

Chapter 01 소방유체역학

1. 물의 밀도

물의 밀도 ρ : $1,000\text{kg/m}^3 = 1,000\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$

2. 물의 비중량

$$\gamma = \rho g$$

여기서, γ : 물의 비중량

$$(9,800\text{N/m}^3 = 9.8\text{kN/m}^3 = 0.0098\text{MN/m}^3)$$

$$\rho : \text{물의 밀도}(1,000\text{kg/m}^3 = 1,000\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4)$$

$$g : \text{중력가속도}(9.8\text{m/s}^2)$$

3. 비체적(밀도의 역수)

$$V_s = \frac{V}{m}$$

여기서, V_s : 비체적 [m^3/kg]

m : 질량 [kg]

V : 체적 [m^3]

4. $P = \gamma H = \rho g H$

여기서, P : 압력 [$\text{Pa} = \text{N/m}^2$]

$$\gamma : \text{물의 비중량}(9,800\text{N/m}^3 = 9.8\text{kN/m}^3)$$

$$\rho : \text{물의 밀도}(1,000\text{kg/m}^3 = 1,000\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4)$$

$$H : \text{높이(수두)}[\text{m}]$$

$$g : \text{중력가속도}(9.8\text{m/s}^2)$$

$$P = \gamma_1 h_1 = \gamma_2 h_2$$

여기서, γ_1 : 수은의 비중량 ($133,280\text{N/m}^3$)

h_1 : 수은의 높이 [m]

$$\gamma_2 : \text{물의 비중량}(9,800\text{N/m}^3)$$

h_2 : 물의 높이 [m]

5. 이상기체상태방정식

$$PV = \frac{W}{M}RT$$

여기서, P : 절대압력 [$\text{Pa} = \text{N/m}^2$]

V : 체적 [m^3]

W : 질량 [kg]

M : 분자량 (CO_2 : 44, 할론 : 148.95)

T : 절대온도 [$\text{K} = 273 + ^\circ\text{C}$]

R : 기체상수 ($8,313.85\text{N} \cdot \text{m/kmol} \cdot \text{K}$)

압력 단위가 atm일 경우 ($0.082\text{atm} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$)

$$\text{밀도 } \rho = \frac{W}{V} = \frac{PM}{RT}$$

6. 압력 단위 환산

$$1\text{atm} = 760\text{mmHg} = 76\text{cmHg}$$

$$= 10.332\text{mH}_2\text{O} = 10,332\text{mmH}_2\text{O}$$

$$= 0.101325\text{MPa} = 101.325\text{kPa} = 101,325\text{Pa}$$

$$= 1.0332\text{kg}_f/\text{cm}^2$$

$$= 1.013\text{bar}$$

7. 유량

$$\text{① 체적유량} : Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$\text{② 질량유량} : M = \rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 = \rho Q$$

$$\text{③ 중량유량} : G = \gamma A_1 V_1 = \gamma A_2 V_2 = \gamma Q$$

여기서, A_1, A_2 : 배관 단면적 [$\frac{\pi}{4}D^2\text{m}^2$]

$$V_1, V_2 : \text{유속}[\text{m/s}], (V = \sqrt{2gH})$$

$$\rho : \text{물의 밀도}(1,000\text{kg/m}^3 = 1,000\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^4)$$

$$\gamma : \text{물의 비중량}(9,800\text{N/m}^3 = 9.8\text{kN/m}^3)$$

※ 유량계수가 주어지면 곱할 것

8. 벤츠키미터 유량

$$Q = C \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \sqrt{2g \Delta H \frac{(\gamma_s - \gamma_w)}{\gamma_w}}$$

여기서, Q : 유량[m³/s]

C : 유량계수

D_1, D_2 : 구경[m]

A : 배관 단면적[$\frac{\pi}{4} D^2 \text{m}^2$]

g : 중력가속도(9.8m/s²)

γ_s : 액주계 내 수은의 비중량(13.6 × 9,800N/m³)

γ_w : 배관 내 물의 비중량(9,800N/m³)

ΔH : 높이[m]

※ 벤츠키미터 유속 : 위 식에서 배관 단면적(A)만 제외하면 유속을 구하는 식이 된다.

9. 피토정압관 유속

$$V = C \sqrt{2gH \left(\frac{S}{S_w} - 1\right)}$$

여기서, V : 유속[m/s]

C : 속도계수

g : 중력가속도(9.8m/s²(조건에 따라 다름))

S : 피토관 내 수은의 비중(13.6)

S_w : 배관 내 물의 비중(1)

10. 유량

① $Q = 2.107 d^2 \sqrt{P}$ (또는 0.6597)

② $Q = 2.086 d^2 \sqrt{P}$ (유량계수 0.99가 적용된 공식)(또는 0.653)

여기서, Q : 유량[l/min]

d : 구경[mm]

P : 방수압[MPa]

11. 다지관의 유량

$$Q = Q_1 + Q_2$$

여기서, $Q = A V$: 전체유량[m³/s]

$Q_1 = A_1 V_1$: 병렬 배관유량[m³/s]

$Q_2 = A_2 V_2$: 병렬 배관유량[m³/s]

※ 유량 단위 정리

① $Q = A V$ [m³/s]

② $Q = 2.086 d^2 \sqrt{P}$ [l/min]

③ $Q = K \sqrt{10P}$ [l/min]

④ 전동력 $P = \frac{0.163 Q H}{\eta} \times K$ [m³/min]

⑤ 팬의 동력 $P = \frac{P_T \cdot Q}{102 \times 60 \eta} \times K$ [m³/min]

12. 베르누이 정리

$$H = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

여기서, H : 전수두[m]

P_1, P_2 : 압력[Pa = N/m²]

γ : 물의 비중량(9,800N/m³ = 9.8kN/m³ = 0.0098MN/m³)

V_1, V_2 : 속도[m/s]

g : 중력가속도(9.8m/s²)

Z_1, Z_2 : 위치수두[m]

13. 토리첼리의 정리

$$V = \sqrt{2gH} = \sqrt{2g \frac{P}{\gamma}} \quad (H = \frac{P}{\gamma})$$

여기서, V : 유속[m/s]

g : 중력가속도(9.8m/s²)

H : 높이[m]

γ : 물의 비중량(9,800N/m³)

ρ : 물의 밀도(1,000kg/m³)

P : 압력[Pa = N/m²]

14. 관의 상당길이 = 등가길이 = 직관장

관의 부속 등의 마찰손실을 동일 구경의 배관의 길이로 환산한 값

15. 달사-웨버의 식

$$H = \frac{f l V^2}{2gD}$$

여기서, H : 마찰손실수두[m]

f : 마찰손실계수

l : 배관의 길이[m]

V : 유속[m/s]

g : 중력가속도(9.8m/s²)

D : 배관의 직경[m]

16. 하젠-윌리엄스의 식

$$\Delta P = 6.053 \times 10^4 \times \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \times L$$

$$\text{또는 } \Delta P = 6.174 \times 10^4 \times \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \times L$$

여기서, ΔP : 마찰손실압력[MPa]

C : 조도

D : 배관의 내경[mm]

Q : 유량[l/min]

L : 배관의 길이[m]

17. 병렬관로

베르누이의 정리에 따라 배관의 입구 부분에서의 에너지는 어떠한 경로로 흘러가더라도 배관의 출구 부분에 전달되며 실제유체이므로 손실되는 에너지 또한 동일하게 볼 수 있다. 따라서, 각 병렬관로에서의 마찰손실은 동일 ($\Delta P_1 = \Delta P_2$)하다.

$$Q = Q_1 + Q_2$$

여기서, Q : 유량[m³/s]

Q_1 : 병렬관로 1에서의 유량[m³/s]

Q_2 : 병렬관로 2에서의 유량[m³/s]

달사-웨버의 식 적용

18. 노즐의 플랜지볼트에 작용하는 힘(반발력)

(1) $F = \rho Q (V_2 - V_1)$ - 운동량만 고려할 경우 적용

여기서, F : 노즐의 플랜지볼트에 작용하는 힘(반발력)[N]

ρ : 물의 밀도 ($1,000\text{kg/m}^3 = 1,000\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)

Q : 유량 [m^3/s]

$\Delta V : V_2 - V_1$: 유속차 [m/s]

$$(2) F = \frac{\gamma Q^2 A_1}{2g} \left(\frac{A_1 - A_2}{A_1 A_2} \right)^2 \rightarrow F = \frac{\gamma Q^2 A_1}{2g} \left(\frac{\frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2)}{\frac{\pi d_1^2}{4} \times \frac{\pi d_2^2}{4}} \right)^2$$

$$F = \frac{\gamma Q^2 A_1}{2g} \left(\frac{d_1^2 - d_2^2}{\frac{\pi}{4} d_1^2 \times d_2^2} \right)^2$$

여기서, F : 노즐의 플랜지볼트에 작용하는 힘(반발력)[N]

γ : 물의 비중량 ($9,800\text{N/m}^3 = 9.8\text{kN/m}^3 = 0.0098\text{MN/m}^3$)

Q : 유량 [m^3/s]

g : 중력가속도 [9.8m/s^2]

A_1 : 단면적 [$\frac{\pi}{4} d_1^2 \text{m}^2$]

A_2 : 단면적 [$\frac{\pi}{4} d_2^2 \text{m}^2$]

(3) $F = P_1 A_1 - \rho Q (V_2 - V_1)$

여기서, F : 노즐의 플랜지볼트에 작용하는 힘(반발력)[N]

P_1 : 압력 [$\text{Pa} = \text{N/m}^2$]

A_1 : 단면적 [m^2]

ρ : 물의 밀도 ($1,000\text{kg/m}^3 = 1,000\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)

Q : 유량 [m^3/s]

$\Delta V : V_2 - V_1$: 유속차 [m/s]

19. 펌프의 분류

원심펌프

① 볼류트펌프

② 터빈펌프

20. 펌프의 직렬 및 병렬 운전

21. 실제흡입수두(NPSH)

(1) 유효흡입수두(NPSH_{av})

$$NPSH_{av} = H_a - H_f - H_v \pm H_h$$

여기서, $NPSH_{av}$: 유효흡입수두[m]

H_a : 대기압의 환산수두[m]

H_f : 마찰손실의 환산수두[m]

H_v : 포화증기압의 환산수두[m]

H_h : 낙차의 환산수두[m] [부압 : -, 정압 : +]

(2) 필요흡입수두(NPSH_{re})

(3) 공동현상 발생한계 조건

① 발생한계 : $NPSN_{av} = NPSH_{re}$

② 발생안함 : $NPSN_{av} > NPSH_{re}$

③ 펌프 설계 시 : $NPSN_{av} \geq NPSH_{re} \times 1.3$

22. 동력 공식

(1) $P = \gamma QH$ Q 의 단위[m³/s]

(2) $P = 0.163QH$ Q 의 단위[m³/min]

물의 비중량 $\gamma = 9.8\text{kN/m}^3$, 유량 $Q[\text{m}^3/\text{min}]$ 를 대입하면

$$P = 9.8\text{kN/m}^3 \times Q_2 [\text{m}^3/\text{min}] \times \frac{1\text{min}}{60\text{s}} \times H[\text{m}] = 0.163QH$$

① 1HP = 0.746kW

② 1PS = 0.735kW

※ 전효율 = 수력효율×체적효율×기계효율

23. 펌프 동력

① 수동력 $P = 0.163QH$

② 축동력 $P = \frac{0.163QH}{\eta}$

③ 전동력 $P = \frac{0.163QH}{\eta} \times K$

여기서, P : 동력[kW]

H : 전양정[m]

Q : 유량[m³/min]

η : 전효율

K : 전달계수

④ 팬의 동력

$$P = \frac{P_T \cdot Q}{102 \times 60 \eta} \times K$$

여기서, P : 동력[kW]

P_T : 전압[mmAq = mmH₂O]

$$\left(\frac{1\text{kPa}}{101.325\text{kPa}} \times 10,332\text{mmAq} = 102\text{mmAq} \right)$$

Q : 풍량[m³/min] ($1\text{m}^3/\text{min} \times \frac{1\text{min}}{60\text{s}}$)

η : 전효율

K : 전달계수

24. 상사법칙

① 유량 $\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$

② 양정 $\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$

③ 축동력 $\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5$

여기서, Q_1 : 변경 전 유량[m³/min]
 Q_2 : 변경 후 유량[m³/min]
 H_1 : 변경 전 양정[m]
 H_2 : 변경 후 양정[m]
 P_1 : 변경 전 축동력[kW]
 P_2 : 변경 후 축동력[kW]
 N_1 : 변경 전 회전수[rpm]
 N_2 : 변경 후 회전수[rpm]
 D_1 : 변경 전 내경[m]
 D_2 : 변경 후 내경[m]

25. 펌프의 이상현상

(1) 캐비테이션(Cavitation : 공동현상)

구분	설 명
정의	펌프 흡입측 배관 내의 압력이 국부적으로 포화증기압 이하로 내려가 물이 증발하여 기포가 생기는 현상
원인	① 수조와 펌프 사이의 높이차가 클 경우 ② 펌프 흡입측 배관의 길이가 긴 경우 ③ 펌프 흡입 관경이 작은 경우 ④ 굴곡부나 불필요한 배관부속 등이 많은 경우 ⑤ 펌프 임펠러의 회전속도가 큰 경우 ⑥ 유체의 온도가 고온인 경우 ⑦ NPSHav보다 큰 NPSHre를 가진 펌프를 설치한 경우 ⑧ 배관 내 정압보다 포화증기압이 클 경우 발생 ⑨ 편심리듀서를 사용하지 않았거나 잘못된 방향으로 설치한 경우
대책	① 수조와 펌프 사이의 높이차를 작게한다. ② 펌프 흡입측 배관의 길이를 짧게한다. ③ 펌프 흡입 관경을 크게한다. ④ 굴곡부나 불필요한 배관부속 등을 작게한다. ⑤ 펌프 임펠러의 회전속도를 작게한다. ⑥ 유체의 온도를 낮게한다. ⑦ NPSHre보다 큰 NPSHav를 가진 펌프를 설치한다. ⑧ 배관 내 정압을 포화증기압보다 크게한다. ⑨ 편심리듀서를 사용하거나 정상적인 방향으로 설치한다.
문제점	① 발생된 기포가 펌프의 토출지점에서 터져 충격, 소음 및 진동의 원인이 된다. ② 펌프 안내깃 부근에서 발생될 경우 펌프의 효율이 저하된다. ③ 충격이 심한 경우 벽면이 침식되고 임펠러가 손상된다.

(2) 워터햄머(Water Hammer : 수격현상)

구분	설 명
정의	1. 배관 내 유속의 갑작스러운 변화인 압력상승에 의해 발생하는 현상 2. 흐르던 유체의 속도가 급감하거나 정지할 경우, 운동 중인 수주의 운동에너지는 일시적으로 배관의 탄성 변형과 물의 압축성에 의해 흡수된다. 그 이후 압력파가 형성되어 배관 내부를 왕복하게 되는데, 이때 망치로 두드리는 듯한 소리가 들리게 되는데 이것이 수격현상이다.
원인	① 밸브의 폐쇄 ② 펌프의 급정지 ③ 스프링클러설비 유수검지장치에서의 역류
대책	① 충압펌프에 의해 평상시 배관내부를 고압으로 유지한다.(소방펌프 기동시의 압력상승 발생을 감소시킨다.) ② 펌프에 Fly Wheel을 설치하여 펌프의 급격한 속도감소를 방지시킨다. ③ 배관의 길이를 너무 길게 하지 않게 한다. ④ 배관내 유속을 제한시킨다.
문제점	① 배관 및 소화전 호스를 파손시킨다. ② 펌프 토출측 배관은 수주 분리에 의해 수격현상이 발생할 수 있다

(3) 서징(Surging : 맥동현상)

구분	설 명
정의	펌프의 운전 중에 외부로부터의 영향 없이도 압력과 유량이 주기적인 변동을 나타내는 현상
원인	① 펌프의 성능곡선이 산형 곡선일 경우, 운전점이 그 정상부 부근일 경우 ② 유량조절밸브가 배관 중 수조의 위치 후단에 있을 경우 ③ 배관 중에 수조 또는 기체상태인 부분이 있을 경우
대책	① 펌프의 성능 곡선이 우하향 구배인 펌프를 사용한다. ② 유량조절밸브를 펌프토출측 직근에 설치한다. ③ 배관 중에 수조 또는 기체상태인 부분이 없도록 한다.
문제점	① 토출량이 계속 변화하므로, 안정된 물 공급이 되지 못한다. ② 흡입 및 토출 배관에 주기적인 진동과 소음을 발생시킨다. ③ 장시간 서징 상태를 유지하게 되면, 설비가 파손될 수 있다.

26. 르 샤틀리에 공식

$$LFL \text{ 또는 } UFL[\%] = \frac{100}{\frac{C_1}{L_1} + \frac{C_2}{L_2} + \frac{C_3}{L_3} + \dots}$$

여기서, LFL 또는 UFL : 가연성 혼합가스의 연소하한계 또는 연소상한계[%]

C_1, C_2, C_3, \dots : 가연성가스의 체적 비율[%](가연성가스만 대상이 된다.)

L_1, L_2, L_3, \dots : 가연성가스의 연소하한계 또는 연소상한계[%]

27. 스케줄 수(Schedule No)

$$\textcircled{1} \text{ 스케줄 수} = \frac{\text{내부작업응력(최고사용압력)}}{\text{재료의 허용응력}} \times 1,000$$

$$\textcircled{2} \text{ 안전율} = \frac{\text{인장강도(극한강도)}}{\text{재료의 허용응력}}$$

28. 신축이음

- ①슬리브형
- ②벨로스형
- ③루프형
- ④스위블형
- ⑤볼조인트

29. 관 부속품

- ①엘보
- ②티
- ③리듀서
- ④캡
- ※ 편심리듀서

펌프 흡입측 배관의 공기고임을 방지하기 위하여 사용한다.

30. 밸브

(1) OS & Y 밸브 = 개폐표시형밸브

(2) 버터플라이밸브

(3) 글로브밸브

유체가 흐르는 방향 180°

(4) 앵글밸브(Angle valve)

유체가 흐르는 방향 90°

(5) 체크밸브(Check valve)

- ①리프트형
- ②스윙형

※ 스모레스키체크밸브

(6) 후드밸브

(7) Y형 스트레이너