

유압회로 설계(회로 계산)의 사례(Ⅱ)

부산수산대학교
부교수 이일영

(2) 유압모터 출력동력을 구하는 식은 아래와 같다.

$$L_{out} = \frac{2\pi NT}{4500} \text{ [PS]}$$

유압 모터 회전 속도

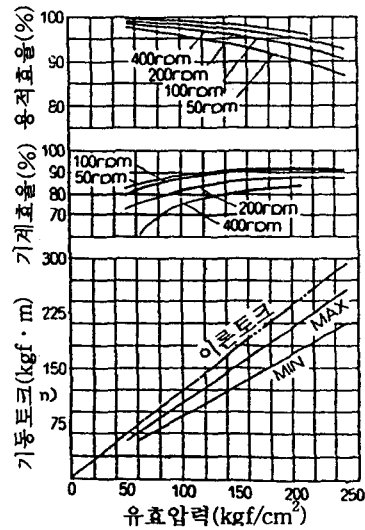
$$N = \frac{N_d}{\xi} = \frac{23.89}{(1/12)} = 286.68 \text{ [rpm]} \text{ 이므로,}$$

식(3)으로부터 L_{out} 는 다음과 같이 구해진다.

$$L_{out} = \frac{2\pi \times 286.68 \times 231.59}{4500} = 92.65 \text{ [PS]}$$

이상의 출력과 회전 속도를 만족시키는 유압 모터로서 제품의 가격, 무게, 부피 등의 조건들을 고려하여 제품 카탈로그 상에서 유압 모터를 선정하면 된다. 여기서는 한 예로서 U社의 성형모터, 행정 용적 745 cc/rev을 선정하기로 하며, 이 유압 모터의 일반 성능 곡선을 그림 4에 나타내었다.

(3) 선정한 유압 모터의 기계 효율 η_m , 용적 효율 η_v 는 그림4의 성능 곡선 상에서 $\eta_m \approx 0.85$, $\eta_v \approx 0.94$ 로 구해지며, ΔP_m , Q_i 에 관한 식은 연재 해설(4)의 식(6.2) 및 (6.3)으로부터 다음과 같이 구해진다.¹⁾



〈그림 4〉 성형 모터의 일반 성능 곡선
[행정 용적 745 cc/rev]

$$\Delta P_m = \frac{200 \pi \cdot T}{q_{mth} \cdot \eta_m}$$

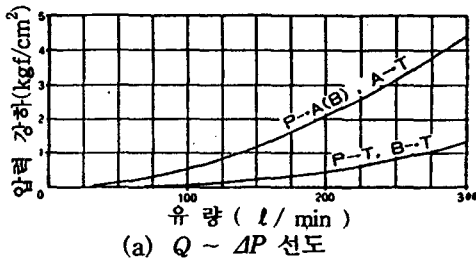
$$Q_i = \frac{q_{mth} \cdot N}{1000 \cdot \eta_v}$$

따라서 ΔP_m , Q_i 는 다음과 같이 계산된다.

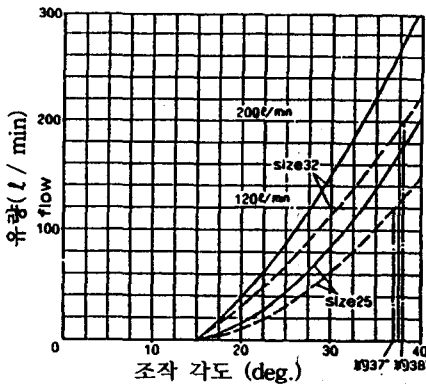
$$\Delta P_m = \frac{200 \times 3.14 \times 231.59}{745 \times 0.85} = 229.67 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$Q_i = \frac{745 \times 286.68}{1000 \times 0.94} = 227.21 \text{ (l/min)}$$

(4) 위 (3)에서 구한 압력과 유량 조건을 만족하는 밸브 선정의 한 예로써 여기서는 U社의 박용 밸브(예 : 사이즈 32, 정격 압력 250 kgf/cm², 정격 유량 300 l/min, 배관 치수 1½")를 선정한다. 이 밸브의 Q~ΔP선도 및 θ(deg)~Q선도를 그림 5에 나타내었다. 그림5(a)로부터 밸브내 유로 P→A(B)에서의 압력 손실 ΔP_{v1} ≃ 2.8kgf/cm², 유로 B→T에서는 ΔP_{v2} ≃ 0.8kgf/cm²임을 알 수 있다.(작동유 : VG 56, 온도 : 50℃)



(a) Q ~ ΔP 선도



(b) θ ~ Q 선도

<그림 5> 박용밸브의 특성[밸브 사이즈 32]

(5) 기름 공급 관로와 회귀 관로가 완전히 동일한 조건이므로 압력 손실 또한 동일하다. 관로내 유속 V₁, 레이놀즈수 Re는 다음과 같이 계산된다.

$$V_1 = \frac{Q \times 10^{-3}}{60} \cdot \frac{4}{\pi \cdot D_1^2}$$

$$= \frac{227.2 \times 10^{-3} \times 4}{60 \times 3.14 \times 0.032^2} = 4.71(\text{m/s})$$

$$Re = \frac{V_1 \cdot D_1}{\nu} = \frac{4.71 \times 0.032}{32 \times 10^{-6}} = 4710(\text{즉, 난류})$$

압력 손실 ΔP₁는 다음의 계산식으로부터 구해진다.¹⁾

$$\Delta P_1 = \left(\lambda \frac{l}{D_p} + 5\epsilon \right) \frac{V_2}{2g} \gamma$$

여기서 λ는 관마찰 손실 계수로서, 흐름이 난류이므로

$$\lambda = 0.3164/Re^{0.25} = 0.3164/4710^{0.25} = 0.038\text{로 계산된다.}$$

90° 엘보에서의 손실 계수 ε는 1.12로 고려한다.²⁾

따라서, ΔP₁은 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta P_1 = \left(0.038 \times \frac{10}{0.032} + 5 \times 1.12 \right) \times \frac{4.71^2}{2 \times 9.8} \times 890(\text{kgf/m}^2) = 1.76(\text{kgf/m}^2)$$

(6) 유압 회로 소요 압력 P_c는 다음 식으로부터 구해진다.

$P_c = \Delta P_m + (\Delta P_{11} + \Delta P_{v1} + \Delta P_{v2} + \Delta P_{12})$
여기서 ΔP_m : 부하 압력, ΔP₁₁ 및 ΔP₁₂ : 공급 관로 및 회귀 관로에서의 손실 압력, ΔP_{v1} 및 ΔP_{v2}는 공급 관로 및 회귀 관로에 설치된 밸브에서의 손실 압력이다.

따라서 P_c는 다음과 같이 계산된다.

$$P_c = 229.67 + (1.76 + 2.8 + 0.8 + 1.76) = 236.79(\text{kgf/cm}^2)$$

릴리프 밸브 오버라이드 특성을 고려하여, 유압 펌프 소요 압력 P_p는 다음과 같이 구해진다.

$$P_p = \frac{P_c}{0.85} = \frac{236.79}{0.85} = 278.58(\text{Ps})$$

유압 펌프의 행정 용적 q_{ph}(cc/rev)와 유압

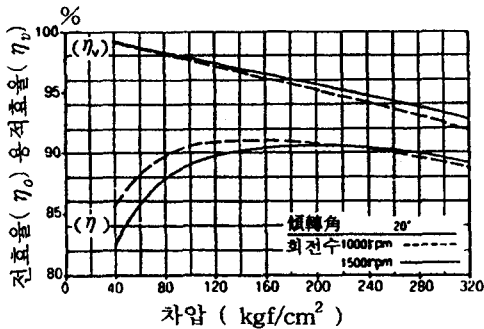
펌프 유량 Q_p 의 관계는 아래와 같다.

$$q_{pth} = \frac{1000 \cdot Q_p}{N_p \cdot \eta_v} \text{ [cc/rev]}$$

일단 η_v 를 0.95로 가정하여 위의 식을 계산하면

$$q_{pth} = \frac{1000 \times 227.21}{2200 \times 0.95} = 108.71 \text{ [cc/rev]}$$

위에서 구한 P_p , q_{pth} 및 N_p 의 조건들을 고려하여 제품 카탈로그에서 유압 펌프를 선정할 수 있으며, 여기서는 한 예로서 R社의 가변 용량형 사축식 피스톤 펌프, 행정 용적 125 cc/rev를 선정하였다. 효율 선도는 그림 6에 나타낸 바와 같다.



〈그림 6〉 사축식 피스톤 펌프의 일반 성능 곡선
[행정 용적 : 125cc/rev max.]

유압 펌프 구동 축동력 L_p 는 그림 6의 효율 수치들을 사용하여 다음과 같이 계산된다. (펌프의 행정 용적은 스트로크 리미터를 사용하여 115cc/rev으로 최고치를 변경한다.)

$$Q_p = q_{pth} \cdot N_p \cdot \eta_v / 1000 = 115 \times 2200 \times 0.92 / 1000 = 232.8 \text{ [l/min]}$$

$$\begin{aligned} L_p &= P_p \cdot Q_p / (450 \cdot \eta_e) \\ &= 278.58 \times 232.8 / (450 \times 0.88) \\ &= 163.77 \text{ [PS]} \end{aligned}$$

내연 기관 선정시 출력은 소요 동력의 110~120%로 정하는 것이 일반적이므로, 여기서는 115%로 정하면 디젤 기관의 정격 출력 L_E 는 다음과 같이 구해진다.

$$L_E = 163.77 \times 1.15 \approx 188 \text{ [PS]}$$

따라서 188PS를 초과하는 디젤 기관을 선정하면 되겠다.

한편, 여기서 선정한 유압 펌프는 가변 용량형이므로 카탈로그 상에 제시된 적절한 레귤레이터를 선정(예 : 파워워 매치 제어 레귤레이터)함으로써 정격 회전속도보다 저속 구동시의 에너지 손실을 줄일 수 있는 설계가 가능하다.

$$P_p = \frac{P_c}{0.85} = \frac{236.79}{0.85} = 278.58 \text{ [Ps]}$$

유압 펌프의 행정 용적 q_{pth} [cc/rev]와 유압 펌프 Q_p 의 관계는 아래와 같다.

$$q_{pth} = \frac{100 \cdot Q_p}{N_p \cdot \eta_v} \text{ [cc/rev]}$$

일단 η_v 를 0.95로 가정하여 위의 식을 계산하면

$$q_{pth} = \frac{1000 \times 227.21}{2200 \times 0.95} = 108.71 \text{ [cc/rev]}$$

위에서 구한 P_p , q_{pth} 및 N_p 는 조건들을 고려하여 제품 카탈로그에서 유압 펌프를 선정할 수 있으며, 여기서는 한 예로서 R社의 가변 용량형 사축식 피스톤 펌프, 행정 용적 125cc/rev를 선정하였다. 효율 선도는 그림 6에 나타낸 바와 같다.

유압 펌프 구동 축동력 L_p 는 그림 6의 효율 수치들을 사용하여 다음과 같이 계산된다. (펌프의 행정 용적은 스크로크 리미터를 사용하여 115cc/rev으로 최고치를 변경한다.)

$$\begin{aligned} Q_p &= q_{pth} \cdot N_p \cdot \eta_v / 1000 \\ &= 115 \times 2200 \times 0.92 / 1000 \\ &= 232.8 \text{ [l/min]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_e &= P_p \cdot Q_p / (450 \cdot \eta) \\
 &= 278.58 \times 232.8 / (450 \times 0.88) \\
 &= 163.77(\text{PS})
 \end{aligned}$$

내연 기관 선정시 출력은 소요 동력의 110~120%로 정하는 것이 일반적이므로, 여기서 115%로 정하면 디젤 기관의 정격 출력 L_e 는 다음과 같이 구해진다.

$$L_e = 163.77 \cdot 1.15 \approx 188(\text{PS})$$

따라서 188PS를 초과하는 디젤 기관을 선정하면 되겠다.

한편, 여기서 선정한 유압 펌프는 가변 용량형이므로 카탈로그 상에 제시된 적절한 레귤레이터를 선정(예 : 파우워 매치 제어 레귤레이터)함으로써 정격 회전속도보다 저속 구동시의 에너지 손실을 줄일 수 있는 설계가 가능하다.

3. 맺음말

본 해설에서는 유압 회로의 대표적 사례인

유압 실린더 구동 회로와 유압 모터 구동 회로를 대상으로 하여 기본적 회로 계산 과정을 해설하였다. 이러한 회로 계산 과정은 유압 시스템의 신규 설계 혹은 개조 설계시에 가장 먼저 수행하게 되는 중요한 과정이다.

실제 유압 장치의 설계를 위해서는 여기서 해설한 내용에 탱크, 쿨러, 필터, 배관 등의 주변 기기에 대한 계산 과정이 추가되어야 하며; 여기서 언급된 실린더, 펌프, 유압 모터 등에 관해서도 더욱 상세한 검토가 있어야 함은 물론이다.

본 해설 내용이 어선 관련 기술인들의 유압 시스템 설계 지식 확립에 다소나마 보탬이 되기를 기대해본다.

참고문헌

- 1) 이일영, "어선의 자동화를 위한 유압기술 (4)", 어선, 제50호, p.30-40.
- 2) 송창섭, "유압기술 실무 매뉴얼", 도서출판 기술, p.387.

— 바르고 고운말

생활속의 우리말 —