 9.6 + 0.2 = 9.8(\text{kW}) \quad \text{㉖}$$

(2) 실린더 헤드측 입력 압력  $P_h$ 를 구하면 다음과 같다.

$$P_h = F_1 / (\eta_c \cdot A_h) = 15400(\text{kgf}) / (0.9 \times 122.7(\text{cm}^2)) \approx 140(\text{kgf/cm}^2) \quad \text{㉗}$$

헤드측 펌프 축입력  $W_h$ 와 샤프트측 축입력

$W_s$ 는

$$W_h = 140 \times 10 / (612 \times 0.8) \approx 2.9 \text{ [kW]}$$

$$W_s = 7 \times 150 / (612 \times 0.8) \approx 2.1 \text{ [kW]}$$

이며, 따라서 2압 펌프 축입력  $W$ 는

$$W = W_h + W_s = 2.9 + 2.1 = 5 \text{ [kW]} \quad \textcircled{b}$$

(3) 실린더 로드축 단면적  $A_r$ 은

$$A_r = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \approx 83.1 \text{ [cm}^2\text{]}$$

이고, 실린더가 좌측으로 이동할 때의 속도  $V_2$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$V_2 = Q \cdot 10 / A_r = 147 \times 10 / 83.1 \approx 17.7 \text{ [m/min]} \quad \textcircled{a}$$

마찰력  $F_r$ 는 (1)에서와 마찬가지로 1600 [kgf]이고, 관성력  $F_a$ 는

$$F_a = m \cdot a = \frac{W}{g} \frac{\Delta V}{\Delta t} = 8000 \times \frac{17.7/60}{0.2} \approx 1204 \text{ [kgf]}$$

이다. 그러므로, 실린더 구동력  $F_2$ 는 다음과 같다.

$$F_2 = F_r + F_a = 1600 + 1204 = 2804 \text{ [kgf]}$$

실린더 로드축 압력  $P_r$ 은

$$P_r = F_2 / (\eta_c \cdot A_r) = 2804 / (0.9 \times 83.1) \approx 37.5 \text{ [gf/cm}^2\text{]}$$

로 계산되며, 따라서 릴리프 밸브 ①의 설정 압력  $P_s$ 는

$$P_s = P_r + 10 = 47.5 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} \quad \textcircled{b}$$

이다. 이 경우  $W_s$ 는 다음과 같이 계산된다.

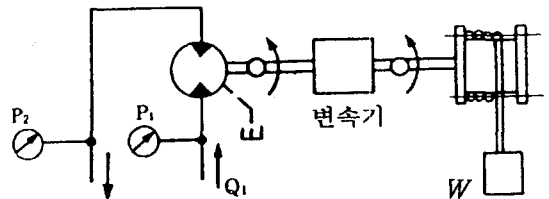
$$W_s = P_s \cdot Q / (612 \cdot \eta_c) = 47.5 \times 147 / (612 \times 0.8) = 14.3 \text{ [kW]}$$

이 때 헤드축 펌프 소요동력은 (1)에서 구한 0.2kW이며, 따라서, 2압 펌프 축입력  $W$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$W = W_s + W_h = 14.3 + 0.2 = 14.5 \text{ [kW]} \quad \textcircled{c}$$

(4) 평균 소요 동력  $L_m$ 은 다음과 같이 구해진다.

$$L_m = \left[ \frac{1}{T} (t_1 \cdot L_1^3 + t_2 \cdot L_2^3 + t_3 \cdot L_3^3 + t_4 \cdot L_4^3) \right]^{\frac{1}{2}} \\ = \left[ \frac{1}{60} (20 \cdot 9.8^3 + 10 \cdot 5^3 + 15 \cdot 14.5^3 + 15 \cdot 2.3^3) \right]^{\frac{1}{2}} \approx 9.5 \text{ [kW]}$$



<그림 3> 유압 모터에 의한 윈치 구동 회로

## 2.2 유압 모터 구동 회로

그림 3과 같이 유압 모터로 윈치(winch)를 구동시켜 중량물을 인양하는 유압 회로를 설계한다. 중량물의 무게는 5톤, 인양 속도 60 m/min이고, 윈치 드럼(中空 드럼으로 취급 가능)의 중량 및 평균 직경은 300 kgf 및 0.8 m이며, 감속기의 감속비는 1/12이다.

(1) 중량물을 1.5 s 동안에 정지 상태에서부터 60 m/min까지 가속시켜 인양함에 있어 유압 모터에 가해지는 부하 토크를 계산하여라. (이 때 유압모터 및 감속기 내 회전부의 관성 모멘트의 합은 2 kg·m<sup>2</sup>이며, 회전부에서의 점성 저항 부하는 무시한다.)

(2) 유압 모터 출력 동력을 구하고, 유압 모터 제품 카탈로그를 참고하여 유압 모터의 기종 및 용량을 선정하여라.

(3) 유압 모터 입구 압력과 출구 압력의 차 ( $\Delta P$ )와 공급유량( $Q_1$ )을 구하여라. (유압 모터의 기계 효율, 용적 효율에 관한 정보는 위 (2)에서 선정한 유압 모터 카탈로그에서 찾을 것)

(4) 스플식 4포트 밸브의 일종인 박용 밸브

로서 위의 유압 모터 공급 유량 및 방향의 제어를 수행하려 한다. 제품 카탈로그를 참고하여 밸브를 선정하고, 그 밸브에서의 압력 손실을 구하여라.

(5) 유압 펌프로부터 유압 모터에 이르는 관로는 압력유 공급 관로 및 회귀 관로 공히 길이 10 m, 관로 내경 32 mm이고, 이들 관로내에 급격히 굽은 엘보가 각각 5개씩 존재할 때 관로에서의 압력 손실을 구하여라. 단, 작동유의 비중은 0.89, 동점도는 32 cSt이다.

(6) 유압 펌프에서 발생시켜야 할 압력을 계산한 후 제품 카탈로그를 참고하여 펌프를 선정하여라. 또, 펌프 구동용 원동기로서 디젤 기관을 사용할 때의 소요 마력을 계산하여라. (사용하는 디젤 기관의 정격 회전 속도는 2200 rpm이다.)

<풀이>

(1) 유압 모터 출력축에서의 부하 토크 T는 다음 식으로부터 구해진다.

$$T = (T_{ad} + T_{aw} + T_w) \cdot \xi + T_{mr}$$

여기서  $T_{ad}$  : 원치 드럼의 관성 부하 토크,  $T_{aw}$  : 중량물의 관성 부하 토크,  $T_w$  : 중량물의 하중에 의한 외력 토크,  $\xi$  : 감속기의 감속비  $T_{mr}$  : 유압 모터 및 감속기 내 회전부의 관성 부하 토크를 나타낸다.

$$T = \left( I_d \cdot \alpha_d + \frac{W}{g} \cdot \frac{D_d^2}{4} \cdot \alpha_d + W \cdot \frac{D_d}{2} \right) \cdot \xi + I_{mr} \cdot \frac{\alpha_d}{\xi}$$

여기서, 원치 드럼의 직경  $D_d = 0.8[m]$ 이고,  $D_d^2/4 = 0.16[m^2]$ ,  $D_d/2 = 0.4[m]$ , 원치 드럼의 관성모멘트

$$I_d = \frac{W_d}{g} \cdot \frac{D_d^2}{4}$$

$= 300 \times 0.16 = 48[kg \cdot m^2]$ , 원치 드럼의 회전 속도

$N_d = V / (\pi \cdot D_d) = 23.89[rpm]$ , 원치 드럼의 각가속도

$$\alpha_d = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{\Delta N_d}{\Delta t} = \frac{2 \times 3.14 \times 23.89}{60 \times 1.2} = 2.08[s^{-2}]$$

$W/g = 5000[kg]$ ,  $W = 5000[kgf]$ ,  $\xi = 1/12$   
 $I_{mr} = 2[kg \cdot m^2]$ 이므로, 부하 토크 T는 다음과 같이 계산된다.

$$T = (48 \times 2.08[kg \cdot m^2/s^2] + 5000 \times 0.16 \times 2.08[kg \cdot m^2/s^2] + 5000 \times 0.4[kgf \cdot m]) \times$$

$$\frac{1}{12} + \frac{2 \times 2.08}{(1/12)} [kg \cdot m^2/s^2]$$

$$= \frac{(10.19 + 169.80 + 2000)}{12} [kgf \cdot m]$$

$$+ 49.92[kgf \cdot m]$$

$$= 231.59[kgf \cdot m] : (1)의 답$$

광복 50년 통일로 미래로