

## 기술노트

# 물 消火設備( I )

金 相 旭\*

### 1. 물의 소화

물은 냉각효과가 크고 쉽게 구할 수 있는 경제적 물질이다. 냉각효과는 큰 비열과 증발잠열 때문이며, 특히 증발잠열이 주된 요인이 된다. 즉 증발시 주위로부터 많은 열을 빼앗기 때문에 좋은 소화약제가 될 수 있다. 생성된 수증기는 불연성기체이므로 불주위의 공기와 혼합하여 산소농도를 낮추게 되어 질식효과도 다소 수반된다. 그러나 냉각효과보다는 매우 미미한 편이다. 물분무 방식에서는 분무의 용이한 증발로 인해 질식효과도 제법 증대된다. 그렇다고 스프링클러 방식보다 소화효과가 반드시 더 큰 것은 아니다. 소화효과는 가연물의 종류, 구성형태, 그리고 연소의 형태 즉 표면화재인가 심부화재인가 등에 따라 달라진다.

### 2. 물소화 설비의 구성계획

#### 가. 소화용수 계획

- ① 소화용수의 선택 : 시수(수도물), 지하수, 지천수(강물, 호수 등), 해수
- ② 소화용수의 조달방식 : 자가조달, 외부지원, 자가조달 및 외부지원의 병용
- ③ 소화용수의 소요 확보량 산정 ; 나라마다 소요확보량 산정의 기준이 반드시 일치하지는 않으나, 물소화설비의 종류에 따라 법령으로 제정해 두거나 코우드(Code)화 하고 있으므로 이에 준하

社和엔지니어링 代表理事(소방기술사)

는 것이 통례이다.

#### 나. 주수 계획

- ① 살수 기기 :
  - 고정기계식(스파링클러 헤드, 물분무 헤드 등)
  - 수동조작식(옥내소화전설 및 옥외소화전설의 호스 및 노즐, 연결송수관설비의 호스 및 노즐 등)

② 고정기계식의 경우 주수밀도(Water Density)의 개념을 바탕으로 살수기기의 규격, 배열 등이 결정된다.

\* 주수밀도 : 바닥 단위면적( $m^2$  또는  $ft^2$  등)에 대해 단위시간(주로 분단위)당 주수되는 물의 평균량(리터 또는 갤런)으로 정의된다. 따라서 주수밀도의 단위는 liter/min./ $m^2$  또는 galon/min./ $ft^2$  등으로 나타내어진다.

#### 다. 배관 계획

- ① 관로의 배열(Piping Arrangement)
  - Loop : 옥외소화전설과 같은 지하매설배관에 많이 적용된다. 지상 배관의 경우 특히 옥외 물분무설비에서 많이 응용된다.
  - Dead End 식 : 주로 지상주행배관에 많이 적용된다.
    - \*주요관로에 대해서는 관로내의 통수소재(Water Flushing)가 가능하도록 조치하여 이물질(異物質)의 축적을 방지할 수 있게 하는 것이 중요하다.

## ② 관로의 크기

• 옥외소화전설비와 같은 지하 매설배관에 대해서는 유속이 1.5m/sec를 초과하지 않도록 대구 경화하여 송수원(펌프 등)으로부터 수리적으로 최원거리의(Hydraulically Most Reomte) 배관까지 압력손실을 가급적 적게 함으로써 배관내의 각 부분의 수압차를 최소화하는 것이 통상적이다.

• 지상배관의 경우 물소화설비의 종류에 따라 배관구경이 법령화 또는 코우드화되어 있지 않은 부분에 대해서는 1.5m/sec~3.0m/sec의 유속을 초과하지 않게 한다.

### 라. 송수 계획

물은 저흔자 절로 움직일 수는 없으므로, 흐르기 위해서는 외부로부터 힘이 작용되어야 한다. 송수를 위한 외력으로는 지구의 인력, 압축공기의 팽창력 및 동력에 의한 기계적 힘이 있다. 이들을 이용한 것이 각각 중력수조, 압력수조 및 펌프설비이다. 송수계획은 이들 중 어느 하나 또는 둘 이상의 복합형태로 이루어진다.

이들 방식을 어떻게 활용할 것인가는 소방대상물의 여건에 따라 판단해야 할 문제이지만, 경제성을 고려하면서 고도의 송수신뢰성을 보여줄 수 있게 구성할 필요가 있다. 특히 중력수조 이외의 방식이 단독 또는 병용될 경우에는 작동의 자동화에 대한 신뢰성 있는 방법의 계획과 실시는 물소화설비에서 중시되어야 할 가장 중요한 사항의 하나이다.

### ① 중력수조(Gravity Tank)

#### • 설치높이 :

당해 소화설비에서 송출구로부터 수리적 최원거리에 있는 살수 기기에 대해 허용 최소방수압을 줄 수 있는 낙차 이상의 높이가 필요하다.

\*수리적 최원거리 : 수조의 송출구로부터 허용 최소방수량이 배관속을 흐를 때 압력손실이 최대가 되는 살수기기까지의 거리를 일컫는다.

#### • 송출측 배관의 기기설치 :

수조의 송출구측 배관에는 개폐표시형의 송수제어밸브(예: OS & Y 형 개폐밸브)와 스트레이너를 설치한다(그림 1 참조). 송수제어밸브는 배관상의 하자발생률 문제점이 있을 경우 이를 보수하기

위해 물흐름을 차단하고자 할때 사용할 수 있으며, 스트레이너는 수조내의 이물질(異物質)이 배관내로 유입되는 것을 막기 위한 걸름장치이다. 만약, 펌프 또는 압력수조에 의한 송수방식이 중력수조의 송수배관과 병용, 연결되는 경우(그림 2 참조)에는 체크밸브도 설치함으로써 펌프(또는 압력수조)의 작동시 물이 역류되어 중력수조내로 유입되지 않도록 해줄 필요가 있다. 이들의 설치순서는 송출구측에서 시작하여 송수제어밸브, 스트레이너, 체크밸브의 순으로 하며, 크기(호칭구경)는 송수배관의 그것과 일치하거나 그 이상이 되어야 한다.

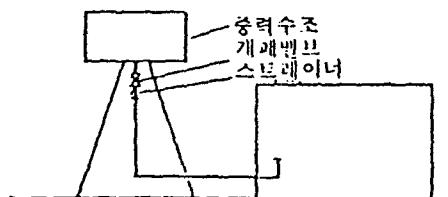


그림 1. 중력수조단독의 송수방식일 경우

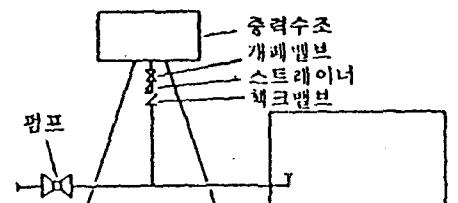


그림 2. 중력수조와 펌프설비를 병용한 송수방식의 경우

- 지구가 존재하는 한 중력은 존재하므로 비상 전원과 같은 별도의 동력원은 불필요하다. 또한 배관내에 흐름장애요인(이물질 축적 또는 우발적인 밸브의 폐쇄 등)이 없는 한 송수가능하므로 중력수조만큼 송수신뢰성이 높은 것은 없다. 다만, 높은 위치에 수조를 인위적으로 설치해야 할 경우 경제성 측면에서 비현실적일 수가 있다.

### ② 압력수조

- 송수동력원은 압축공기의 팽창력이므로 이 수조만을 송수설비로 할 때도 비상전원은 불필요하다. 그러나 압력수조 단독방식보다는 펌프설비와 병용하는 경우가 많다.

• 압력수조는 밀폐형 수조내의 일부에 소화용 수를, 나머지 공간에는 압축공기로 채운다. 공기의 총전체적은 수조내용적의 1/3을 넘지 않게 하는 것이 국제적으로 통용되고 있는 기준이다.

• 압축공기의 소요유지압력은 소화설비의 종류에 따라 살수기기의 소요방수압력과 수조의 설치 높이에 따라 달라지지만 수조내의 저수비율이 일단 정해지면 유지압력은 수조의 크기와는 무관하다. 유지압력산출에는 보일(Boyle)의 법칙을 이용 한다.

• 수조내용적의 1/3을 압축공기로 충전하는 경우의 소요공기압력산출에는 대체로 다음 공식이 성립된다(그림 3 참조).

$$P = 3Pd + 2.07 + 0.3H$$

단,  $P$  = 압축공기의 소요계기압,  $\text{kg}/\text{cm}^2$

$P_d$  = 살수기기에 주어져야 할 최소기준방수 압력,  $\text{kg}/\text{cm}^2$

$H$  = 압력수조와 최고위 살수장치까지의 수직높이, m

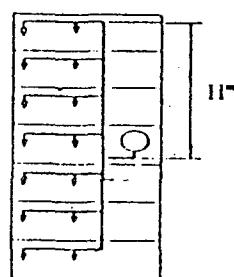


그림 3.

### ③ 펌프설비

- 물소화설비에는 원심펌프를 사용한다.
- 펌프설비를 고려할 때는 펌프와 수조를 상호독립시켜 그 기능을 논할 수는 없다. 펌프와 수조를 상호 연관시켜 보면, 수조내의 수위가 펌프 흡입구보다 높아서 별도의 조치없이도 펌프 몸체내에 항상 물채움이 가능한 경우와 수조의 수위가 펌프보다 낮을 경우를 들 수 있다. 전자의 경우에는 수평회전축 원심 펌프를, 후자의 경우에는 수직회전축 터빈펌프를 사용하는 것이 좋다(그림4).

후자의 경우에는 수평회전축 원심펌프를 설치할 경우에는 반드시 호수조(呼水槽, Priming Tank)를 설치하여 펌프 몸체내부가 항상 충수상태를 유지할 수 있게 해야 하며, 흡입배관의 하부말단에는 후트밸브(Foot Valve, 그림 5)를 설치하여 펌프 몸체 및 흡입배관내에 채워진 물이 수조내로 유출되지 않게 해야 한다.

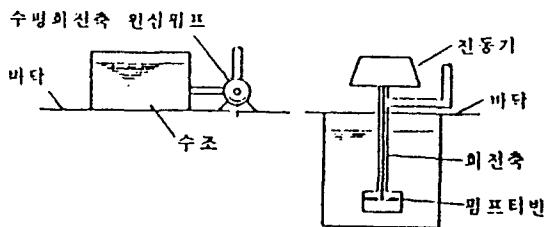


그림 4.

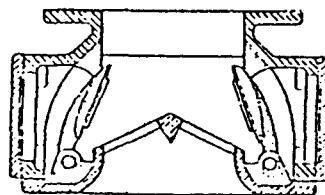


그림 5.

• 소화용 펌프는 송출량이 정격치의 150%일 때 송출압이 정격송출압의 65%이상되고, 체절압력(Shut-off Pressure)은 수평회전축 원심펌프의 경우 정격송출 압력의 120%를, 수직회전축 터빈펌프(일명 수증펌프)의 경우 140%를 초과하지 아니하는 것을 선택하는 것이 국제적으로 통용되는 기준이다(그림6).

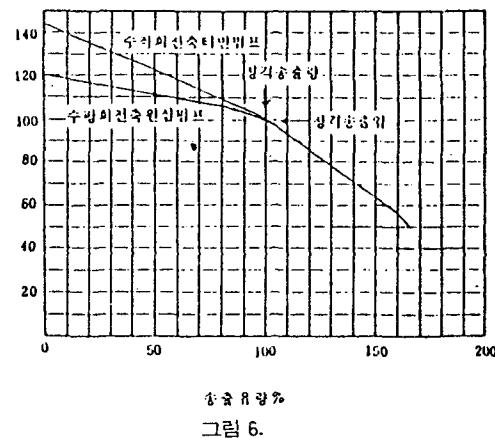


그림 6.

### • 펌프 전후배관의 기기구성

#### [송출측 배관]

송출측 배관에는 체크밸브를 설치하여 주배관 속의 물이 펌프쪽으로 역류하는 것을 막아주며, 체크밸브와 펌프의 유지보수를 위해 체크밸브 상부측에 송수제어용의 개폐밸브를 설치한다. 이 개폐밸브는 반드시 개폐상태 여부를 밸브의 조작없이도 즉시 육안으로 확인할 수 있는 구조의 것, 이른바 개폐표시형 개폐밸브이어야 한다. 이 밸브는 밸브 1차측(하부측)의 설비물에 대한 보수 유지 관리 등을 위하여 꼭 필요한 경우에만 일시적으로 폐쇄할 뿐, 평상시의 정상 상태에서는 항상 개방되어 있어야 하고, 유사시 소화설비가 가동되어야 할 때 우발적으로 폐쇄되어 있는 일이 있으면 아니되므로, 평소 밸브의 개폐여부에 대한 수시점검과 확인을 용이하게 하기 위한 조치로서 개폐표시형이 요망되는 것이다. 개폐표시형 밸브로는 가장 대표적인 것이 OS & Y 형 밸브이며, 그외에 버터플라이밸브도 개폐표시가 유행 확인 가능하다. 그러나, 버터플라이 밸브보다는 가급적 OS & Y형 밸브를 설치하는 것이 좋다. 송수제어를 위한 개폐기능은 두 밸브가 다를바 없으나, 버터플라이밸브는 배관의 물흐름시 이를 차단하기 위하여 폐쇄할 때 주위하여 천천히 닫지 않으면 수격을 발생케 할 위험성이 높다. 개폐밸브는 정기적인 성능시험을 위해 당해설비의 배관에 대해 일시적으로 물흐름을 차단하는 데에도 필수적으로 사용된다. 펌프 사이에서 배관을 분기하고 분기배관을 통하여 물을 흘려보내면서 펌프의 성능시험을 실시한다. 펌프의 성능시험에서 점검해야 할 사항은 펌프의 토출량과 토출압이 되기 때문에 분기 배관에는 유량계를, 제어밸브와 펌프사이에는 압력계를 설치한다. 성능시험은 펌프 유지관리를 위한 것으로 펌프의 정상성능이 지속적으로 유지되고 있는지를 정기적인 시운전을 통해 확인코자 하는 것이다. 그것은 실제 시운전에 의하여 만들어진 특성곡선이 제조업체에서 공급할 당시의 특성을 그대로 보여주고 있는지를 확인하는 데서 이루어지는 것이다. 이를 위해서는 펌프의 송출유량을 변화시키면서 그때그때의 송출압력을 실측하여 그래프화 함으로써 메이커가 제공한 특성곡선과 비교하

게된다. 성능시험배관의 설치시에는 다음과 같은 사항을 유념하는 것이 좋다.

첫째, 성능시험배관에는 유량계의 전후로 개폐밸브를 설치하는 것이 좋다. 흔히 유량계의 인입측에만 개폐밸브를 설치하여 펌프의 운전시 이 밸브로 유량을 조절하면서 유량을 측정하고 있으나, 이 밸브를 지나는 물 흐름의 심한 난류로 인하여 보다 정밀한 유량측정에 장애가 될 수 있으므로, 유량측정시에는 인입측 밸브를 완전 개방한 다음 유출측의 밸브로 유량을 조절하는 것이 가장 바람직하다.

둘째, 펌프 송출량의 150%에 달하는 과송출시 정격 송출압력의 65%까지도 측정이 가능해야 하므로, 펌프 송출구로부터 성능시험배관 말단까지의 압력강하가 정격 송출압력의 65%를 초과하지 아니해야 한다. 즉, 성능시험배관을 통하는 저항곡선의 구배가 그림 7과 같이 기준저항곡선보다 작아야 하는 것이다. 그러므로, 성능시험배관의 설치시에는 배관의 크기와 길이 등을 이 조건에 적합하도록 주의하여 선정할 필요가 있다.

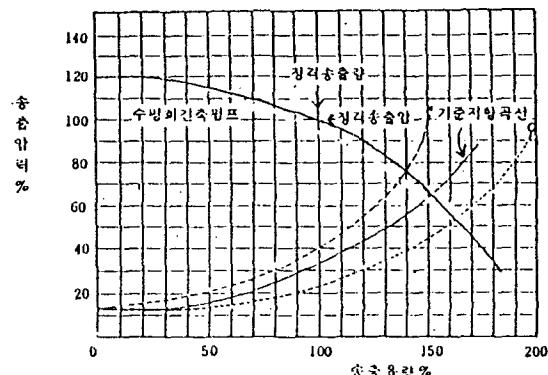


그림 7.

셋째, 성능시험배관의 말단을 수조와 연결하여 시험시의 물이 수조로 되돌아가게 하는 경우가흔한데, 수조의 수위가 펌프보다 높은 경우에는 그 말단과 펌프와의 낙차 또한 무시못할 저항의 요인으로 작용할 것이므로 유념할 필요가 있을 뿐만 아니라, 어떤 경우이던(수조의 수위가 펌프의 흡입구 보다 높은 낮은) 수조로 물을 되돌리는 방식은 결코 바람직한 일이 아니다. 왜냐하면 성능시

【시 펌프 몸체 및 그 전후의 배관속에 들어있던 물질(異物質)과 농물이 수조속으로 되돌아가기 때문이다. 따라서 시험 동안에 흐르는 물은 그냥 흘러가게 하는 것이 좋다. 또한 펌프의 성능시험은 월2회 이상 실시하는 것이 좋다. 성능시험이 완료되어 그 과정에서 만들어진 특성곡선을 메이커로 당초에 제공한 특성곡선과 비교할 때 무시못할 차가 발견되면 즉각 메이커로 연락하여 그 원인을 규명, 보수함으로써 정상화시켜야 한다.

넷째, 펌프가 장시간 체절운전이 되는 경우 펌프내의 수온상승 현상이 일어날 수 있으므로 제어밸브와 펌프 사이에 20밀리미터 이상되는 구경의 배관을 분기하고, 그 배관에 체절압력 미만에서 작동하도록 조정한 릴리프밸브 즉 안전밸브를 설치한다. 이 릴리프밸브는 설정압력 이상의 수압에 배수기능을 가진 것으로서, 펌프의 체절운전시에 송출압력이 상승하여 릴리프밸브의 설정압력을 초과하면 릴리프밸브가 배수하는 만큼의 물이 펌프에 흡입되어 냉각수의 역할을 하게 되는 것이다.

#### [흡입측 배관]

흡입측 배관에는 펌프쪽으로 이물질(異物質)의 유입을 막아줄 수 있도록 걸름장치 중 스트레이너를 설치해준다. 또한 수조의 수위가 펌프의 흡입구보다 높을 경우에는 흡입배관과 수조 등의 보수유지를 위해 수조와 스트레이너 사이의 배관에 송수제어밸브를 설치하여 필요시 물흐름을 차단할 수 있게 해야 한다. 이 제어밸브 역시 개폐표시형으로 하여 점검의 편의성을 높여주되 버터플라이밸브는 사용하지 않는 것이 좋다(소방법령의 기준에서도 이 밸브의 사용은 금하고 있다.) 펌프의 흡입력은 한정되어 있으므로 흡입배관은 가능한한 마찰저항이 적도록 배려할 필요가 있는 바, 버터플라이밸브는 개폐밸브류 중에서도 마찰저항이 매우 크기때문에, 펌프의 원활한 흡입효과에 장애가 되지 않도록 하기 위하여 사용하지 아니한다. 역시 OS & Y 밸브가 최적이다. 또한 이 제어밸브는 가능한 한 수조에 가까이 설치함으로써 흡입배관의 어느 부위(또는 장치)에서 하자가 발생하더라도 보수에 따른 유수의 차단을 할 수 있어야 한다. 수조의 수위가 펌프의 흡입구보다 낮은 방식

에서는 송수제어밸브의 설치는 필요하지 않다. 그 밖에 스트레이너와 흡입구간에는 연성압력계를 설치하여 펌프 운전시의 흡입압력이 정상인지 여부를 점검할 수 있게 해야 한다. 연성압력계는 그 구조 및 원리가 일반 수압계와 조금도 다르지 않으나, 부압(負壓)의 계기압력 즉 대기압과 절대진공 사이의 압력도 지시해 주는 압력계이다.

결론적으로 흡입배관이 존재하는 펌프설비는 수평회전축 원심펌프를 설치할 경우에 해당된다. 이 경우 흡입배관은 관내에 공기의 고임이 생기지 아니하는 구조로 설치되어야 한다. 펌프의 운전에 따라 흡입배관으로 물이 유입될 때는 거의 예외없이 물속에 기포들이 혼입되며, 공기의 비중은 물의 비중과는 상대적으로 매우 작으므로, 기포의 일부는 흡입도중 위로 상승하게 되는 바, 관내부의 입체적인 구조가 상승된 공기를 포집하여 고이게 하는 구조일때는(그림 8 및 9) 펌프의 흡입효율이 격감된다. 마치 빨대(스트로오)를 사용하여 우유나 음료수를 빨아낼 때 빨대에 미세한 구멍이 있으면 액체가 제대로 빨라지 않는 이치와 유사하다.

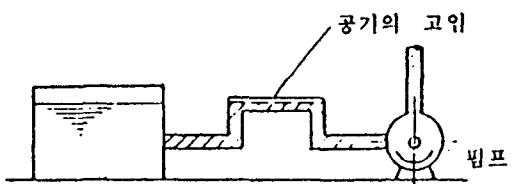


그림 8.

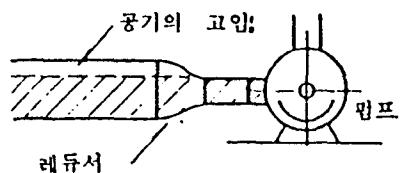


그림 9.

지금까지 설명한 송출측 및 흡입측 배관의 기기구성을 계통도로서 나타내면 그림 10 및 11과 같다.

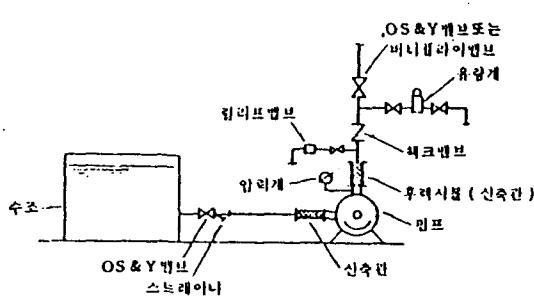


그림 10.

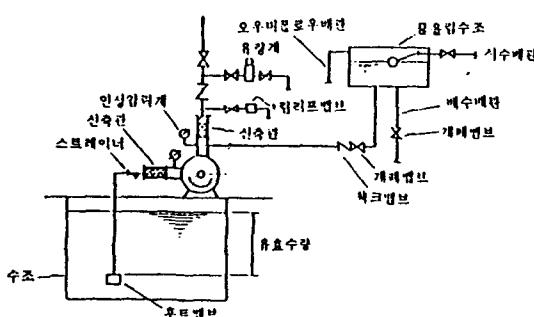


그림 11.

• 펌프운전에 필요한 동력산출은 다음 공식을 이용한다.

$$K_w = \frac{0.163 \times Q \times H}{E} \times K$$

단,  $K_w$ =펌프 구동장치의 소요동력,  $K_w$

$Q$ =펌프의 정격 송출량,  $m^3/\text{분}$

$H$ =소요양정 즉 정격 송출압력( $kg/cm^2$ )을 수두로 환산한 값(정격 송출압력에 10 을 곱한 값과 같다.)

$E$ =펌프의 효율(아래 표 참조)

$K$ =동력전달계수(아래 표 참조)

펌프 구경(mm)	E의 값	동력의 형식	K의 값
40	0.4 ~ 0.45	전동기 직경	1.1
50~65	0.45~0.55	전동기 이외의 원동기	1.15~1.2
80	0.55~0.6		
100	0.6~0.65		
125~150	0.65~0.7		

### • 펌프의 흡입원리와 NPSH

그림12와 같은 상태의 펌프가 물을 원만히 흡입하여 정상 송수하려면 다음의 관계가 성립되어야 한다.

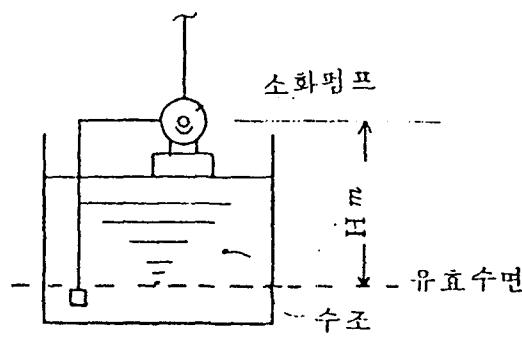


그림 12.

$$\text{대기압} - \sum(\text{흡입과정에서 발생하는 저항압력}) \geq 0 \quad \text{①}$$

여기서,  $\sum(\text{흡입과정의 저항압력})$

= 수직높이  $H^m$ 에 따른 낙차압력

(0.1H $kg/cm^2$ 와 같다.) + 흡입배관의 마찰손실압력 ( $P_f/cm^2$ ) + 흡수배관속의 포화수증기압( $P_v, kg/cm^2$ ) + 펌프에 의해 나타날 수 있는 진공도( $N_p, kg/cm^2$ )

위의 식을 요약하면 다음과 같다.

$$\text{대기압} - (0.1H + P_f + P_v + N_p) \geq 0 \quad \text{②}$$

대기압의 크기를  $1.0336kg/cm^2$ 라고 하고, 위의 식을 수두식으로 환산하여 재정리하면 다음과 같다.

$$10,336 - (H + H_f + H_v) \geq N \quad \text{②}$$

단,  $H_f, H_v, N = P_f, P_v, N_p$ 를 각각 수두값으로 환산한 것.

③식의 좌변값은 물소화설비의 배관설계에 따라 결정되는 값인바, 이를 펌프의 유효 NPSH라고 하며,  $N$ 을 펌프의 필요 NPSH라고 한다. 즉 펌프가 정상적으로 물을 흡수하려면, 반드시 유효 NPSH 가 필요 NPSH이상되어야 하는 것이다.

### 3. 배관의 수리원리와 수리계산

소화설비 중 그 종류가 가장 다양한 각종 물 소화설비를 계획함에 있어 유수량 또는 살수기기의

갯수에 따른 배관의 크기, 펌프의 양정 및 소요동력 등을 결정하는 데에는 Code화된 자료를 그대로 인용, 처리하는 방식도 많고 보급되고 있으나, 수리에 근거한 공학계산에 따라 적정한 결과를 얻어야 할 경우도 많이 발생한다.

소화배관을 흐르는 물의 성질을 파악하기 위한 기본원리는 베르누이의 정리에서 출발하고 있다. 이 정리의 수식화된 형태를 노출하는 데는 유체특성과 유동특성을 장(場)의 개념을 사용하여 수직응력(Normal Stress)과 전단응력(Shearing Stress)의 역학적인 힘으로 분석하여 전개함으로써 얻을 수도 있고, 운동량보존법칙이나 열역학 제1법칙(에너지보존법칙)에서 출발할 수도 있다. 이러한 경우에도 계(系)해석법(System · Analysis)과 관제역해석법(Control Volume Analysis)의 두가지 방법 중 하나를 편의에 따라 이용할 수도 있다. 물배관에 있어서는 계해석법을 이용하여 에너지 보존 법칙을 적용하되, 배관속의 유동특성이 연속법칙 즉 질량 보존법칙을 따르는 것을 전제하므로, 이에 따라 결론을 도출하면 그 산출과정이 매우 단순화될 수 있어 대단히 편리하다. 여기에서는 수리역학에 바탕을 둔 여러 적용방향, 예컨대 무차원해석법과 상사율에 의한 Darcy Weisbach 공식의 유도 또는 꼭관에서의 유수로 인한 Thrust Force, 그리고 펌프와 같은 터보기계에서의 수력학적(水力學的)해석 등과 같은 것은 일단 제외하고, 소화배관 계획시 가장 빈번하게 응용해야 할 가장 기본적인 사항만을 발췌하여 살펴보기로 한다.

### 가. 관내의 유수와 베르누이의 정리

베르누이의 일반정리는 모든 열역학적 상태의 유체에 다같이 적용된다. 그러나 관내를 흐르는 유체로서 물을 대상으로 하는 소화배관의 경우에는 비교적 간단한 공식으로 표현될 수 있다. 엄격하게는 열역학적 상태함수로서 내부에너지와 일(Work)의 변화와 관계되는 Enthalpy의 변화를 빼놓을 수는 없겠으나, 열기관등을 제외한 일반 수리배관에서의 유수에는 온도변화에 따른 내부 에너지의 변화를 상대적으로 무시하는 것을 전제하기 때문에, 배관을 흐르는 물이 갖는 에너지로

는 역학적 에너지만을 고려함으로써 결과적으로 매우 간단한 식으로 표현될 수 있어 이해하기가 쉽다. 이러한 조건에 입각하여 베르누이의 정리를 관내를 흐르는 물에 대해 설명하면, 「에너지 손실이 없는 정상류(Steady Flow)에 있어서는 관내의 어느 지점에서던지 유수가 갖는 역학적 에너지 즉 운동에너지(Kinetic Energy), 위치에너지(Gravitational Energy) 및 압력에너지(Pressure Energy)의 합은 일정하다」라고 표현할 수 있다. 이것을 그림 13과 같은 임의의 도관에 대해 수식으로 나타내면 다음과 같이 전개될 수 있다.

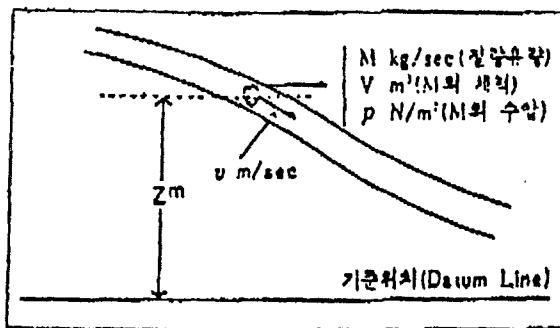


그림 13.

단,  $M =$ 도관내의 임의의 수직단면을 통과하는 물의 질량유량(kg/sec)

$V =$  그 단면을 통과하는 물의 평균유속  
(m/sec)

$Z =$ 기준위치로부터 그 단면의 중심점까지의  
수직높이(m)

$V = \text{질량 } M \text{의 체적} (m^3)$

$p$ =그 단면을 통과하는 물의 압력( $\text{N}/\text{m}^2$ )

$g =$ 중력가속도 ( $m/sec^2$ )

### 식에서 차별의 한들 위

운동에너지, 위치에너지, 압력에너지이다. 이 물성량(物性量)들은 일(work)의 정의에 의하여 힘  $f$ 와 미분변위  $ds$ 의 적(積)을 적분함으로써 얻어진다.

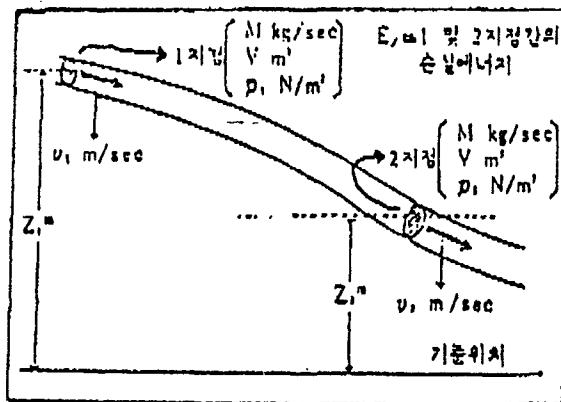
$$\text{운동에너지} = \int f \, ds = \int mads \quad (a \text{는 가속도})$$

$$= \int m \frac{dV}{dt} ds = \int m V dV = \frac{1}{2} m V^2$$

위치에너지 =  $\int f \, ds = \int mgds = mgZ$  ( $g$ 는 풍력  
가속도)

압력에너지 =  $\int f \, ds = \int pAds = \int pdV = pV$  (A는 체적 V의 표면적 ds는 미분체적 변화시의 표면에 수직한 변화의 미분길이)

위의 식에서 나타난 모든 물리량들의 단위로는 국제표준단위(SI Unit)를 사용하였다. 그런데 실제 관내의 유수시에는 점성유동에 의한 관내벽과의 마찰 및 Turbulence로 인하여 이른바 마찰 손실에너지라고 부르는 에너지 손실이 존재한다. 따라서 실제에 부합되도록 도관에서 어느 두개의 임의지점을 선정하여 그림 14와 같이 각각 1및 2라고 하고, 두지점간의 구간을 흐르는 우수를 계(系)로 취하여 고찰대상으로 하고(이구간의 내부용적을 관체역으로 하여 고찰하여도 같은 결론을 얻을 수 있다), 이 계(系)에서 일어나는 에너지 손실을  $E_1$ 라고 하면 다음과 같이 된다.



위의 식에서 질량  $M$ 과 그 체적  $V$ 에 대해서는 번호를 표기하지 아니하였다. 왜냐하면 유체의 정상유동에 대해 고찰하는 것이므로 질량유량  $M$ 은

배관의 모든 지점에서 일정한데다가, 물은 통상 비압축성유체로 간주하게 되므로 도관의 모든 지점에서 물의 밀도와 M의 체적은 일정한 값을 갖기 때문이다. 기준위치 또한 임의로 정하여도 무방하며, 수압은 절대압력과 계기압력 중 어느 것을 택하여도 좋다. 그것은 흐르는 물의 물성량(여기서는 에너지)의 변화만이 관찰의 대상이 되기 때문이다. ②식은 Energy Balance에 따라 얻어진 것이지만, 이 식에서 Mg의 값은 상수이므로 ②식을 Mg로 나누면 다음과 같이 된다.

$$\frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{p_1 V}{Mg} = \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{p_2 V}{Mg} + \frac{E_f}{Mg} \quad \dots ③$$

여기서  $\frac{p_1 V}{Mg} = p_1 / \left( \frac{M}{V} \right) = \frac{p_1}{\rho g} \left( \frac{M}{V} \right)$  은 질량 부피

을 나타내고 있는 바, 곧 밀도임. 따라서 이를  $\rho$ 로 표기하였음

마찬가지로,  $\frac{p_2V}{Mg} = \frac{p_2}{\rho g}$ 로 나타내어진다.

SI 단위로  $\rho$ 의 값을  $1000\text{kg/m}^3$ 로 취하여도 별로 문제시되지 않으므로,

결국,  $\frac{p_1V}{Mg} = \frac{p_1}{1000g}$ ,  $\frac{p_2V}{Mg} = \frac{p_2}{1000g}$ 이다.

따라서, 이것을 ③식에 대입하여 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{p_1}{1000g} = \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{p_2}{1000g} + \frac{E_f}{Mg} \dots ④$$

여기서 ④식이 갖는 물리적 의미를 생각해 보자. ②식이 성립되므로, 반드시 ④식도 성립된다. 그런데 ②식의 각항은 에너지를 뜻하지만, ④식은 에너지 관계식은 아니다. 그러나 ④식의 각항은 이와 대응되는 ②식의 각항을 갖고 있는 물리적 성격을 이와는 다른 물성량으로써 대변하고 있는 것은 분명하다. 이런 관점에서 ④식중의  $Z_1$  및  $Z_2$ 는 위치에너지의 성격을 대변하는 물성량으로서 그 크기는 단지 기준위치로부터 두지점간의 수직 높이만으로 나타나 있다.

이 사실은 매우 흥미있고 중요한 의미를 제시하고 있다. 각종 에너지는 기계적 또는 열역학적 조건의 변화에 따라 상호전환이 가능하므로, 운동에너지와 압력 에너지가 각각 위치에너지로 전환되

다고 가상할 때(이 경우 에너지의 성격만 바꾸서 생각해 볼 뿐 그 크기는 마찬가지이다), 이들의 상대적인 비교는 전환된(가상된) 위치에너지의 성격을 대변하는 수직높이를 상호 비교함으로써도 가능해진다는 사실을 ④식은 뜻하고 있다. 그래서 이와 같은 의미를 제공함으로써도 가능해진다는 사실을 ④식은 뜻하고 있다. 그래서 이와 같은 의미를 제공하는 ④식의 각항의 수두(水頭)로 부른다. 수두를 대표하는 문자로  $H$ 를 사용하고 부른다. 수두를 대표하는 문자로  $H$ 를 사용하고  $\frac{V^2}{2g} = Hv$ (속도수두),  $Z = Hh$ (위치수두),  $\frac{P}{1000g} = H\rho$ (압력수두),  $\frac{E_t}{Mg} = H_t$ 라고 표현하면 ④식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

여기서  $H_i$ 는 곧 마찰손실수두이며, 모든 수두값 SI단위는 미터이다. ⑤식에서 볼 때, 1지점에의 물의 총 수두는 2지점에서의 물의 총수두와으며, 각 지점에서의 총수두는 그 지점에서의 도수두, 위치수두 및 압력 수두의 합과 같다.

④식에서 압력수두의 값은 각각  $\frac{p_1}{1000g}$  및  $\frac{p_2}{100g}$ 인 바, 여기서  $p_1$ ,  $p_2$ 의 단위는  $N/m^2$  즉 파  
칼(Pascal)이었다. 그런데 우리는 현실적으로  
력의 단위를  $kg/cm^2$ 라는 중력단위로 사용하는  
이 관습이므로 이 단위를 사용하는 식으로 환산  
불 필요가 있다. 두 지점에서의 수압을 중력단  
위의 크기로  $p_1 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ,  $p_2 \text{ kg}/\text{cm}^2 = p_1 \text{ kg}/\text{cm}^2$   
 $= 10000p_2 \text{ N}/\text{m}^2$ 이므로, 이 값을 ④식의  
 $p_0$ 에 각각 대입하면 다음과 같이 될 수 있다

제 다시 ⑥식을 10으로 나누어 보면 다음과 같다

$$\frac{V_1^2}{20g} + 0.1Z_1 + P_1 = \frac{V_2^2}{20g} + 0.1Z_2 + P_2 + 0.1H_f$$

.....(7)

여기서 위의 ⑦식이 갖는 의미를 생각해 볼 때, 이번에는 압력에너지의 성격을 대변하는 물성량  $P_1$ 이 압력에너지의 성격을 대변하는 물성량  $P_1$ 이 압력 그 자체로서 표출되고 있다. 수두의 개념과 같은 방식으로 논리를 전개하여 운동에너지와 위치에너지가 압력에너지로 전환되었다고 가상할 때, 각각 그 압력의 크기는 ⑦식의 좌변의 경우  $\frac{V_1^2}{20g}$  및  $0.1Z_1$ , 우변의 경우  $\frac{V_1^2}{20g}$  및  $0.1Z_2$ 가 될 것이므로, 이 값들을 각각  $Pv_1$  및  $Ph_1$ ,  $Pv_2$  및  $Ph_2$  그리고  $P_1$  및  $P_2$ 를 각각  $Pn_1$  및  $Pn_2$ ,  $0.1H_i$ 를  $P_i$ 로 나타내면 ⑦식은 다음과 같이 된다.

여기서  $P_{V_1}$  및  $P_{V_2}$ 는 동압(Velocity Pressure),  $P_{h_1}$  및  $P_{h_2}$ 는 위치압 또는 낙차압,  $P_{n_1}$  및  $P_{n_2}$ 는 위치압 또는 낙차압,  $P_{n_1}$  및  $P_{n_2}$ 는 정압(Static Pressure)이라고 불리워지며,  $P_t$ 는 마찰손실압력이 된다. 동압의 Vector 방향은 관내의 물의 속도 벡터 방향과 일치하며, 정압에 있어서 그 Vector 방향은 관내벽에 수직으로 작용한다. 따라서 통상 Bourdon 압력계로 측정되는 배관의 수압은 곧 정압을 뜻하는 것이다. ⑥식과 ⑦식을 비교할 때, 상호 대응되는 항들의 물리적 성질은 다르지만, 그 양들간의 수치상의 크기는 10대 1의 관계가 있음을 알 수 있다.

지금까지 베르누이의 정리가 갖는 물리적 의미를 여러가지 물성량의 측면에서 고찰하였다. 배관내의 수리계산은 이와 같은 베르누이의 정리에 그 근거를 두고 진행되는 것이다.

#### 4. 살수노즐로부터의 방수와 방출계수

살수노즐의 오리피스 단면적을  $A_m^2$ , 오리피스로부터의 방수속도를  $v_m / \text{sec}$ , 방수량을  $Q_m^3 / \text{sec}$ 라고 하면,

$$Q = A \cdot v \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

방수압력은 그 성격이 동압에 속한다. 이를 P

金相旭

$\text{kg}/\text{cm}^2$ 라고 하면,

노즐 오리피스의 단면이 원형일 경우, 단면의 직경을  $D_m$ 라고 하면,

$$Q = A \cdot v = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi \cdot (20gP)^{1/2}$$

실무에서는 방수량의 단위를  $l$  / 분으로, 오리피스 단면의 직경에 대해서는 mm를 사용하는 것ㅇ통 테이므로, 이를 단위로 ③식을 환산하면,

$$q \doteq 0.653 d^2 P^{1/2} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

(다음호에 계속)