

제 9 장 Pitot관을 이용한 유속의 측정

1. 목 적

Pitot 정압관을 이용하여 원형 실린더 후방에서 발생하는 Wake의 평균 유속을 측정한다. 이를 통해 Wake의 수평 방향 경계를 정하고 난류로서의 특성을 살펴보는 한편 대칭성을 확인한다.

2. 예습부문

- (1) Mechanical Measurements(4th Ed.), T. G. Beckwith & R. D. Marangoni
pp.535-538, pp.552-559

3. 실험장치

- (1) 대형 풍동 (풍동실, #4110)
- (2) 원형 실린더 (직경 30 mm)
- (3) Pitot probe
- (4) 이송장치
- (5) micromanometer
- (6) PC/AT, A/D converter

4. 이 론

4.1 개요

유동내의 물체는 항력을 갖게 되며 동력을 발생하는 유체 기계에 있어서 이 항력의 해석은 매우 중요하다. 유동의 특성을 결정하는 물리량으로 속도, 압력, 밀도, 온도, 점도, 표면 장력 등을 들 수 있는데 이 값들은 특정 시간대에 위치에 따른 특성값으로 측정되어야 하며, 실험을 통해 유동을 해석함으로써 유동내 물체의 적절한 모형을 설계할 수 있게 된다. 유동 특성의 측정에 있어서는 유동의 종류에 따른 문제가 생기게 된다. 즉, 유동이 층류이거나 난류일 수 있으며, 유동 매질이 액체, 기체, 가루등일 경우 각각 특성이 다르다. 또한 유동이 정상이거나 비정상인 경우에 따라 유동의 특성 해석에

다른 측정 방법이 동원될 수 있다.

이 장에서는 유동의 특성값의 하나로서 대부분의 경우 가장 중요한 변수인 속도를 측정하는 방법인 Pitot probe를 이용한 유속 측정을 알아본다.

4.2 Pitot Probe

Pitot probe는 Bernoulli의 원리에 따라 유속을 측정하는 장치이다.

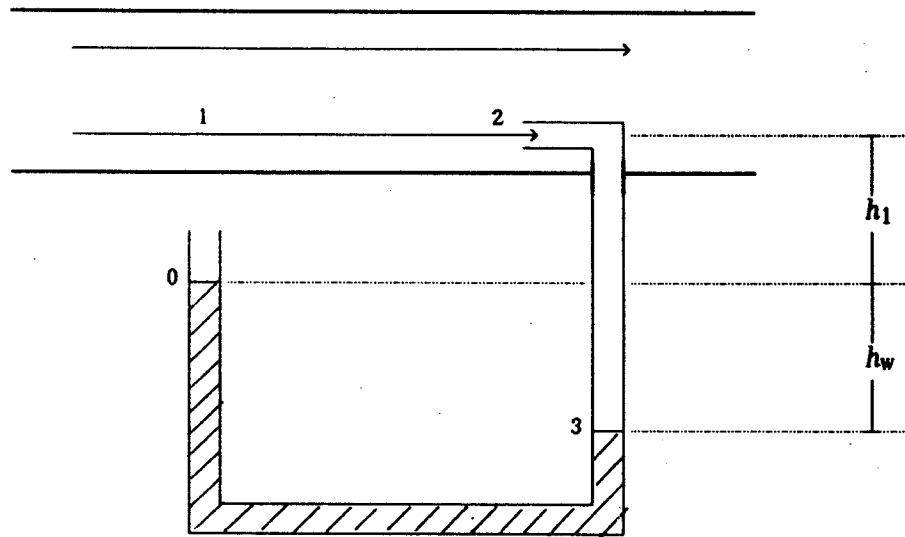


Fig.9.1 Pitot tube and water-column manometer

먼저 Bernoulli의 원리가 적용되는 상황에 대해 알아보자. 비압축성 유체의 정상 유동에 있어서 두 지점 사이의 단위 질량당 운동에너지의 변화량은 압력과 중력에 의해 하여진 일과 같다.

$$\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho_g} + gh = \text{constant} \quad (1)$$

p : 압력 ρ_g : 유체의 밀도 h : 기준치에 대한 유체의 높이

Fig.9.1에서 보는 바와 같이 probe 관계 물리량들은 (1)식에 의해 표현될 수 있으며 다음과 같다.

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho_g} + gh_1 = \frac{v_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho_g} + gh_2 \quad (2)$$

임의의 점1에서 Bernoulli 상수는 점2에서의 Pitot probe의 작동에 의해 영향을 받지 않는다. 정체 조건이 만족하는 점(stagnation point ; $v_2 = 0$)에서 (2)식을 v_1 에 대해 풀면

$$v_1 = v_g = \sqrt{\frac{2}{\rho_g} (p_2 - p_1)} \quad (3)$$

여기서 압력차 ($p_2 - p_1$)는 여러가지 방법으로 측정할 수 있다.

Fig.9.1의 경우 압력계를 사용하였는데 압력계(manometer)의 원리는 간단하나 감도(sensitivity), 작동범위(range), 주파수 응답 특성에 의해 사용상의 한계가 정해진다. 유동이 공기인 경우에

$$p_0 = p_1 + \rho_g g h_1 \quad (4)$$

$$p_3 = p_2 + \rho_g g (h_1 + h_w) \quad (5)$$

의 관계를 갖는다. (h_w : 수액주의 높이차)

한편, ρ_w 를 물의 밀도라 할 때,

$$p_3 = p_0 + \rho_w g h_w \quad (6)$$

의 관계를 갖는다.

식(4), (5), (6)을 연립해서 ($p_2 - p_1$)에 대해서 풀면, $\rho_w \gg \rho_g$ 이므로

$$p_2 - p_1 = g h_w (\rho_w - \rho_g) \approx \rho_w g h_w \quad (7)$$

이 된다. 또, (3)식과 (7)식을 연립해서 풀면,

$$v_g = \sqrt{\frac{2 \rho_w g h_w}{\rho_g}} \quad (8)$$

로써 v_g 가 $\sqrt{h_w}$ 에 비례함을 알 수 있다.

(8)식을 미분하고 v_g 로 양변을 나누면,

$$\frac{dv_g}{v_g} = \frac{dh_w}{2h_w} \quad (9)$$

즉,

$$\frac{dh_w}{dv_g} = \frac{2h_w}{v_g} \propto v_g \quad (10)$$

가 된다.

이를 통해 속도가 작을때 Pitot probe와 압력계의 감도상의 문제가 없어짐을 알 수 있다.

윗식에 있어서

$$\rho_g = 1.2 \text{ kg/m}^3 \text{ (상온 } 25^\circ\text{C)}$$

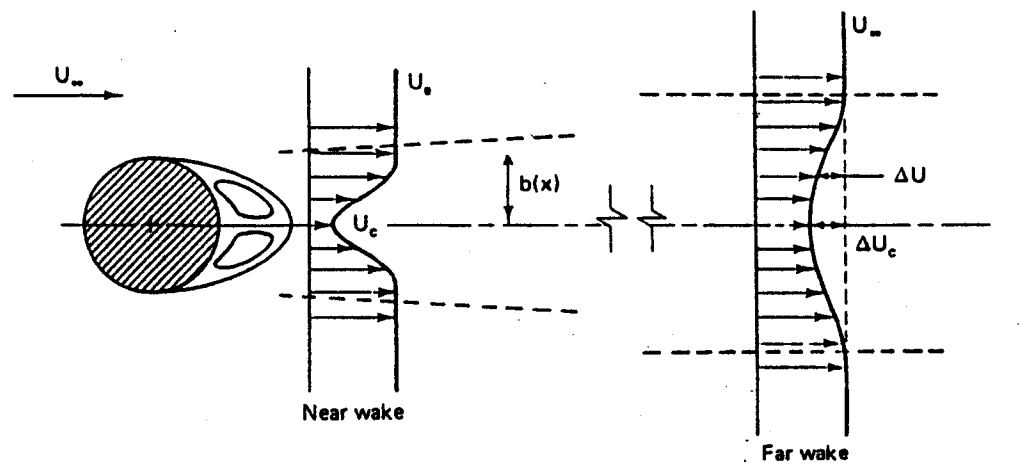
$$\rho_g = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

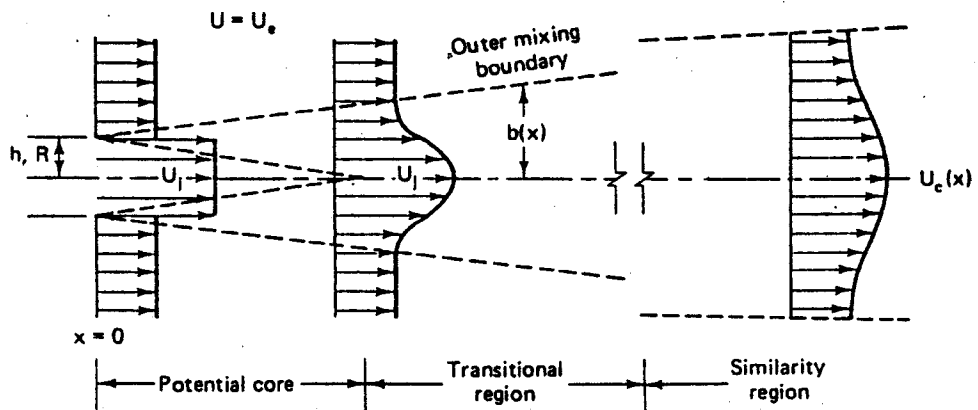
을 사용한다.

4.3 Turbulent Shear Flow - Wakes

(1) Free Turbulent Shear Flows



(A) Typical wake flow



(B) Typical jet flow

Fig.9.2 Schematic illustrations of free turbulent shear flows.



Fig.9.3 Circular cylinder at $R = 10,000$. At five times the speed of the photograph at the top of the page, the flow pattern is scarcely changed. The drag coefficient consequently remains almost constant in the range of Reynolds number spanned by these two photographs. It drops later when the boundary layer becomes turbulent at separation.



Fig.9.4 Kármán Vortex street behind a circular cylinder at $R = 140$. Water is flowing at 1.4 cm/s past a cylinder of diameter 1 cm. Integrated streaklines are shown by electrolytic precipitation of a white colloidal smoke, illuminated by a sheet of light. The vortex sheet is seen to grow in width downstream for some diameters.

실험 9 : Pitot관을 이용한 유속의 측정

1. 실험장치

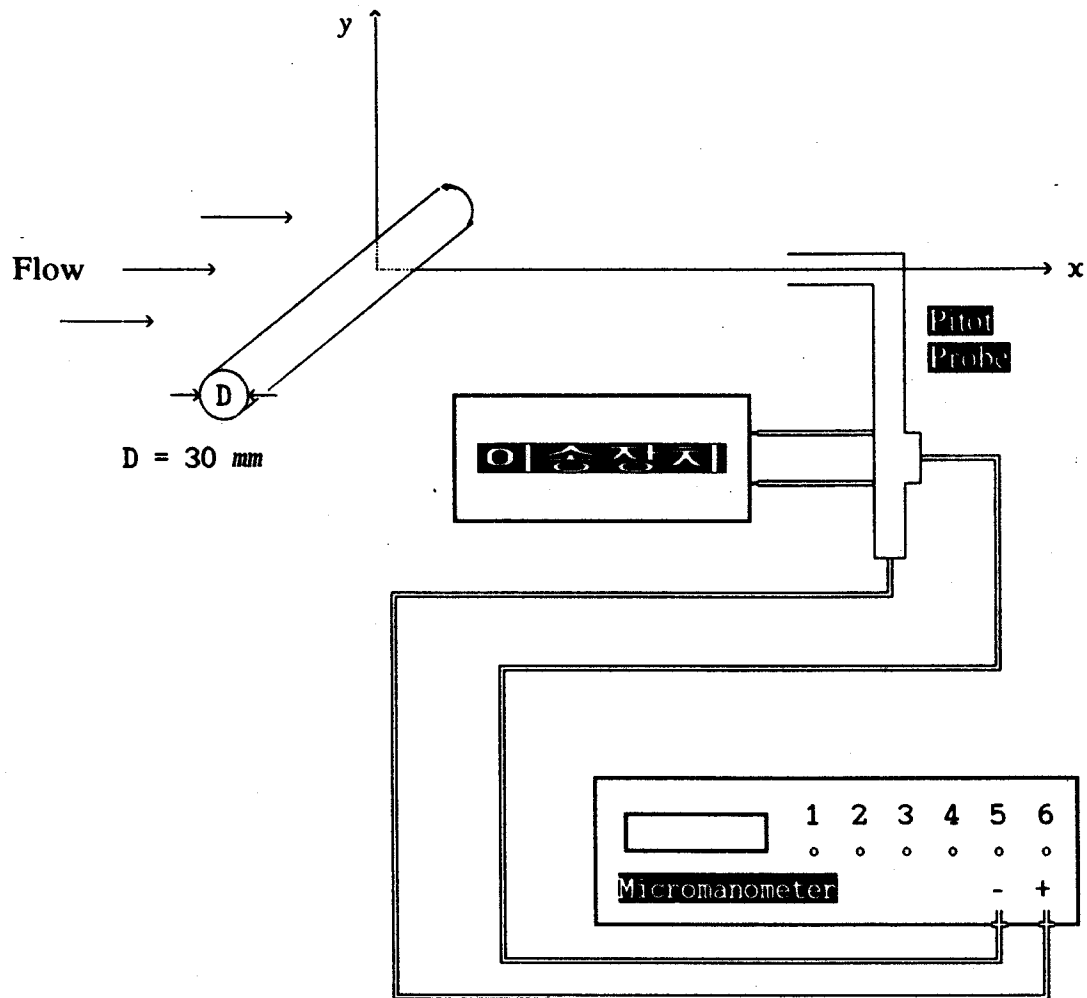


Fig.9.5 실험장치

- (1) Manometer는 설명이 있기전까지 연결하지 않는다.
- (2) Micromanometer에 어댑터를 연결하고 on시킨다. switch 상단에 READ switch(2)를 『=』에 놓고 switch(4)를 『 ΔP 』에 놓고 Zero setting

switch(5)를 이용하여 ΔP 값이 00.0이 되도록 한다. Zero setting이 되었으면 switch(2)는 「Read」에 switch(4)는 「m/s」에 놓으면 Pitot probe로 유체의 속도를 측정할 수 있다.

- (3) Pitot probe와 micromanometer를 tube로 연결한다. 이 때 micromanometer의 「+」 단자와 Pitot probe의 total pressure tab에 연결하고 static pressure tab과 「-」 단자는 연결할 필요가 없다.
- (4) 실험시 Pitot probe의 중심선은 흐름 방향(x축)과 일치하여야 한다.
- (5) 기준점에 Pitot probe를 설치하고 자유 흐름의 평균속도(U_0)가 10 m/s가 되게 한다.
- (6) 측정구에 Pitot probe를 설치하고 벽면으로부터의 거리를 측정한 후 실험을 시작한다.

2. Data 정리

- (1) Pitot probe를 사용하여 wake의 대칭축(x)에서의 속도를 측정한다. 즉 「 $U(x) = U(x, y=0)$ 」, $x = 1.5D, 10D, 15D, 20D, 25D, 30D$ 여기서 D 는 원봉의 직경, 예로 $10D$ 는 직경 D 의 10배이다.

Distance x	$1.5D$	$10D$	$15D$	$20D$	$25D$	$30D$
Velocity U_0						

- (2) $x = 10D, 20D, 30D$ 에서 y 방향을 따라 10 point 정도 속도를 측정한다. 예를 들면 $x = 20D$ 에서 측정한다면 $x = 20D$ 에서 $y = 0$ 인 곳과 유체의 속도가 자유 흐름의 속도와 같은 곳까지, 이 구간을 10등분해서 각 등분한 곳에서 각각 측정한다. $x = 10D$ 에서 y 방향의 「+」 방향 「-」 방향으로 10 point 측정함으로써 symmetric함을 알아보고 $x = 20D, 30D$ 에서는 y 의 한쪽 방향만을 택해서 측정한다. 측정위치는 다음 Fig.9.6과 같다.

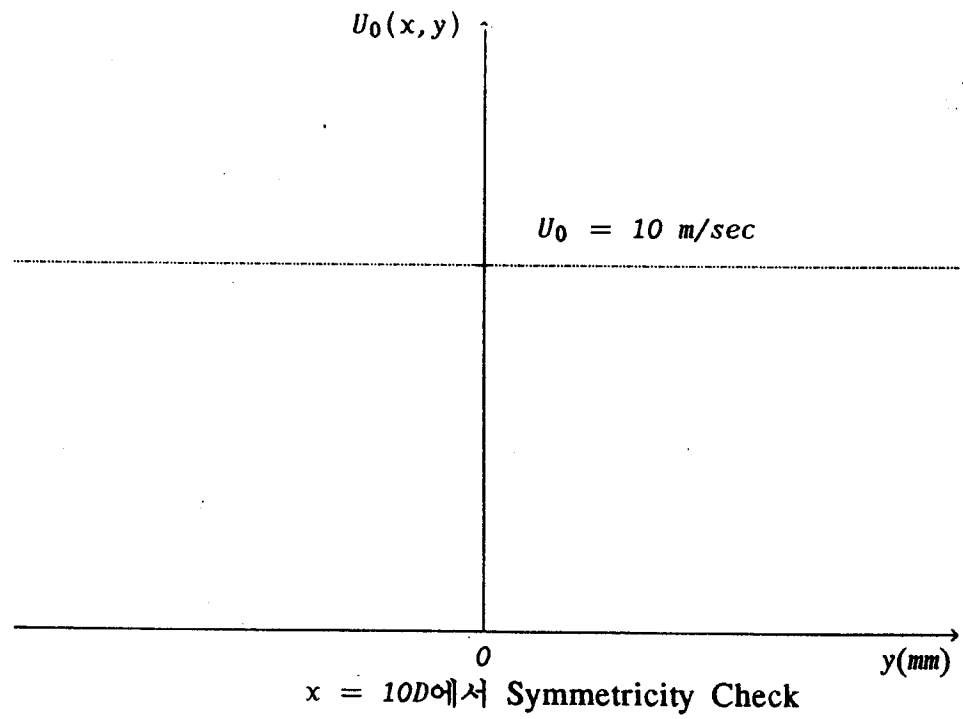
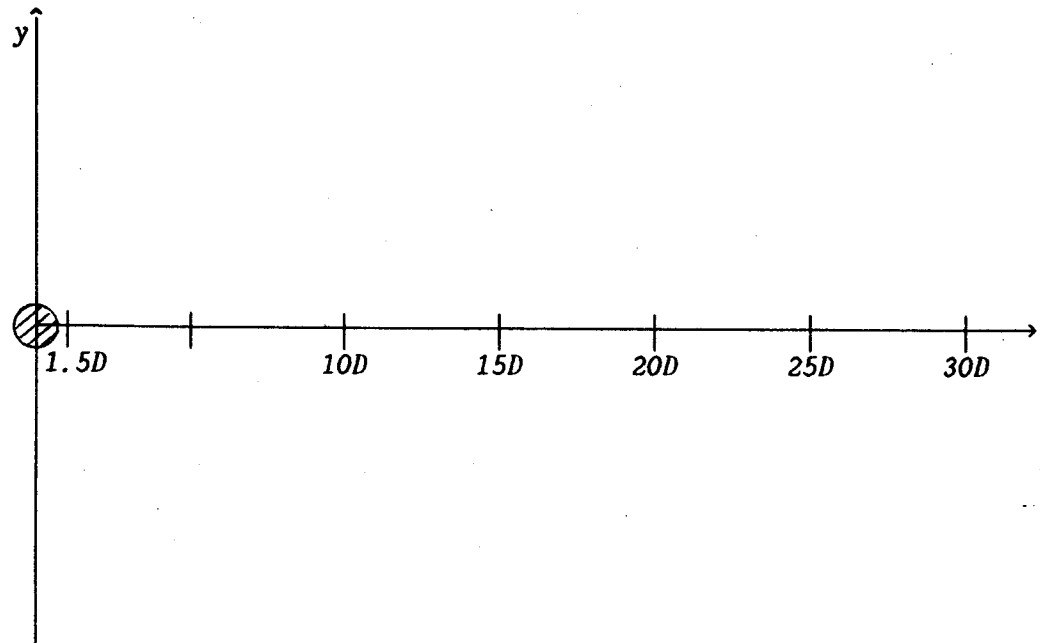


Fig.9.6 측정 위치