

레이놀즈 수

2019-1

제출 : 1공학관 111호
muck2314@naver.com

1. 실험목적

실제 유체의 유동은 점성의 존재로 대단히 복잡하게 진행된다. 유체에 점성의 영향은 임계 레이놀즈수를 기점으로 층류와 난류로 구분하는데 그 경계면의 유동을 천이구역이라고 한다. 본 실험은 관의 유동에서 물의 흐름 상태와 층류, 난류의 개념을 이해하고 임계레이놀즈수를 산출하는 데 목적이 있다.

2. 실험이론

파이프내의 유체유동은 층류와 난류유동으로 구분된다. 실제 유체의 유동은 점성의 존재에 의하여 생기는 현상이며 대단히 복잡한 운동을 한다. 점성은 유체유동의 형태에 영향을 끼치게 되고 그에 따라 층류와 난류유동의 형태로 나타난다. 영국의 과학자이자 수학자인 Osborn Reynold(1842~1912)는 간단한 장치를 사용하여, 이 두 가지 종류의 유동에 대한 차이를 처음으로 구분하였다. 물이 지름 d 인 파이프를 평균속도 V 로 흐를 때, 중간에 뜨는 물감을 분사시키면 다음과 같은 특성이 관찰된다.

충분히 “적은유량”에 대해서 물감이 유체 내에서 그리는 선(유맥선)은 분자에 의한 확산 때문에 유체 속으로 스며들어 약간 번지기는 하지만 거의 명확한 선을 나타낸다. 충분히 많은 유량과 충분히 적은 유량의 “중간 정도의 유량”인 경우는, 물감이 그리는 선은 시간과 공간에 대해 요동하며 간헐적으로 불규칙한 운동형태가 선을 따라 나타난다. 반면에, “충분히 많은 유량”에 대해서는 물감선이 불규칙한 형태로 전 영역에 걸쳐 순간적으로 퍼지고 확산된다. 이러한 3가지 유동특성은 각각 층류운동, 천이운동, 난류운동이라 칭한다.

- ▶ 층류 : 유체유동에서 유체입자들이 층을 이루고 안정된 진로를 따른 움직임
- ▶ 난류 : 유체입자들이 대단히 불규칙적인 진로로 움직임

레이놀즈수는 관성력과 점성력의 비로 정의되어지는데 점성유체의 유동은 뉴턴의 점성 법칙이 적용되어 점성이 낮을수록, 유체의 속도가 빠를수록, 관의 단면적이 클수록 불안정해지며 난류가 된다.

유체의 평균 운동속도 : V

관의 내경 : d

유체의 밀도 : ρ

점 성 : μ

레이놀즈수는 다음과 같이 정의된다.

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{vdp}{\mu} \quad (v : \text{동점성계수 } m^2/s)$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d^2}$$

$$\therefore Re = \frac{4Q}{\pi d\nu} = \frac{4Qp}{\pi d\mu}$$

층류에서 난류로 또는 난류에서 층류로 천이할 때의 유속을 임계속도라 하고 그때의 레이놀즈수를 임계레이놀즈수라고 한다. 층류에서 난류로 파괴되는 순간의 속도를 임계속도, 이 때 레이놀즈수의 값을 상임계레이놀즈수라고 한다. 이와 반대로 난류에서 층류로 변화하는 순간의 속도를 하임계속도, 이 때 레이놀즈수를 하임계레이놀즈수라고 한다. 일반적으로 임계레이놀즈수라고 하면 하임계레이놀즈수를 지칭하고 관류동의 경우에는 보통 2,300으로 취한다. 하임계 Re 값은 약 2,000이며 Schiller의 실험에서는 2,300이었다고 하며 하임계 Re 값은 약 2,000에서 10,000 또는 그 이상이 된다고도 한다. 이와 같이 Re 값이 일정치 않은 것은 관내부로 흐를 때 외부의 영향으로 유체입자의 운동이 달라지기 때문이다.

※ 참고사항

상사의 법칙

2개의 물체에 대해 흐름이 상사이기 위한 필요조건은 우선 물체의 형상이 기하학적으로 상사형이어야 한다. 다음에 흐름은 외력, 압력의 차에 의한 힘, 점성력등과 관성력이 균형이 되도록 동일해야 한다.

$$\frac{DV}{Dt} = -\nabla P + \frac{\mu}{\rho VD} \nabla^2 V \quad (\text{운동방정식}) \text{에서 우변 제 2항의 } \nabla^2 V \text{ 는 실}$$

물과 모형이 동일하므로 그 계수 $\frac{\mu}{\rho VD}$ 이 동일해야 한다. 즉 이 역수는 Re 가 된다.

유체역학에서 사용하는 무차원의 예

$$\textcircled{1} \text{ Froude Number : } Fr = \frac{V^2}{gl} = \frac{V}{\sqrt{gl}}$$

⇒ 수면에 생기는 중력파의 문제라든가 선박의 조파저항 또는 관로에 의한 모래, 석탄 등의 수송에 마찰 손실을 논하는 문제에 적용

$$\textcircled{2} \text{ Mach Number : } M = \frac{\rho V^2}{E} = \frac{V^2}{\frac{E}{\rho}} = \frac{V}{C}$$

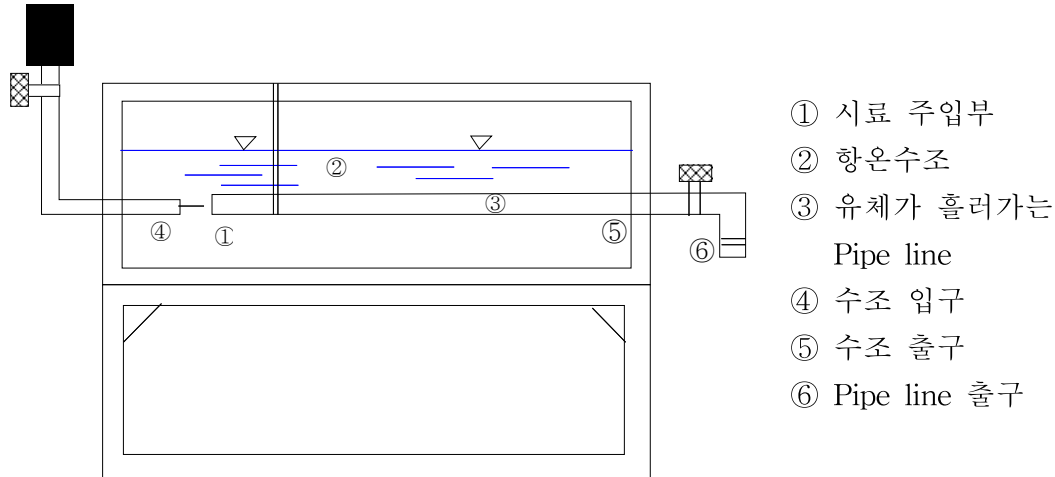
⇒ 운동하는 유체의 내부에너지에 대한 운동에너지 비라고도 할 수 있다. 특히 속도가 음속에 가까울 때 또는 음속 이상인 유동에 적용

$$\textcircled{3} \text{ Euler Number : } Eu = \frac{\Delta P}{\rho V^2}$$

④ Weber Number : $We = \frac{\rho l V^2}{\sigma}$

⇒ 표면장력이 중요하게 작용하는 기체-액체 또는 액체-액체의 접촉면 또는 접촉면과 고체 면과의 교선, 표면 인장력, 물방울의 형성, 극히 작은 수두를 갖는 오리피스나 위너의 유동에 적용

3. 실험장치



유체의 유속은 ⑥의 유체 출구에서 측정하게 되며, 유체의 밀도와 점도, 그리고 측정된 유체의 유속을 이용해 Reynolds Number를 계산하게 된다.

4. 실험방법

- ① 물의 흐름을 관찰하기 쉽도록 투명한 항온조를 수조로 준비한다.
- ② 급수밸브를 열어 수조에 물을 가득 채우고, 물탱크는 항상 수두를 일정하게 유지하기 위해 넘치는 물은 over flow시킨다.
- ③ 수조 출구의 밸브를 열어 물이 흐르게 하고 착색액의 밸브를 조정하여 가는 선이 되도록 한다.(착색액 유출 바늘의 위치를 조정해 준다.)
- ※ 상임계 레이놀즈수의 측정(층류 → 난류)
- ④ 수조 출구의 밸브를 서서히 열어 관내의 물의 유속을 증가시킨다.
- ⑤ 난류가 발견되면 mass cylinder 및 stop watch로 10초간 흘러나온 유량을 측정 한다.
- ⑥ 유량을 3회에 걸쳐 측정하고, 주위의 충격, 진동을 방지한다.
- ※ 하임계 레이놀즈수의 측정
- ⑦ 난류상태가 되도록 수조 출구의 밸브를 많이 열어놓고 위 실험의 역과정을 실시한다.
- ⑧ 측정된 data에서 물의 속도를 구한다. 물의 유속은 출구 쪽 관의 단면적과

흘러나온 물의 부피, 그리고 채취 시간을 이용하여 구할 수 있다.

⑨ 계산된 유속을 이용하여 Reynolds Number를 구하고 유동의 특성을 추측한다.

※ 실험장치 사용 시 유의사항

Reynolds Number의 계산을 위한 유체 유속의 측정 실험을 통해 유체 흐름의 원리를 이해하고, 공정 설계에 적용할 수 있다. 본 실험에 사용되는 장치의 사용 시 다음과 같은 몇 가지 유의사항이 있다.

- ① 유체의 유속 결정시 항상 출구 쪽의 유체를 취하여야 한다.
- ② 실험이 진행되는 동안 유체의 온도를 일정하게 유지하기 위해서, 수조의 온도를 항상 일정하게 유지해야 한다.

5. 실험결과

물의 온도	11.0 °C (1기압)
점성 계수	$1.267 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$
밀도	999.60 kg/m^3

관의 직경(d) = 25mm

상임계 레이놀즈수 측정(층류 → 난류)					
	측정값	물의 무게(kg)	시간(t)	유량(Q)	Re
1회					
2회					
3회					
평 균					

하임계 레이놀즈수 측정(난류 → 층류)					
	측정값	물의 무게(kg)	시간(t)	유량(Q)	Re
1회					
2회					
3회					
평 균					

6. 파이프 내 속도분포 개략도 (수기작성)

파이프 유동의 층류와 난류 속도분포를 그려라. Uniform flow로부터 입구 길이를 지나 완전 발달된 속도분포를 나타내어라. U_0 를 이용하여 U_{avg} 와 U_{max} 를 나타내고 입구 길이에 대한 조건을 각각 명시하라.

7. 결과 분석 및 고찰