

제 11 장 유체 유동의 측정

11.1 서론

정량방법
유량계
속도프로브
유동가시화 기술

11.2 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.:

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

11.3 Obstruction meters (차압식유량계)

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

1) 비압축성 유체용 Obstruction meters

가정:

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

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

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

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

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

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

11.4 가변면적 유량계

Rotameter

(참고문헌 1, Fig.15.11)

float에 작용하는 힘;

하향중력, 상향 부력, 압력, 점성항력

11.5 터빈형 유량계

11.6 Magnetic flowmeter

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

11.7 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

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

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

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

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

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

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

11.8 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