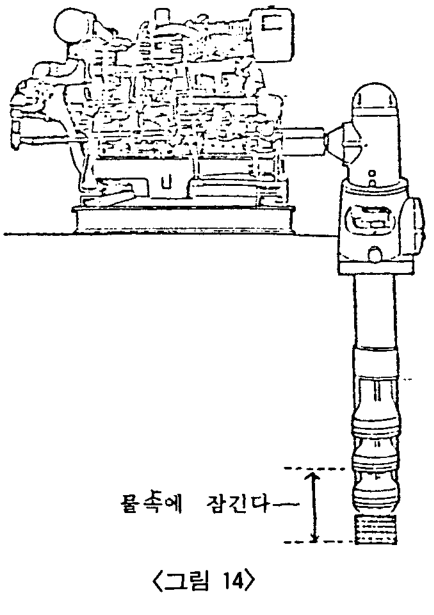
물소화 설비

金 相 旭*

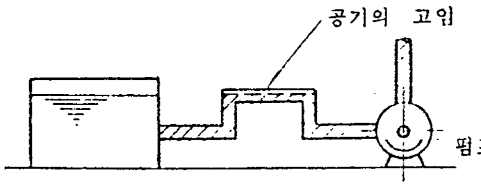
결론적으로 흡입배관이 존재하는 펌프설비는 수평회전축 원심펌프를 설치할 경우에 해당된다. 이 경우에 있어서는 압입 또는 흡입의 어느 송출 방식이더라도 흡입배관은 관내의 공기의 고임이 생기지 아니하는 구조로 설치되어야 한다. 펌프의 운전에 따라 흡입배관으로 물이 흘러들어 올 때는 거의 예외없이 물속에 기포들이 섞여 들어오게 마련이며, 공기의 비중은 물의 비중과는 상대적으로 비교가 되지 않을만큼 작아서 혼입된 기포의 일부는 흡입도중 위로 상승하게 되는 바, 관내부의 입체적인 구조가 상승된 공기를 포집하여 고이게 하



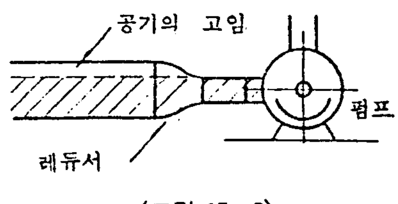
〈그림 14〉

* 正會員, 理事, 利光엔지니어링代表, 消防技術士

는 구조 일때는 (그림 15의 1 및15의 2 참조) 펌프의 흡입요율이 격감된다. 마치 빨대(스트로오)를 사용하여 우유나 음료수를 빨아낼 때 빨대가 미세한 구멍이 있으면 액체가 제대로 빨리지 않는 이치와 유사하다.



〈그림 15－1〉

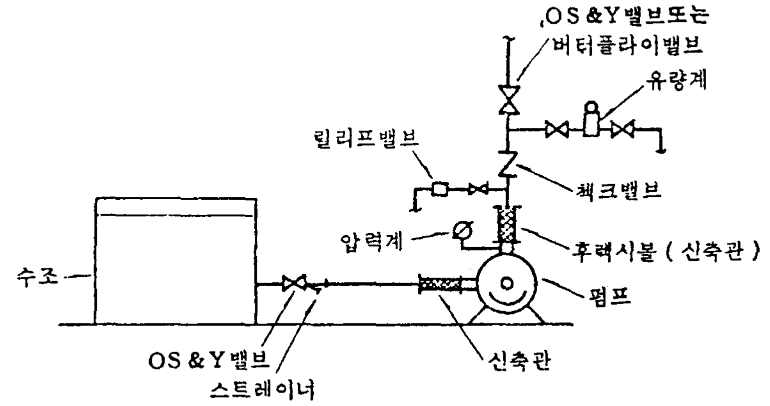


〈그림 15－2〉

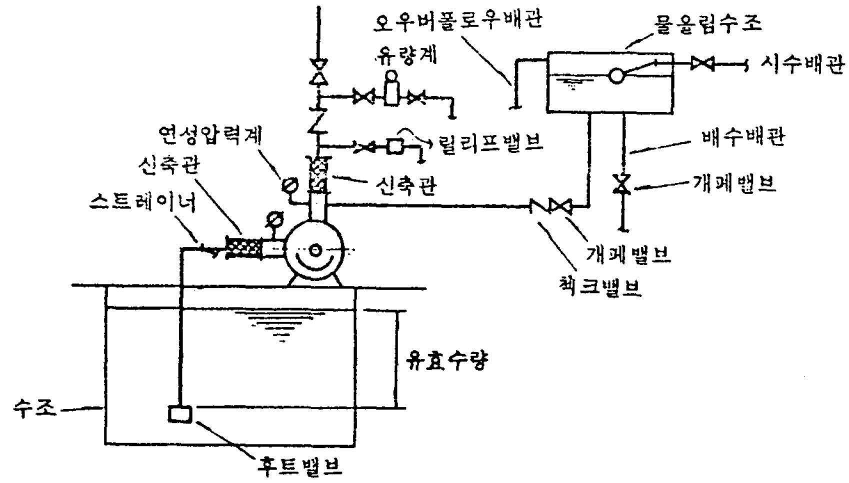
지금까지 설명한 펌프의 송출측 및 흡입측 배관의 구성에 대해서 계통도로서 도시하면 그림16의 1 및 16의 2와 같다.

펌프의 임펠러 또는 터빈을 회전시켜 주기 위한 방법에는 여러 가지가 있으나, 이 중에서 전동기 또는 내연기관을 이용하는 방법이 주류를 이루는데 특히 전동기의 사용이 가장 보편적이다.

전동기의 소요용량 즉 소요전력은 펌프의 송출



〈그림 16－1〉



〈그림 16－2〉

량과 송출입력에 따라 달라지는데, 이를 진출하는 데는 통상 다음의 공식을 이용한다.

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

여기서 K_W＝전동기의 소요동력, Q＝펌프의 양수량 즉 정격송출량, m^3/분, H＝소요양정 즉 정격송출압력을 수두로 환산한 값, m(이 값은 정격 송출 압력에 10을 곱한 값과 같다)

E＝펌프의 효율

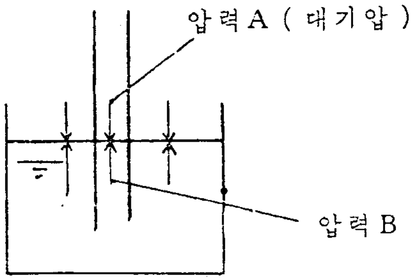
K＝전동기와 펌프간의 회전축을 통한 동력전달계수, 보통 1.1의 값을 취한다. 위의 공식에서 펌프의 효율(E)은 다음표의 값을 취하는 것이 보통이다.

펌프구경(mm)	E의 값	동력의 형식	K의 값
40	0.4~0.45	전동기 직결	1.1
50~65	0.45~0.55	전동기이외의원동기	1.15
80	0.55~0.6		≀
100	0.6~0.65		1.2
125~150	0.65~0.7		

위의 공식에서 구해진 전동기의 동력을 마력(HP)으로 환산코자 할 때는 K_W로 구해진 값을 대략 0.75(보다 엄격하게는 0.746)로 나누어 주면 된다.

그것은 1 마력＝746 왓트(W)＝0.746K_W 이기 때문이다.

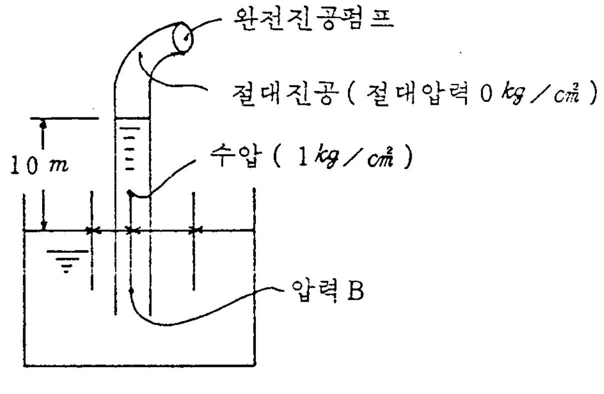
② 펌프의 흡입원리와 NPSH펌프가 물을 흡입하여 송출함에 있어, 물의 흡입현상이 발생하는 것은 펌프자신이 지구의 인력과 같아 보이지 않는 어떤 힘으로 물을 잡아당기는 데에 연유하는 것이 아니라 흡입구로 향해 물을 흘러들어가게 하는 다른 외력(外力)에 의한 것이며, 그 외력으로서는 대기의 입력이 주 인자가 된다. 특히 수조의 수위가 펌프의 흡입구보다 낮은 경우에 있어서는 대기압만이 유일한 외력이 든다. 이 경우에 있어서 물을 원천적으로 밀어 올려주는 유일한 외력인 대기압과 이에 대응하는 저항요인들과의 관계성을 여러 단계의 상황을 예로 들어 살펴보자.



〈그림 16-3〉

먼저 그림16의 3과 같이 물이 담긴 통속에 전부가 개방된 수직배관을 세웠다고 하자. 이 경우 물통속의 수면과 배관속의 수면과 같은 높이가 될 것이다. 그것은 파스칼의 원리에 의해 수면상부에서 수면에 미치는 대기압과 동일 크기의 압력이 대기압과 반대방향으로 수면에 작용하는, 이른바 반작용력이 발생되기 때문이다. 이 경우 배관속의 물은 배관주위의 수면보다 조금도 위로 올라오지 않는다. 그것은 대기압 A가 반작용력 B에 대한 동일크기로 저항하고 있기 때문이라고 해석할 수 있는 까닭이다. 이번에는 그림16의 4와 같이 수직배관의 상부에서 이론적으로 절대진공(절대입력 O의 상태)을 줄 수 있는 진공펌프가 설치되어 수직배관 내부의 공기를 완전히 배출시켰다고 가상해보자.

이 경우 배관속의 절대압력 0이 되므로 그림 16의 3에서 보여진 입력A(대기압)가 완전히 사라진 상태가 되어 입력B만이 존재하게 되므로 이 압력 B의 힘에 의해 물은 밀려 올라갈 것이다. 그러나



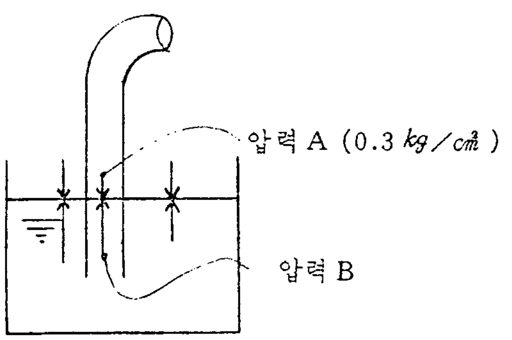
〈그림 16-4〉

물이 밀려 올라감에 따라 이로 인한 수압이 생성될 것이며, 따라서 물의 상승으로 인해 증가되는 수압의 크기가 입력 B와 같아질 때까지 물은 상승할 것이다.

대기압의 크기는 절대압력으로 약 1,0336kg/cm² 로 알려져 있으나, 통상 1kg/cm²을 대기압의 크기로 사용하고 있으므로 이 압력을 기준으로 볼 때 압력B의 크기가 곧 1kg/cm²이 되므로 이와 평형을 이루는 수압이 형성되려면 물의 높이는 10m가 될 것이며, 절대압력 0 이하의 압력은 존재하지 않으므로, 결국 물을 흡입할 수 있는 이론상의 최대높이는 10m가 되는 것이다.

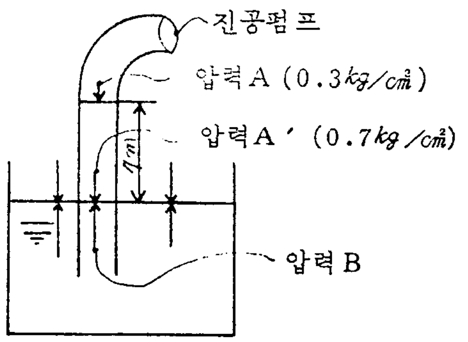
이 경우 상승된 물의 수면상부에 존재하는 절대진공 상태의 공간의 압력은 0kg/cm²이며, 이것을 수두(水頭)로 나타내면 0m인바, 이를 두고 이 공간의 NPSH가 0m이다 라고 부르게 되며, 또한 이 때의 진공펌프를 두고 NPSH 0m의 흡입 성능을 가지고 있다고 말한다. 실제 현실에서 사용하는 펌프들은 이론적인 완전시공 상태의 흡입성능은 갖고 있지 못하므로 이를 감안하여 이번에는 그림16의 5와 같이 수직배관 상부에 연결된 펌프에 의해 공기가 일부 배출됨으로써 배관속 공간에 절대압력 0.3kg/cm²의 희박한 공기가 남아 있다고 생각해 보자.

이 경우에는 압력A(0.3kg/cm²)와 압력0(1kg/cm²)의 평형이 깨어진 상태가 되며 압력B에 대한 저항력인 압력A를 상쇄하고도 압력B측에는 0.7kg/cm²의



〈그림 16-5〉

여력이 존재하므로 이로 인해 물은 상승할 것이며 그 높이는 0.7kg/cm²의 수압이 형성되는 높이 즉 7m가 될 것이다. 즉 그림16의 6에서 볼때 압력A′는 상승된 물에 의해 형성된 수입이며, 압력A는 그 수면 상부의 기압(0.3kg/cm²)이다.



〈그림 16-6〉

이 그림이 제공하는 의미를 분석해 보면 다음과 같이 결론지을 수 있다.

첫째, 배관속 물의 상승은 펌프에 의해 일어나는 것이며 펌프는 대기압에 저항하는 동일한 대기업을 감소시켜줌으로써 힘의 평형을 깨뜨려 주는 역할만 한다.

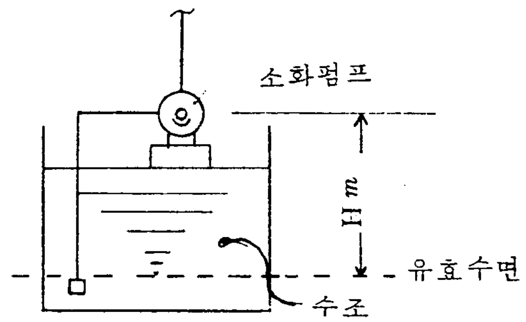
둘째, 펌프는 대기압력에 대해 0.7kg/cm²만큼의 저항을 제거해주고 있다.

셋째, 펌프가 비록 0.7kg/cm²만큼의 저항을 제거해 주고 있지만 수면에 작용하는 0.3kg/cm² 크기의 기압은 여전히 저항력으로 계속 존재하고 있다. 즉 물의 상승이 이로인해 3m만큼 더 못올라가고 있다.

0.3kg/cm²의 압력은 수두로 3m이므로 이와같은 상황에서 배관속의 공기 상태를 NPSH 3m의 상태라고 부르며, 나아가서 이때의 펌프를 두고 NPSH 3m의 흡입성능을 갖고 있다고 말한다.

다시 말하여 펌프가 NPSH 3m의 흡입성능을 갖고 있다는 것은 절대압력 0.3kg/cm²(계기압력 −0.7kg/cm²)만큼의 진공도를 보여주는 펌프라는 의미가 되는 것이다.

지금까지의 몇 단계 설명을 기초로 하여 실제 펌프를 통하여 그림16의 7과 같이 물이 정상적으로 흡입, 송출되고 있는 경우를 가상하여 NPSH 문제를 다루어 보자.



〈그림 16-7〉

이 그림에서 볼때 펌프가 물을 흡입할 수 있는 유효수면은 후트 밸브의 상단까지가 될 것이다. 따라서 흡입배관을 통해 물이 정상적으로 상승하여 펌프로부터 송출되려면 원천적으로 작용하는 대기압이 저항력들을 모두 이겨내도 잔존력이 존재해야만 가능해질 것이다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같이 될 것이다.

대기압−저항력들의 합>0…………①

저항력들을 분석해보면 다음과 같은 것을 들 수 있다.

첫째, Hm만큼 물이 상승함으로 해서 형성되는 수압(0.1Hkg/cm²의 크기와 같다)

둘째, 흡입배관을 흐를 때의 마찰손실압력($P_f$kg/cm²라고 하자)

셋째, 흡입배관속의 물의 포화증기압($P_v$kg/cm²f라고 하자)

넷째, 펌프가 보여주는 진공도 능력($N_p$kg/cm²라

고 하자) 따라서 위의 ①식은 다음과 같이 될 것이다.

1 kg/㎠$-$(0.1Hkg/㎠$+P_f$kg/㎠$+P_v$kg/㎠$+N_p$kg/㎠) >)·········②

이 식에서 나타나는 모든 압력들을 수두로 나타내려면 이 식의 각 항들에 대해 10을 곱하면 될 것이므로 ②식은 다음과 같이 수두식으로 표현할 수 있다.

$10-(H_h+H_f+H_v+N)\geq 0$ ······③

여기서, $H_h=0.1\ H\times 10=H$

$H_f=10P_f$

$H_v=10P_v$

$N=10N_f$(N은 곧 펌프의 NPSH이다.)

③을 다시 정리하면 다음 식과 같다.

$10-(H_h+H_f+H_v)\geq N$ ············④

④식의 좌변값을 유효 NPSH라고 부르며 이 값은 설명에 의해 결정되는 값이다. 즉 펌프가 정상적으로 물을 흡입하려면 반드시 유효 NPSH가 펌프의 NPSH 이상이 되어야 하는 것이다.

1. 4 배관의 수리원리와 수리계산

물소화 설비를 계획함에 있어 유수량 또는 살수장치의 갯수에 따른 배관의 크기, 펌프의 소요양정 및 소요동력 등을 결정하는 데에는 기준화된 자료를 그대로 인용, 처리하는 방식도 많이 보급되고 있으나 수리에 근거한 공학적 계산에 따라 적정한 결과를 얻어야 할 경우도 많이 발생한다.

소화 배관을 흐르는 물의 성질을 파악하기 위한 기본원리는 베르누이의 정리에서 출발하고 있다. 이 정리의 수식화된 형태를 도출하는 데는 유체특성과 유동특성을 장(場)의 개념을 사용하여 수직응력(Normal Stress)과 전단응력(shearing Stress)의 역학적인 힘으로 분석하여 전개함으로써 얻을 수도 있고, 운동량 보존법칙이나 열역학 제1법칙(에너지 보존법칙)에서 출발할 수도 있다. 이 경우에도 계해석법(系解析法)과 관제역해석법(管制域解析法)의 두가지 방법중 하나를 편의에 따라 이용할 수도 있다. 물배관에 있어서는 계해석법을 이용하여 에너지 보존법칙을 적용하되 배관속의 유동특성이 연속법칙 즉 질량보존법칙을 따르는 것으로 전제하므로 이에 따라 결론을 도출하면 그 해석과정이 매우 단순화될 수 있어 대단히 편리하다.

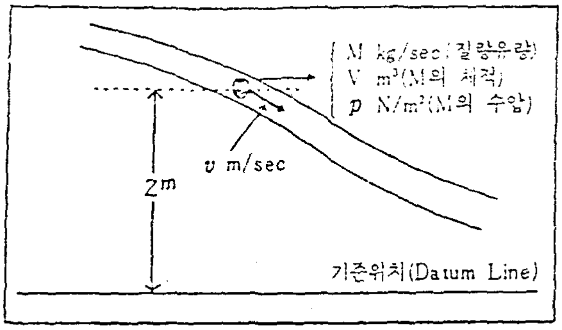
수리역학에 바탕을 둔 여러 가지 적용방향. 예컨대 무차원 해석법과 상사율에 의한 Darcy--Weisbach 공식의 유도, 또는 곡관(曲管)에서의 유수로 인한 스러스트힘(Thrust Force) 그리고 펌프와 같은 터어보기계에서의 수리학적 해석 등은 본지에서는 다루지 않고, 소화배관 계획시 가장 빈번하게 운용해야 할 기본적인 사항만을 취급한다.

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 열 역학적 상대함수로서 내부 에너지와 일(work)의 변화게 따른 엔탈피(Enthalpy)의 변화를 빼놓을 수는 없겠으나 열기관 등을 제외한 일반 수리배관에서의 유수에는 온도변화에 따른 내부 에너지의 변화를 상대적으로 무시하는 것을 전제하기 때문에 배관을 흐르는 물이 갖는 에너지로는 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 지점에서든지 유수가 갖는 역학적 에너지 즉 운동에너지(Kinetic Energy), 위치에너지(Gravity Energy) 및 압력에너지(Pressure Energy)의 합은 일정하다」라고 표현할 수 있다. 이것을 그림 17의 1과 같은 임의의 배관에 대해 수식으로 나타내면 다음과 같이 전개될 수 있다.

$$\frac{1}{2}M\,v^2+MgZ+PV=E(\text{일정})\ \cdots\cdots\cdots ①$$

여기서, M=배관내의 임의의 수직 단면을 통과하는 물의 질량유량(kg/sec), v=2 단면을 통과하는 물이 평균유속(m/sec), Z=기준위치로 그 단면의 중심점 까지의 수직높이(m), V=질량M의 체적(m³), P=그 단면을 통과하는 물의 압력 (N/m²)



〈그림 17-1〉

이다.

윗 식에서 좌변의 항들은 왼쪽의 것으로부터 각각 운동에너지, 위치에너지, 압력에너지이다. 이 物性量들은 일(work)의 정의에 의하여 힘 f와 미분변위 ds의 積을 적분함으로써 얻어진다.

운동에너지 = $\int fds = \int mads$ (a는 가속도)

$$= \int m\frac{dv}{dt}ds = \int_{wvdv} = \frac{1}{2}mv^2$$

위치에너지 = $\int fds = \int_{mgds} = mgZ$ (g는 중력가속도)

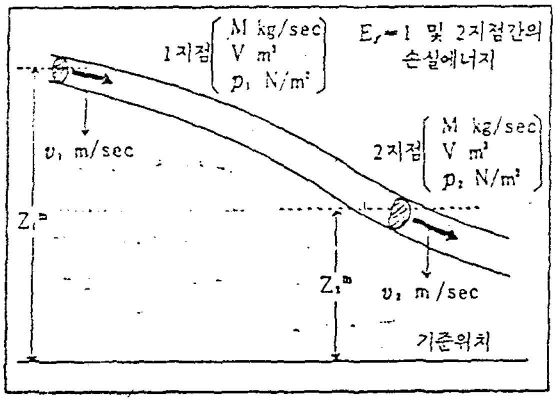
입력에너지 = $\int fds = \int fads = \int pdV = pV$ (A는 체적 V의 표면적, ds는 미분체적 변화시의 표면에 수직한 변화의 길이)

위의 식에서 나타난 모든 물리량들의 단위로는 국제표준 단위(SI Unit)를 사용하였다.

그런데 실제 관내의 유수시에는 粘性유동에 의한 관내벽과의 마찰 및 Turbulence로 인하여 이른바 마찰 손실에너지라고 부르는 에너지 손실이 존재한다. 따라서 실제에 부합되도록 배관에서 어느 두개의 임의지점을 선정하여 그림17의 2와 같이 각각 1 및 2라고 하고 두지점간의 구간을 흐르는 유수를 계로 취하여 고찰 대상으로 하고 (이 구간의 내부 용적을 관제역으로 하여 고칠하여도 같은 결론을 얻을 수 있다.)

이 계에서 일어나는 에너지 손실을 E_f라고 하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{1}{2}M{v_1}^2 + MgZ_1 + P_1V = \frac{1}{2}M{v_1}^2 + MgZ_1 + P_2V + E_f \quad \cdots\cdots\cdots\cdots②$$



〈그림 17-2〉

위의 식에서 질량 M과 그 체적 V에 대해서는 번호를 표기하지 아니하였다. 왜냐하면 유체의 정상유동에 대해 고찰하는 것이므로 질량유량 M은 배관의 모든지점에서 일정한 데다가 물은 통상비압축유체로 간주하게 되므로 배관의 모든 지점에서 물의 밀도와 M의 체적은 일정한 값을 갖기 때문이다. 기준위치 또한 임의로 정하여도 무방하며 수압은 절대압력과 계기압력 중 어느 것을 택하여도 좋다. 왜냐하면 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 같다.

$$\frac{{v_1}^2}{2g} + Z1 + \frac{p_1V}{Mg} = \frac{{v_1}^2}{2g} + Z_2 + \frac{p_2V}{Mg} + \frac{E_f}{Mg} \quad ③$$

여기서 p_1V Mg = P_1 (M)>g = $p_1 \rho_g$ (ρ = 물의 밀도),

$\frac{p_2V}{Mg} = \frac{P_2}{\rho y}$ 이며, SI 단위로 ρ의 값을 1000 kg/㎤, g의 값은 9.8m/sec²으로 취하여도 계산상의 오차는 현실적으로 별로 문제시되지 않으므로 결 국

이다.

③식에 이것을 대입하여 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\frac{V_1^2}{2g}+Z1+\frac{P_1}{9800}=\frac{V_2^2}{2g}+\frac{P_2}{9800}+\frac{E_f}{Mg}\cdots\cdots\cdots ④$$

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 각항이 갖고 있는 물리적 성격을 다른 물성량으로써 대변하고 있는 것은 분명하다. 이런 관점에서 ④식중의 Z_1 및 Z_2 는 위치에너지의 성격을 대변하는 물성량으로서 그 크기는 단지 기준위치로 부터 두 지점간의 수직높이만으로 나타나 있다. 이 사실은 매우 흥미있고 중요한 의미를 제시하고 있다. 각종 에너지는 기계적 또는 열역학적 조건의 변화에 따라 상호전환이 가능하므로 운동에너지와 입력에너지가 각각 위치에너지로 전환되었다고 가상할 때(이 경우 에너지의 성격만 바꾸어서 생각해 볼 뿐 그 크기는 마찬가지이다.) 이들 양의 상대적인 비교는 전환된(가상된) 위치에너지의 성격을 대변하는 수직높이를 상호비교함으로써도 가능해 진다는 사실을 ④식은 뜻하고 있다. 그래서 이와 같이 의미를 제공하는 ④식의 각항을 水頭(Head)라고 부른다. 수두를 대표하는 문자로서 H를 사용하기로 하고 $\frac{v^2}{2g}=H_v$(속도수두), $Z=H_h$(위치수두), $\frac{P_1}{9800}=H_p$(압력수두), $\frac{E_f}{Mg}=H_f$라고 표현하면 ④식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$H_{v1}+H_{h1}+H_{p1}=H_{v2}+H_{h2}+H_{p2}+H_f\cdots\cdots\cdots\cdots ⑤$$

여기서 H_f는 곧 마찰손실수두이며, 모든 수두값의 SI 단위는 미터이다.

⑤식에서 볼 때, 1 지점에서의 물의 총 수두는 2지점에서의 물의 총 수두와 두지점간의 마찰손실수두와의 합과 같으며, 각 지점에서의 총수두는 그 지점에서의 속도수두, 위치수두 및 압력수두의 합과 같다.

④식에서 압력수두의 값은 각각 $\frac{P_1}{9800}$ 및 $\frac{P_2}{9800}$인 바, 여기서 P_1, P_2의 단위는 N/m^2 즉 Pascal이었다. 그런데 우리는 현실적으로 압력의 단위를 kg/㎠라는 중력단위로 사용하는 것이 관습이므로 이 단위를 사용하는 식으로 환산해 볼 필요가 있다. 두지점에서의 수압을 중력 단위의 크기로 P_1 kg/㎠, P_2kg/㎠이라 하면 P_1kg/㎠$=9800\ P_1N/m^2$, P_2kg/㎠$=9800\ N/m^2$이므로 이 값들을 P_1, P_2에 대입하면 ④식은 다음과 같이 될 수 있다.

$$\frac{v_1^2}{2g}+Z_1+10P_1=\frac{v_2}{2g}+Z_2\rangle+10P_2+H_f\cdots\cdots\cdots\cdots ⑥$$

이제 다시 ⑥식을 10으로 나누어 보면 다음과 같이 된다.

$$\cdots\frac{v_1^2}{20g}+0.1Z_1+P_1=\frac{v_2^2}{20g}-0.1Z_2+P_2+0.1H_f\cdots\cdots\cdots ⑦$$

여기서 위의 ⑦식이 갖는 의미를 생각해볼 때, 이번에는 입력에너지의 성격을 대변하는 물성량 P_1이 입력 그 자체로서 표출되고 있다. 수두의 개념과 같은 방식으로 논리를 전개하여 운동에너지와 위치에너지가 입력에너지로 전환되었다고 가상할 때 각각 그 압력의 크기는 ⑦식 좌변의 경우 $\frac{v_1^2}{20g}$ 및 $0.1Z_1$, 우변의 경우 $\frac{v_2^2}{20g}$ 및 $0.1Z_2$가 될 것이므로 이 값들을 각각 P_{v1} 및 P_{h1}, P_{v2} 및 P_{h2}, 그리고 P_1 및 P_2를 Pn_1 및 P_{n2}, $0.1\ H_f$로 나타내면 ⑦은 다음과 같이 된다.

$$P_{v1}+P_{h1}+P_{n1}=P_{v2}+P_{h2}+P_{h2}+P_f\cdots\cdots\cdots\cdots ⑧$$

여기서 P_{v1} 및 P_{v2}는 동압(Velocity Pressure), P_{h1}, P_{h2}는 위치압 또는 낙차압, P_{n1} 및 P_{n2}는 동압의 Vector 방향은 관내의 물의 속도벡터 방향과 일치하며, 정압에 있어서 그 veocot 방향은 관내벽에 수직으로 작용한다. 따라서 통상 Bourdon 입력계로 측정되는 배관의 수압은 곧 정압을 뜻하는 것이다.

⑥과 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 여러 가지 물성량의 측면에서 고찰하였다. 배관내의 수리계신은 이와 같은 베르누이의 정리에 그 근거를 두고 진행되는 것이다.

나. 느즐로 부터의 방출과 방출계수(K Factor)

배관내의 임의지점을 통과하는 체적유량, 또는 노즐로 부터의 방출유량(체적유량)은 물의 밀도가 일정하므로 연속법칙에 따라 다음과 같이 유속과 유수단면적의 積으로 표현될 수 있다.

$Q = A_v$…………⑨

여기서, Q = 체적유량(m^3/sec)

A = 오리피스 또는 관내의 단면적(m^2)

v = 유속(m/sec)

또한 동압은 $P_v = \frac{v^2}{20g}$ (⑦식 참조) 이므로

$$v = \sqrt{20yP_v} = \sqrt{20\times 9.6P_v} = \sqrt{196P_v} = \sqrt{14}\ P_v$$

$14\sqrt{P_v}$

따라서 $Q = A\times 14\ \sqrt{P_v}$

단면적이 원형인 배관 또는 오리피스의 경우 단면의 직경을 D미터라고 하면

$$Q = \frac{D}{2}^2\ \pi\times 14\ \sqrt{P_v}$$

$$= 3.5\ \pi D^2\ \sqrt{P_v}\cdots\cdots\cdots\cdots ⑩$$

그런데 현실적으로 우리는 체적유량과 배관내경(또는 오리피스 직경)의 단위를 SI단위 대신에 각각 리터/분(lpm) 및 mm를 사용하고 있는 것이 관습이므로 ⑩식을 이에 부합되도록 차원변환(Dimemension Conversion) 할 필요가 있다. 따라서 변수를 q^{lpm}, d^{mm}로 취하면(P_v는 중력단위로서 kg/㎠의 단위를 가지므로 차원변환 할 필요가 없다.)

$$q^{lpm} = \frac{q}{100}\ m^3/분 = \frac{q}{60000}\ m^3/sec\cdots\cdots\cdots\cdots(a)$$

$$d^{mm}\frac{d}{1000}\ m$$

식(a) 및 (b)를 ⑩식에 대입하면,

$$\frac{q}{60000} = 3.5\pi\ \frac{d}{1000}^2\ \sqrt{P_v}$$

$$\therefore q \fallingdotseq 0.6596d^2\ \sqrt{P_v}\cdots\cdots\cdots\cdots 11$$

노즐의 오리피스를 통하여 방출되는 경우 11 식의 P_v는 피토압력계로 측정한 방수압력을 나타낸다. 이 경우 P_v를 그냥 P로서 나타내기로 하면 11 식은

$q = 0.65597d_2\ \sqrt{P}$…………12

12 식은 어디까지나 이론식에 불과하다. 실제에 있어서는 오리피스 Edge의 구조와 재질 및 내부면의 가공에 따른 粗度의 차양에의해 실방출율은 이론치에 미달하며, 같은 구경의 오리피스라도 그 구조와 종류에 따라 방출율에 차이가 있기 때문에 방출계수를 도입 함으로써 실제와 합치 시킬 수 있다. 방출계수를 C 라고 하면 12 식은 다음과 같이 된다(C의 값은 $0<C<1$ 의 관계가 있다)

$q = 0.6597Cd^2\ \sqrt{P}$…………13

$0.6597C = K$라고 두면

$q = k\ \sqrt{P}$…………14

K는 정해진 오리피스에 따라 결정되는 값으로서노즐의 제조업체마다 고유의 값을 제시해 주는 것이 보통인 바, 이것을 K Factor라고 부른다.