

회전용적형 소방펌프 개발에 관한 연구

김유식

진주국제대학교 소방방재공학부

A Study on the development of Fire rotary volume pump

Kim Yooshik

JinJu International University

1. 서론

1.1 펌프(Pump)의 특징

본 펌프(Pump)의 제품은 성능에 비해 소형, 경량의 고성능 펌프로써 기존의 고성능 펌프에 비해서 약 1/2 이하의 크기에서 동일한 성능을 발휘할 수 있는 제품으로 설비에 있어서 설치면적을 대폭 줄일 수 있습니다. 제품의 개략적인 구조로는 회전하는 주로터를 중심으로 일정한 위치의 원주면에 밸브의 기능을 가지는 다수개의 보조로터로 구성되고, 주로터와 보조로터는 일정한 회전비로 회전함으로써 유체를 흡입, 배출하는 기능을 한다.

펌프의 유량에 비례하는 폭을 가진 펌프하우징, 흡입과 배출을 위한 공간 및 통로를 가지는 입구, 출구 케이스, 로우터 등으로 구성되어 있습니다.

사용유체에 따라서 각 부품들의 재료선택을 할 수 있으며 내부식용의 요구에 만족할 수 있습니다. 또한, 원동기의 회전방향을 바꾸면 입구와 출구의 방향이 바뀌어지는 특징이 있으므로 공급과 배출을 교대로 할 필요가 있을 경우, 2대의 펌프를 사용하지 않고 1대의 펌프로 원동기의 회전방향만 바꾸어 줌으로써 유체의 공급과 배출이 가능합니다.

- ① 동일성능의 국내외의 어떠한 펌프보다 소형 경량으로 설치면적을 적게 차지합니다.
- ② 펌프의 효율 및 성능이 좋고, 적용범위가 광범위 합니다.
- ③ 소요동력이 타 펌프에 비해 절약되므로 운영면에서 경제적입니다.
- ④ 고압을 필요로 할 경우에도 다단 또는 다수개의 펌프를 사용할 필요가 없습니다.
- ⑤ 용적형이므로 펌프의 회전수에 따라 유량 및 양정이 비례적으로 변합니다.

1.2 펌프(Pump) 개발의 필요성

유체를 한 곳에서 다른 곳으로 이송하는 방법에는 여러 가지가 있으나 그 중에 가장 효과적이며 경제적인 이송방법이 펌프(Pump)를 이용한 가압방법이 아닌가 생각한다. 이

러한 펌프에는 사용 목적과 용도에 따라 다양한 펌프가 연구 개발되어 있으며, 그 적용분야는 산업용, 농업용, 생활용, 소방용 등으로 나눌 수 있다. 특히 산업 및 소방용(소방차량, 소방헬기)에는 고양정과 고 유량이 필요로 하나 이에 만족하는 가압(펌프)장치는 현실적으로 어려운 사항이다.

1.3 사용에 따른 펌프(Pump)의 종류

- 1) 산업용 : (1). 인라인 펌프
(2). 부스터시스템 펌프
(3). 다단 펌프
(4). 표준형 펌프
- 2) 생활용 : (1). 화학용 정량(PR) 펌프
(2). 화학용 마그네트(PM) 펌프
(3). 횡형 다단(MHI/MP/MC) 펌프
(4). 깊은 우물용(PC) 펌프
(5). 급수용(PW) 펌프
(6). 농공업용(PU) 펌프
(7). 다목적용(PF/PWN) 펌프
(8). 배수용 수중(PD/PDV) 펌프
(9). 부스터(PW/ PW/U/C/BE) 펌프
(10). 심정용 수중(PLS) 펌프
(11). 온수순환용(PH) 펌프
(12). 가압용(PB) 펌프

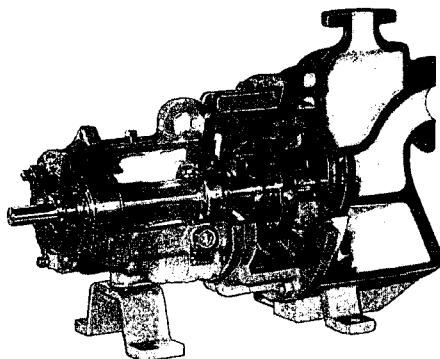


Fig. 1. 자흡식 펌프

중형빌딩 (가압용)

- 다세대주택, 복합상가(빌라, 연립주택)
- 복합상가 및 대형음식점 등
- 깊은 지하수나 대수량이 필요하곳

- 수압이 약하고 일정치 않은 고지대 사용에 적합
- 건축비용이 절감되며 위생적입니다. (옥상 물탱크가 불필요)
 - 고품상의 최적설계
 - 우물용에 적합

펌프의 크기는 폭×높이×길이(약 16×20×15cm)인 제품의 시험성능곡선

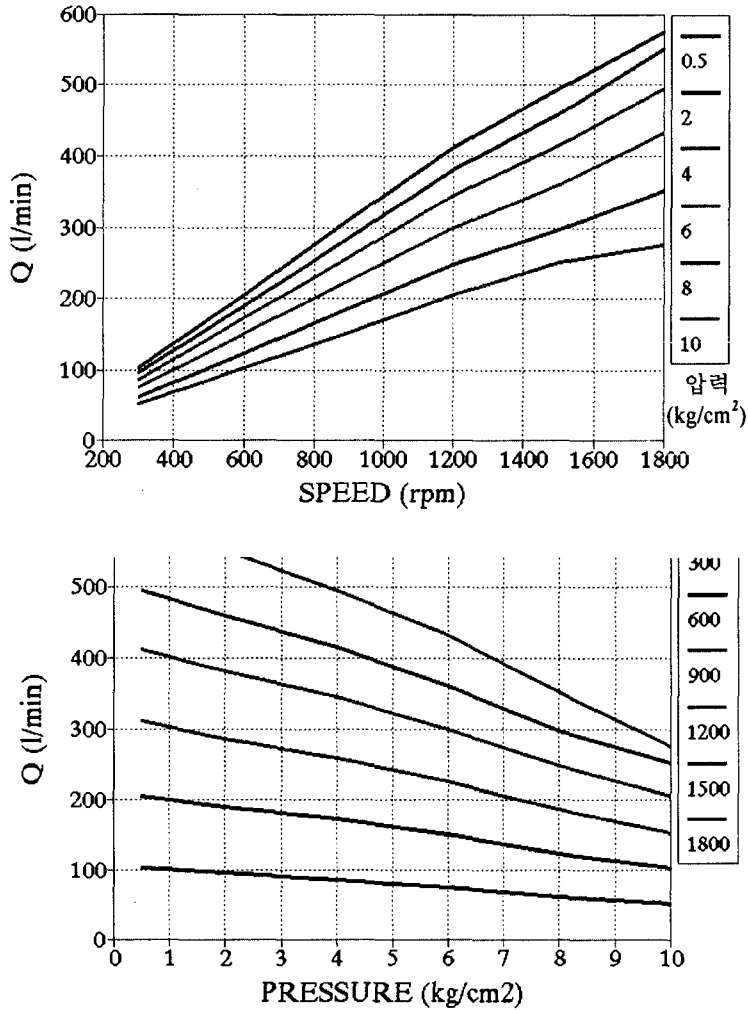


Fig. 2. 펌프의 성능곡선

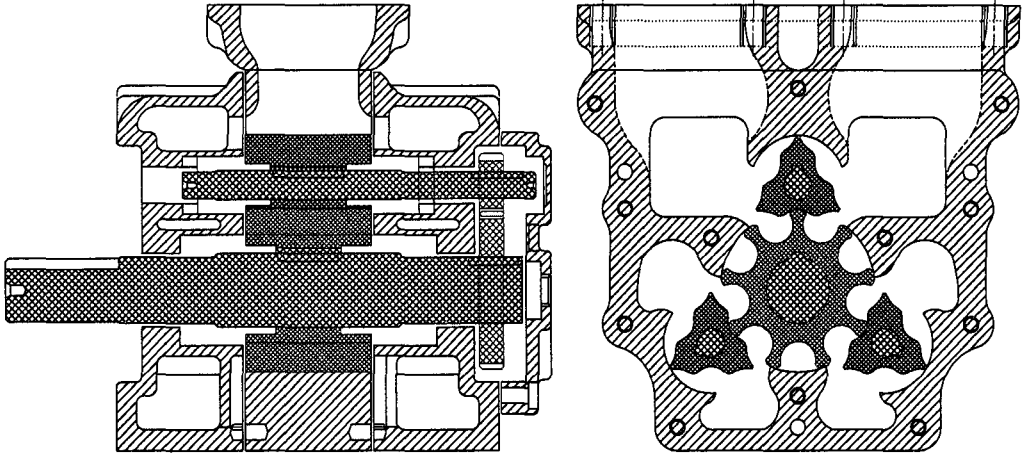


Fig. 3. 펌프의 내부구조

캐비테이션 (공동현상)은 펌프의 흡입양정이 높거나, 유속의 급변, 와류 발생, 유로에서의 장애 등으로 그 때의 압력이 포화 증기압 이하로 내려가 기포가 발생되며, 소음과 진동이 발생되고, 유량 및 양정 감소현상으로 효율 저하(축동력 증가)와 기포가 붕괴 되면서 임펠라, 케이싱이 침식(Erosion)된다. 이를 방지하기 위해서는 가장 쉬운 수중펌프를 사용한다.

수중펌프는 임펠라와 케이싱이 완전히 물에 잠기어 운전되므로 캐비테이션이 발생할 우려가 전혀 없다. 또 펌프의 설치위치를 낮추어 흡입수두를 줄인다.(NPSHa을 크게한다)

또한 펌프의 회전수를 줄이고, 흡입관경을 크게 하고 흡입 측에 밸브 및 엘브를 최소화 하여 흡입 손실을 줄인다.

2) 관련이론과 양정(H)의 계산

$$H = \frac{P_d - P_s}{\gamma} + \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} + y + h_f$$

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

이때, 직경 $D_d = 0.05m$, $D_s = 0.065m$ 이다.

주손실은

$$h_f = f \frac{LV^2}{D 2g}, f = 0.04$$

여기서, f는 Darcy 마찰계수이다.

부차적 손실은

$$h_i = K \frac{V^2}{2g}$$

3) NPSH(Net Positive Suction Head)

NPSH(유효흡입수두)란, 펌프 운전시 캐비테이션(Cavitation : 공동현상) 발생없이 펌프를 안전하게 운전되고 있는가를 나타내는 척도임.

따라서 NPSH를 세분하면 NPSHavailable 과 NPSHrequired 값으로 분류할 수 있다.

또한 NPSH단위는 미터(m) 및 피트(Feet) 길이 단위로 나타낼 수 있다.

* NPSHavailable : 유효흡입수두 (이하 NPSHa라 명기)

NPSHa는 펌프의 설치조건(수면과 펌프와의 거리), 흡입관경 및 흡입배관의 길이, 이송액체의온도등, 펌프설치조건 및 배관System에 의하여 결정되는 것이 바로 NPSHa 값이다.

가) 계산에 의해 NPSHa를 구하는 방법

① 흡입측이 대기압을 받는경우(760mmHg = 1.0332Kg/cm² = 10.332mAq)

$$NPSHa = Pa - Hs - Hf - Pv$$

여기에서 Pa = 대기압 (10.332m)

Hs = 흡수면에서 임펠라 중심까지 거리 즉 흡입양정 (흡입이면 -, 가압이면 +)

Hf = 흡입배관이 총 손실수두

Pv = 사용액체의 포화 증기압(사용액체의 온도 및 종류에 따라 결정)

예) 20℃ 물(비중 1.0) 일 경우 포화증기압은 0.023kg/cm² 임. (水頭로 0.23m)

상기 식은 흡입측이 대기압을 받는 경우이고, 흡입측이 밀폐된 수조 및 탱크인 경우에는 대기압력(10.332m)대신 수조 및 탱크의 내압을 적용한다. 따라서 NPSHa 값은 대기압(10.332m)에서 흡입측에 관련된 흡입양정, 흡입배관손실, 사용액체의 포화증기압을 마이너스(-) 하면 바로 NPSHa 값이 산출된다. 따라서 수중펌프에서 NPSHa 값은 충분한 여유가 있다고 말할 수 있다. 그 이유는 수중펌프 자체가 수중에 잠겨 있어 흡입양정(Hs)이 Positive(+)이고, 또한 흡입배관이 없어 흡입손실이 0(Zero)이므로 NPSHa 값은 10m이상 충분한 여유가 있어 NPSHa Full (NPSHa 값이 여유가 많음) 이라 할 수 있다.

4) NPSHrequired : 필요흡입수두 (이하 NPSHr 이라 명기)

NPSHr은 펌프 제작자에 의해서 결정되는 흡입수두로 동일사양 펌프라도 펌프 제작자 또는 설계자에 의해서 NPSHr값이 결정된다. NPSHr 값을 구하는 방법은 실험에 의해서 NPSHr 값을 구하는 방법과 계산에 의해서 구하는 방법이 있으나, 실험에 의해서 구하는 방법이 더 정확한 NPSHr 값을 구할 수 있다.

가) 계산에 의해 NPSHr을 구하는 방법

① 토마의 캐비테이션 계수(σ)

$$\sigma = \text{NPSHr} / H \text{ ----- (1-1)}$$

여기에서 NPSHr : 필요흡입수두

H : 펌프의 전양정

σ : 토마의 계수

미국의 H.I.S(Hydraulic Institute Standard) 발표에 의한 토마의 계수는,

$$\text{토마의 계수 } (\sigma) = 7.88 \times 10^{-5} (Ns)^{4/3} \text{ (편흡입 펌프)}$$

$$(\sigma) = 5.0 \times 10^{-5} (Ns)^{4/3} \text{ (양흡입 펌프)}$$

토마의 계수(σ)는 펌프 크기나 기종에 상관없이 Ns(비교회전도)에 의해서 정해지는 무차원 상수이다.

② 비교 회전도 (Ns)

$$Ns = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \text{ [m x m}^3\text{/min x RPM] ----- (1-2)}$$

③ 흡입 비교회전도 (S)

$$S = \frac{N\sqrt{Q}}{\text{NPSHr}^{3/4}} \text{ ----- (1-3)}$$

여기에서 N = 펌프 회전수 (RPM)

Q = 펌프의 최고 효율점에서 유량 (m³/min)

NPSHr = 필요 흡입수두

따라서 식(1-3)에 식(1-2)의 유량과 회전수를 대입하면

$$\begin{aligned} S &= \frac{N\sqrt{Q} \times H^{3/4}}{\text{NPSHr}^{3/4} \times H^{3/4}} = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \left(\frac{H}{\text{NPSHr}} \right)^{3/4} \\ &= Ns \left(\frac{H}{\text{NPSHr}} \right)^{3/4} = Ns \left(\frac{1}{\sigma} \right)^{3/4} \end{aligned}$$

그러므로 흡입 비교회전도(S)는

$$S = Ns \left(\frac{1}{7.88 \times 10^{-5} \times Ns^{4/3}} \right)^{3/4} = 1195 \approx 1200 \text{ (편흡입펌프)}$$

$$S = Ns \left(\frac{1}{5.0 \times 10^{-5} \times Ns^{4/3}} \right)^{3/4} = 1743 \approx 1740 \text{ (양흡입펌프)}$$

각각의 흡입 비교회전도(S)를 식(1-3)에 대입하여 필요 흡입수두(NPSHr)를 산출하면

$$\text{편흡입 펌프인 경우 NPSHr} = \left(\frac{N\sqrt{Q}}{1200} \right)^{4/3}$$

$$\text{양흡입 펌프인 경우 NPSHr} = \left(\frac{N\sqrt{Q}}{1740} \right)^{4/3} \text{ 이다.}$$

나. 유량(Q)의 계산

$$Q = \frac{8}{15} c_1 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \sqrt{2gz^{5/2}}$$

$\theta=90^\circ$ 인직각 삼각 위어는

$$Q = \frac{8}{15} c_1 \sqrt{2gz^{5/2}}, \quad c_1 = 0.612$$

다. 수동력(L_w) 및 축동력(L_s)의 계산

$$L_w = \frac{\gamma Q H}{75} \text{ (HP)} \quad \text{or} \quad L_w = \frac{\gamma Q H}{102}$$

라. 효율계산

$$\eta_p = \frac{L_w}{L_s}$$

마. 비회전도(N_s) - 최고 효율점에서

$$N_s = \frac{N \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (\text{rpm} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^3/\text{se} \text{ 이다.})$$

나) 실험에 의한 방법

NPSHr 실험(캐비테이션 실험)을 간단히 쉽게 요약하면, 펌프는 운전점에서 운전하는 상태에서 흡입측에 진공을 서서히 걸면 펌프의 흡입력이 점점 떨어지면서 펌프에 이상 현상이 발생한다. 펌프의 이상 현상으로는 소음과 진동이 발생하며, 유량과 양정의 저하됨이 가장 대표적인 예로 이러한 현상을 캐비테이션(공동현상) 현상이라 한다.

따라서 NPSHr값을 구하는 실험으로는 흡입측에 진공을 걸면 양정의 저하가 제일 먼저 발생하는데 양정이 3% 감소하는 바로 그때가 캐비테이션 발생 시작초기 단계라 할 수 있다. 즉, 양정이 3% 감소하는 그때의 진공압력(mmHg)을 수두(m)로 환산하면 그값이 바로 NPSHr 값이 된다.

예를들면, 양정이 3% 감소할 때 그때의 흡입탱크의 진공압력이 520mmHg이라면

$$\text{NPSHr 값은 } (520\text{mmHg}/760\text{mmHg}) \times 1.0332\text{Kg/cm}^2 = 0.7\text{Kg/cm}^2 = 7\text{m}$$

NPSHr 값은 7m임.(양정 3% Drop은 실험에 의해 확인되어 H.I.S 및 국제단체에서 인정)

따라서 NPSHa가 NPSHr 보다 큰 경우에는 펌프 내부에서 캐비테이션이 발생하지 않고 안정된 상태에서 펌핑 할 수 있다. 그러므로 캐비테이션을 방지하기 위해서는 NPSHa > NPSHr x 1.3이 되도록 선정 해야하며, NPSHa = NPSHr이 같은 조건이면 캐비테이션 발생 시작 초기 현상이므로 항상 NPSHa값이 NPSHr값 보다 30% 이상 커야 한다.

예를들어 NPSHr값이 7m 이면 NPSHa값은 최소한 9m 이상이 되도록 펌프를 설치해야 한다. 수중펌프는 NPSHa값이 충분한 여유가 있고 수중펌프자체가 수중에 잠기어 운전되므로 NPSHr 값은 큰 의미가 없음. 따라서 L.W.L(Lower Water Level)위치만 정확히 명

기하고 L.W.L이하로 수위가 떨어지지 않도록 주의하면 펌프 운전하는 데는 전혀 이상이 없고, 또한 캐비테이션 발생도 전혀 없는 것으로 사료된다.

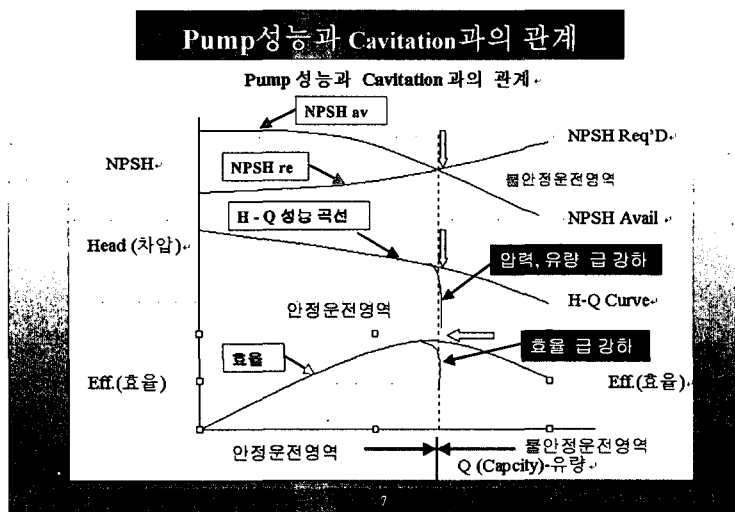


Fig. 4 펌프의 성능과 이상현상

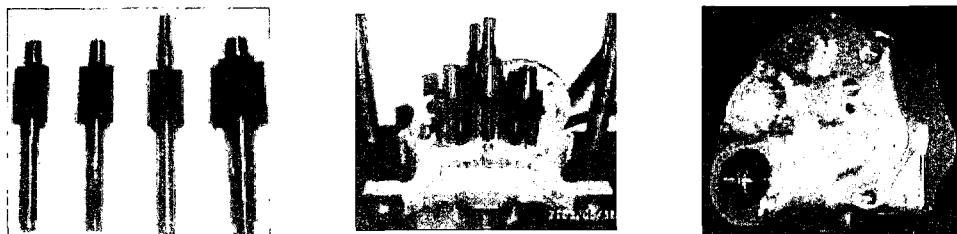


Fig. 5 펌프의 내부구조

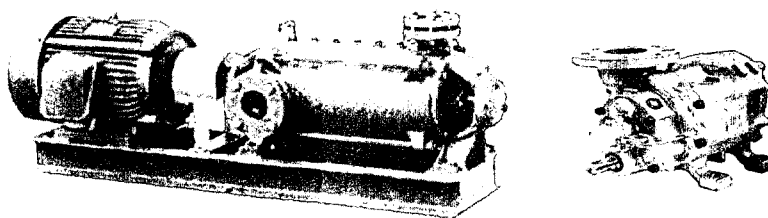


Fig. 6 기존펌프의 비교

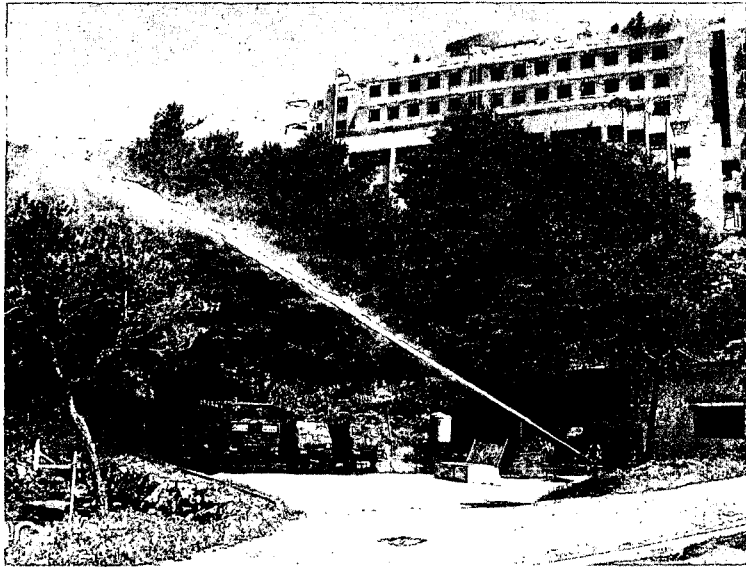


Fig. 7 펌프의 실제방수

3. 결론

1. 기구학적 설계 및 고급 알루미늄합금 재질을 적용하여 소형, 경량화 함.
2. 고유량(3000l/min), 고양정(35kg/cm²) 가능
3. 펌프구동과 동시에 흡입가능(흡입체크밸브불필요.)
4. 고효율에 따른 내구성과 신뢰성을 확보함.
5. 산업용 고성능 펌프, 고층 건물용 고압 급수펌프
6. 소방관련 장비의 고압펌프 소방차량용 고압펌프(경량화로 항공기
7. 제조원가의 최소화로 가격 경쟁력 확보(수입대체)와 시너지효과 기대.