

제 11 장 압력 계측

11.1 서론

압력단위

N/m^2 (Pa)

mmHg, mmH₂O, mmAq

kgf/cm²

bar

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2 = \frac{10^5}{9.8} \text{ kgf}/10^4 \text{ cm}^2 = \frac{10}{9.8} \text{ kgf}/\text{cm}^2$$

게이지압: 대기압과의 차이

절대압

$$1 \text{ atm} = 1.013250 \text{ bar} = 1.033228 \text{ kgf}/\text{cm}^2 = 10.33257 \text{ mmH}_2\text{O}$$

진공의 압력;

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg}$$

μmHg

11.2 정압과 동압 (Static and Dynamic Pressures)

(참고문헌 1;그림 14.2)

$$\text{dynamic pressure} = \text{stagnation pressure} - \text{static pressure}$$

11.3 Pressure Measuring Systems

Manometer; 압력측정범위가 협소, 정적 응답측정 (동적 응답 불량)

Bourdon tube gage; 정적, 서서히 변하는 동적인 압력

diaphragm type ; 동적인 압력의 측정

strain gage type

11.4 압력계측 변환기

1) 중력형

액주

피스톤

* 분동식 표준압력계

$W \text{ kgf} = \text{분동의 무게} + \text{램의 무게}$

A: 램의 단면적

분동이 부상할 때의 압력

$$P = \frac{W}{A}$$

실린더 재질: 500 kgf/cm^2 까지 황동, 그 이상 특수강

최대: $5,000 \text{ kgf/cm}^2$

* 액체압력계

manometry; 액체 기둥을 이용한 압력 측정

- 측정범위에 적합한 비중량의 액체
- 온도변화가 적은 것
- 표면장력이 작은 액체
- 점도가 작은 것
- 화학적으로 안정

유체의 밀도가 다를 때

(그림 14.5)

$$(P_{1a} - P_{2a}) = h(\rho_m - \rho_t) \left(\frac{g}{g_c} \right)$$

2) 탄성형 변환기

(1) Bourdon tube; 압력 게이지에 사용

(2) Elastic Diaphragms

* Diaphragm에 사용되는 2차 변환기

(a) Resistance Strain gage

(참고문헌 1; 그림 14.12)

(b) Inductive type

(c) Piezoelectric pressure cells

11.5 Strain gage pressure cell

원통형 압력 셀

(참고문헌 1; 그림 14.15)

11.6 고압 및 저압 측정

1) 고압 측정

약 700atm ~ 10⁷ atm

전기저항식 압력계

(참고문헌 1; 그림 14.17)

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho L}{CD^2}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R}{R} &= \frac{\Delta L}{L} - 2 \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \\ &= \frac{2P}{E} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \end{aligned}$$

because

$$\sigma_x = \sigma_y = -P, \quad \sigma_z = 0, \quad \epsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]$$

$$\epsilon_x = \epsilon_y = \frac{dD}{D} = -\frac{P}{E}(1 - \nu)$$

$$\epsilon_z = \frac{dL}{L} = \frac{2\nu P}{E}$$

* 압력감지 소자:

금합금 (금 + 크롬 2.1%); 0.673x10⁻⁷ Ω/Ω psi, 0.01% 온도변화 (70 ~ 180 °F 범위일 때)
망간 (manganese); 1.692x10⁻⁷ Ω/Ω psi, 0.2% 온도변화 (70 ~ 180 °F 범위일 때)

2) 저압 (Low pressure) 측정

대기압 보다 낮은 압력

초저 (very low); 1mmHg이하

극저 (ultra low); 10^{-3} μmHg (nmHg) 이하

1 torr = 1 mmHg

측정방법; (a) 힘의 작용으로 야기되는 변위를 측정

(b) 체적, 열전도등의 특성변화를 이용하여 측정; 극저이하의 압력측정 경우

(1) McLeod gage

Boyle의 관계식

$$P_1 = \frac{P_2 V_2}{V_1}$$

(2) 열전도게이지

전류가 흐르는 도선의 온도; 전류, 저항, 열의 방출률에 영향을 받음.

Pirani gage; 백금 필라멘트 사용

(3) 이온화 게이지

$1 \times 10^{-6} \sim 1 \mu\text{mHg}$ 이하의 압력 측정

삼극 전자관 (진공관과 같은 원리)

가열된 필라멘트에서 방출된 전자가 기체분자와 충돌 이온을 방출
필라멘트에 전류가 흐름

필라멘트의 온도조절이 필요

제 12 장 유체 유동의 측정

12.1 서론

정량방법
유량계
속도프로브
유동가시화 기술

12.2 유동의 특성

레이놀드 수

$$Re_D = \frac{\rho DV}{\mu}$$

관의 임계 레이놀드 수; 2100~4000

임계 레이놀드수 이하: 층류

“ 이상: 난류

유량

$$Q = \int_A V(x,y)dA$$

평균속도 (공학적으로 사용)

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1}{A} \int_A V(x,y)dA$$

비압축성 유체 Bernoulli's eq.;

$$p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} + z_1 g = p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + z_2 g$$

12.3 Obstruction meters (차압식유량계)

orifice, nozzle, venturi관을 이용
(참고문헌 1; 그림 15.3)

1) 비압축성 유체용 Obstruction meters

가정;

$$\rho_1 = \rho_2, z_1 = z_2, Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$p_1 - p_2 = \frac{V_2^2 \rho}{2g_c} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]$$

$$Q_{\text{ideal}} = A_2 V_2 = \left[\frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \right] \sqrt{\frac{2g_c(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

$$\text{let } \beta = \frac{d}{D}$$

$$\text{유량계수; } K = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}}$$

송출계수; C

* Venturi의 특성

$$0.95 < C < 0.98$$

* Flow-nozzle (유동노즐)

(참고문헌 1; 그림 15.6, 식 (15.6))

$$C = 0.99622 + 0.00059D - \frac{6.36 + 0.13D - 0.24\beta^2}{Re_d}$$

β ; 노즐 형태에 따른 계수

* Orifice의 특성

플랜지 탭

1D, 1/2D 탭

vena contracta 탭

* 참고문헌 1; Fig.15.9 유동계수 (K)

* venturi, nozzle, orifice의 비교

venturi; 높은 정확도, 좋은 압력 회복, 적은 마모
비용과 공간이 많이 필요

유동노즐; 압력회복이 나쁘다, 그 외 venturi와 같은 이점이 있다.

orifice; 가격 저렴, 설치가 용이
압력회복이 나쁨, 마멸, 마모, 약한 강도

2) 압축성 유체용 방해 유량계

(참고문헌 1; 그림 15.10 (a))

$$W = KA_2 Y \sqrt{2g_c \rho_1 (P_1 - P_2)}$$

Y; 팽창계수 Fig.15.10 (a). (b)

식 15.8a ; venturi, nozzle

식 15.8b; 직각모서리 orifice

12.4 가변면적 유량계

Rotameter

(참고문헌 1, Fig.15.11)

float에 작용하는 힘;

하향중력, 상향 부력, 압력, 점성항력

12.5 터빈형 유량계

12.6 Magnetic flowmeters

Faraday 법칙

e ; volt

B ; 자속밀도; gauss

d ; 도체의길이, 파이프직경, cm

v ; 도체의 속도, cm/s

$$e = Bd\bar{v} \quad Q = \frac{\pi}{4}d^2\bar{v}, \quad \bar{v} = \frac{4}{\pi d^2} \int_0^{\frac{d}{2}} 2\pi r v(r) dr$$

$$e = \frac{4}{\pi} \frac{B}{d} Q$$

(1) 유체; 전기적인 도체

관; 부전도체

전극; 유체와 접촉하도록 설치

(2) 유체; 액체금속과 같이 높은 전도성

관; 스테인레스강

전극; 관의 표면에 부착

12.7 초음파 유속·유량 측정법

(a) 전달시간법

유체속에서 음파가 전달되는 시간을 측정

$$c \pm V \cos \theta$$

(b) 위상차법

음파를 정형파라고 가정, 수신측에 도달할 때의 위상차를 계산

$$\Delta \phi_1 = 2\pi f t_1 = 2\pi f l / (c + v)$$

$$\Delta \phi_2 = 2\pi f t_2 = 2\pi f l / (c - v)$$

$$\Delta \phi_2 - \Delta \phi_1 = 2\pi f l \left(\frac{1}{c - v} - \frac{1}{c + v} \right) \simeq 2\pi f l \frac{2v}{c^2}$$

따라서

$$v = \frac{c^2}{4\pi f l} (\Delta \phi_2 - \Delta \phi_1)$$

(c) Doppler법

$$\Delta f = |f_0 - f_1| = 2f_0 \frac{v \cdot \cos \theta}{c}$$

(d) 상관법(Correlation Method)

인접한 두개의 단면에 설치한 발신소자/수신소자로부터 받은 신호들 간에 상관관계를 구하여 최대값을 주는 때의 시간차이를 이용

$$R_{12}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x_1(t) x_2(t + \tau) dt$$

$$v = \frac{L}{\tau}$$

12.8 유속 측정법

1) Total pressure, static pressure 이용

Pitot tube; impact pressure 측정에 사용, 총돌압관과 정압관이 별도로 설치됨.

(참고문헌 1, 그림 14.2)

Prandtl-Pitot tube ; 정압공 (static opening)을 함께 조합

(참고문헌 1, 그림 15.16)

2) 분산측정법 (scattering measurements)

* LDV (Laser Doppler Velocitimeter)

Laser interferometer를 이용

3) 유동 가시화 (Flow Visualization)

* 연기선 가시화

* digital image processing

LDV 데이터를 이용