

기계공학 응용실험2

원심 팬 성능실험

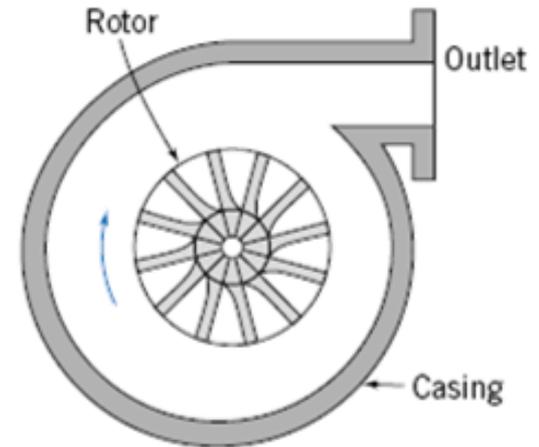
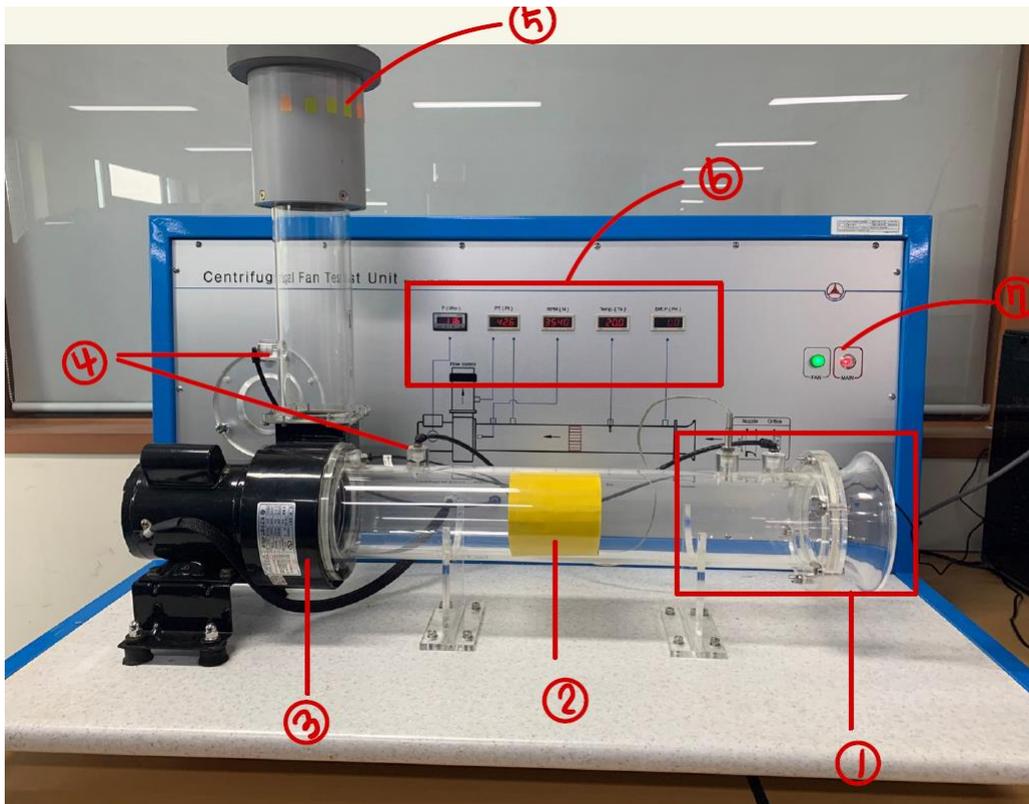
기계공학과 김동주 교수

테크노관 362호

kdj@kumoh.ac.kr

실험 목적

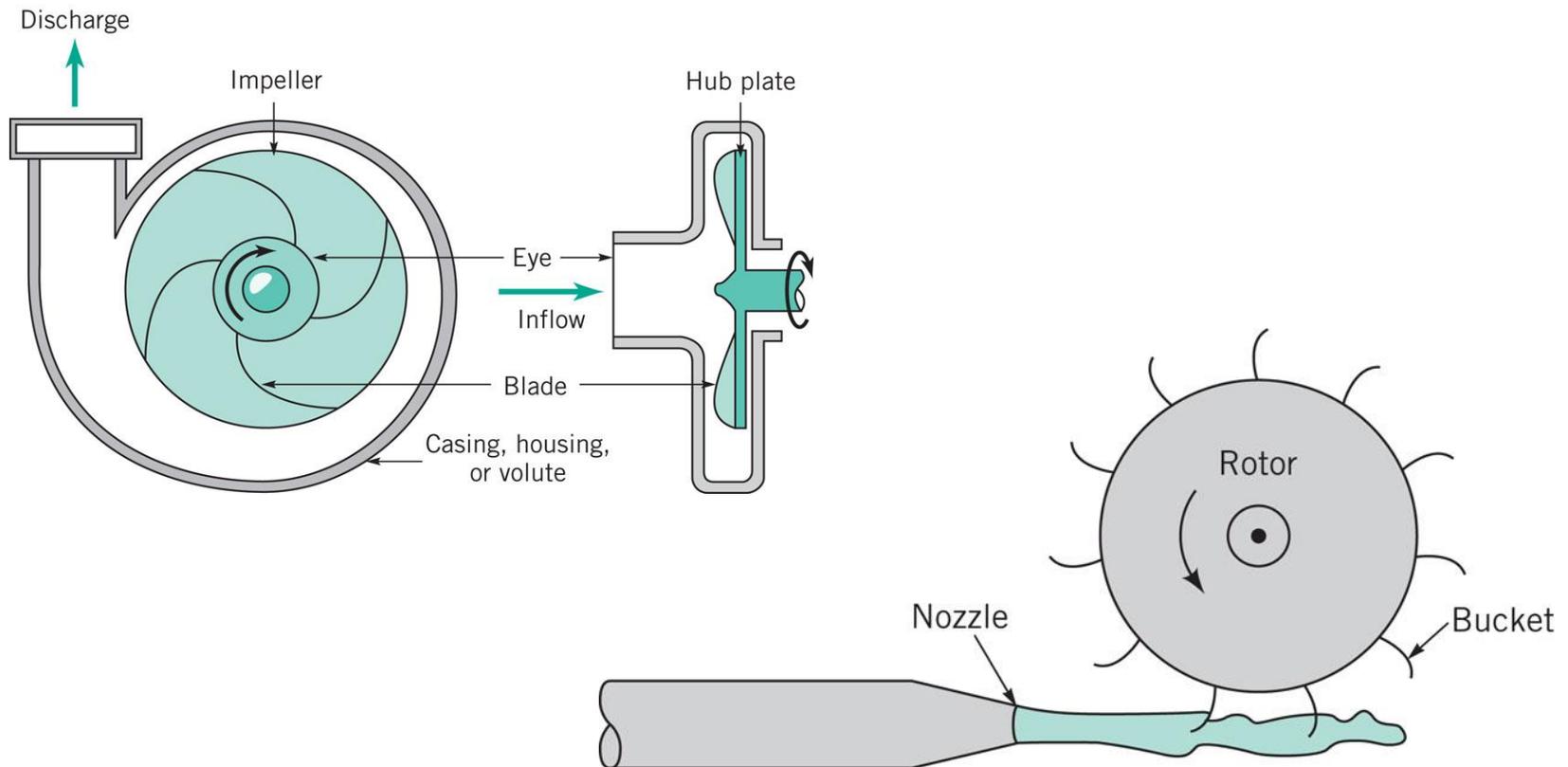
- 원심 팬의 원리를 이해하고, 유량에 따라 **압력/수두(상승)**, **팬 (구동) 동력**, **팬 효율**이 어떻게 변하는지를 측정을 통해 학습한다.



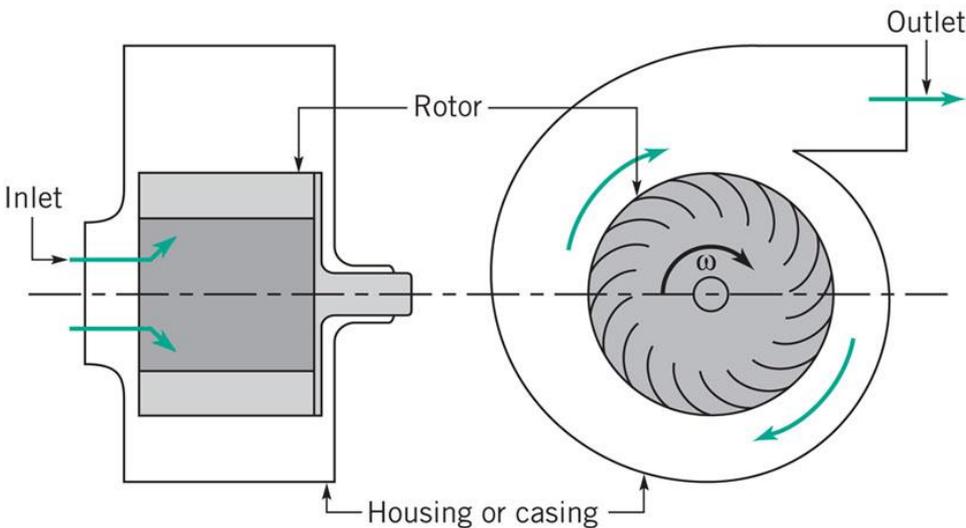
○ 터보기계(turbomachine)

○ 유체기계의 분류

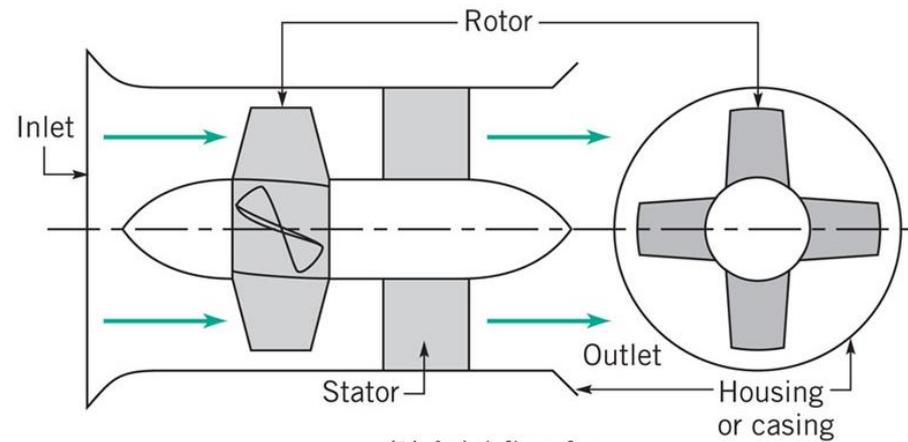
- 유체에 일(동력)을 더해주는 기계 : (ex) 펌프, 팬, 송풍기, 압축기
- 유체로부터 일(동력)을 추출하는 기계 : (ex) 수력/가스 터빈



- 유로의 기하학적 형태/유동 방향에 따른 분류
 - 반경류(radial flow)형 : 원심식(centrifugal) 기계
 - 축류(axial flow)형
 - 혼류(mixed flow)형

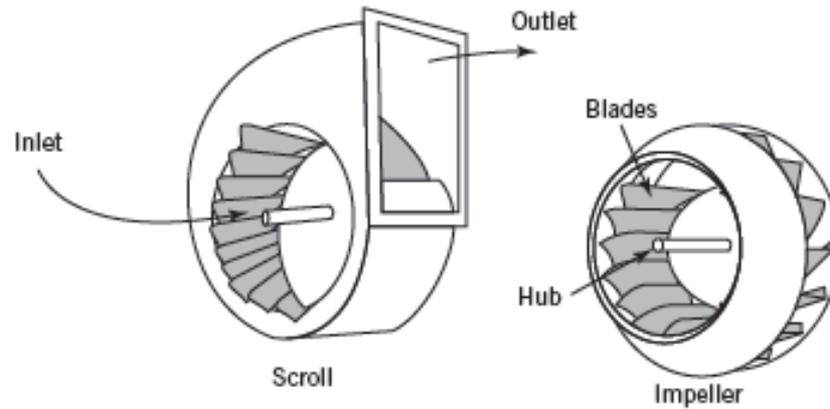


(a) Radial-flow fan



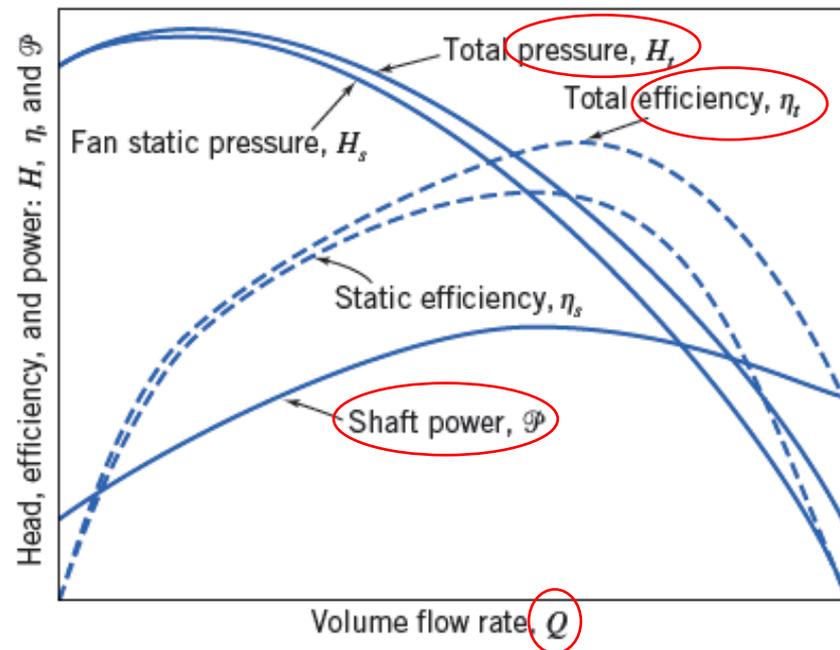
(b) Axial-flow fan

○ 원심 팬의 분해도

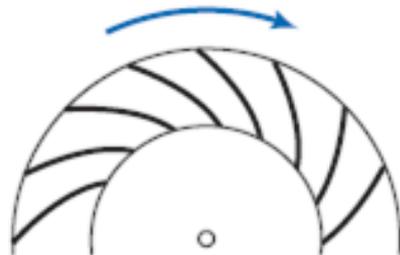


○ 원심 팬의 성능곡선 : 뒤 젓힘 곡선 깃(blade)의 예

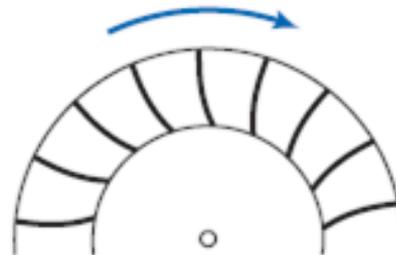
- 회전속도 일정 유지
- 유량에 따른 변화
 - 전압 (전수두)
 - 축동력
 - 전압 효율



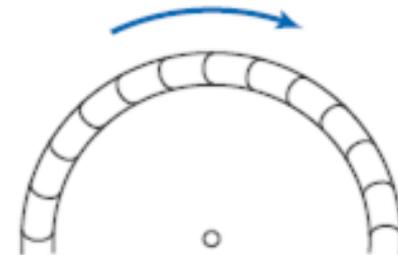
- 깃의 형상에 따른 분류
 - 뒤 젖힘 곡선 깃(backward-curved blade)
 - 끝이 반경방향인 깃(radial-tipped blade)
 - 앞 젖힘 곡선 깃(forward-curved blade)
 - 에어포일 깃(airfoil blade)



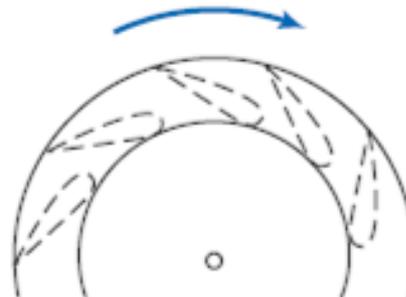
(a) Backward-curved



(b) Radial-tipped



(c) Forward-curved



(d) Airfoil blades

- 검사체적 해석 (각운동량 보존) _{steady}

$$\Sigma \vec{T}_{sys} = \frac{d}{dt} (\vec{r} \times m \vec{V})_{sys} = \frac{\partial}{\partial t} (\vec{r} \times m \vec{V})_{CV} + \Sigma (\vec{r} \times \dot{m} \vec{V})_{out} - \Sigma (\vec{r} \times \dot{m} \vec{V})_{in}$$

\vec{U} : 임펠러 속도

$$U_1 = \omega r_1$$

$$U_2 = \omega r_2$$

\vec{W} : 임펠러에 대한 유체의 상대속도

\vec{V} : 유체의 절대속도 $\vec{V} = \vec{W} + \vec{U}$

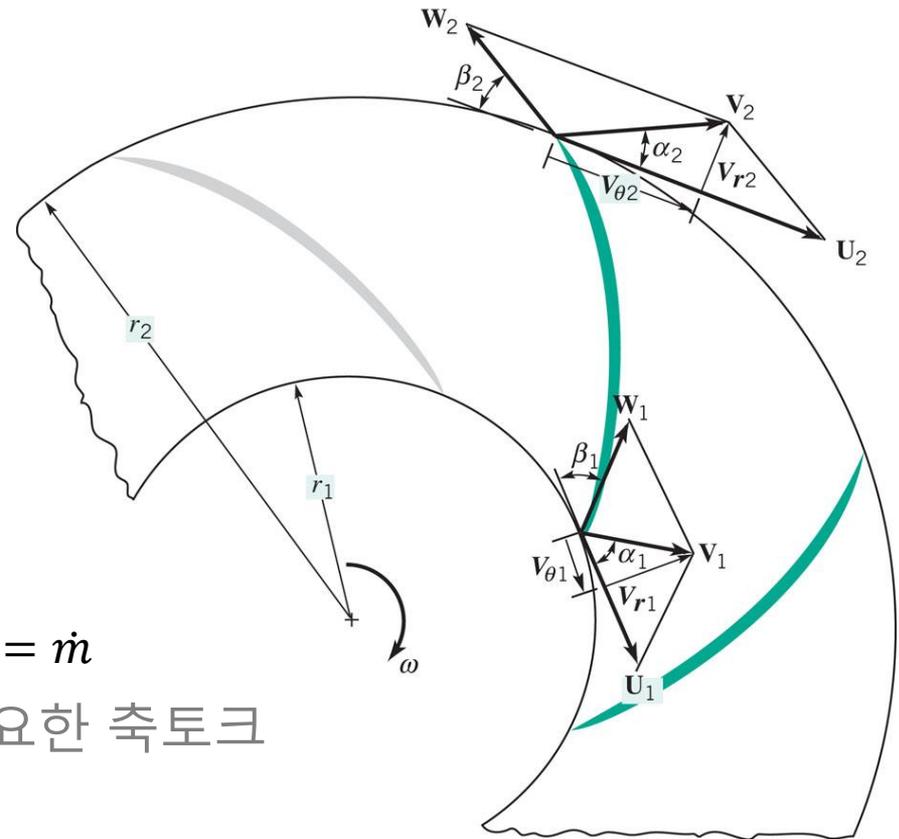
- 질량보존 법칙

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

- 임펠러를 회전시키기 위해 필요한 축토크

$$T_{shaft} = \dot{m}(r_2 V_{\theta 2} - r_1 V_{\theta 1})$$

$$T_{shaft} - T_{resistance} \text{ (무시)}$$



- 축토크(shaft torque) $T_{shaft} = \dot{m}(r_2V_{\theta 2} - r_1V_{\theta 1})$ Euler 터보기계 방정식
 - 사용된 가정
 - 정상 유동
 - 입구/출구에서 균일유동
 - 표면력(점성력과 압력힘)에 의한 토크 무시

- 축동력(shaft power)

$$\dot{W}_{shaft} = T_{shaft}\omega = \dot{m}\omega(r_2V_{\theta 2} - r_1V_{\theta 1})$$

$$U_1 = \omega r_1$$

$$U_2 = \omega r_2$$

$$\dot{W}_{shaft} = \dot{m}(U_2V_{\theta 2} - U_1V_{\theta 1})$$

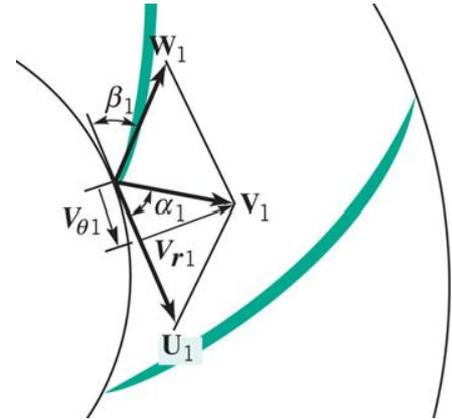
$$\dot{W}_{shaft} - \dot{W}_{resistance}(\text{무시})$$

- 유체의 (이론적) 수두 상승 : 손실 무시

$$h_i = \frac{\dot{W}_{shaft}}{\dot{m}g} = \frac{1}{g}(U_2V_{\theta 2} - U_1V_{\theta 1})$$

- 유동이 임펠러로 유입할 때 접선속도가 없으면,

$$h_i = \frac{U_2 V_{\theta 2}}{g} \quad V_{\theta 1} = 0 (\alpha_1 = 90^\circ)$$



- 펌프/팬에 의한 이론 수두 상승 : 유도과정 (과제)

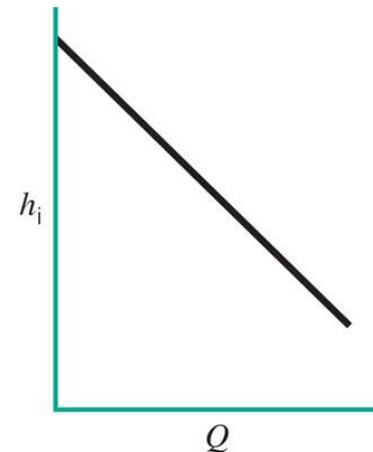
- 유체역학 교재 11.4절 원심펌프 참조
- 유량 Q 증가 (날개형상, 회전속도 고정) $\rightarrow h_i$: 선형적 감소

b_2 : 반경 r_2 에서 임펠러 깃 높이

$$h_i = \frac{U_2^2}{g} - \frac{U_2 \cot \beta_2}{2\pi r_2 b_2 g} Q$$

- 펌프/팬에 의한 실제 수두 상승
- 유량 Q 에 대해 비선형적으로 변화
- 이론 수두보다 작음

이론 수두와 차이, 수두 손실의 원인? (과제)



- 펌프/팬에 의한 전수두 (상승), h_a
 - 에너지 방정식 (유체역학 교재 5장)
 - 펌프/팬 입구와 출구 단면 (1), (2)

$$h_a = h_i - h_L = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + z_2 - z_1$$

축일에 해당 수두 손실(head loss)

- 속도수두 차이 및 높이수두의 차이가 작으면, $h_a \approx \frac{p_2 - p_1}{\rho g}$

- 펌프/팬에 의한 전압 (상승), $\Delta p_{t, fan}$
 - 펌프/팬 입구와 출구의 전압 차이

$$\Delta p_{t, fan} = p_{t2} - p_{t1} = \rho g h_a$$

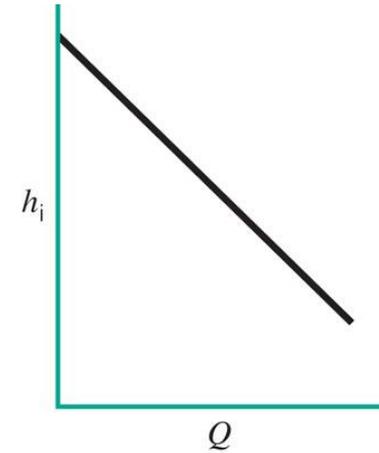
- 유체가 얻은 동력(fluid power)

$$\dot{W}_f = \dot{m}gh_a = \gamma Q h_a$$

- 펌프/팬 효율

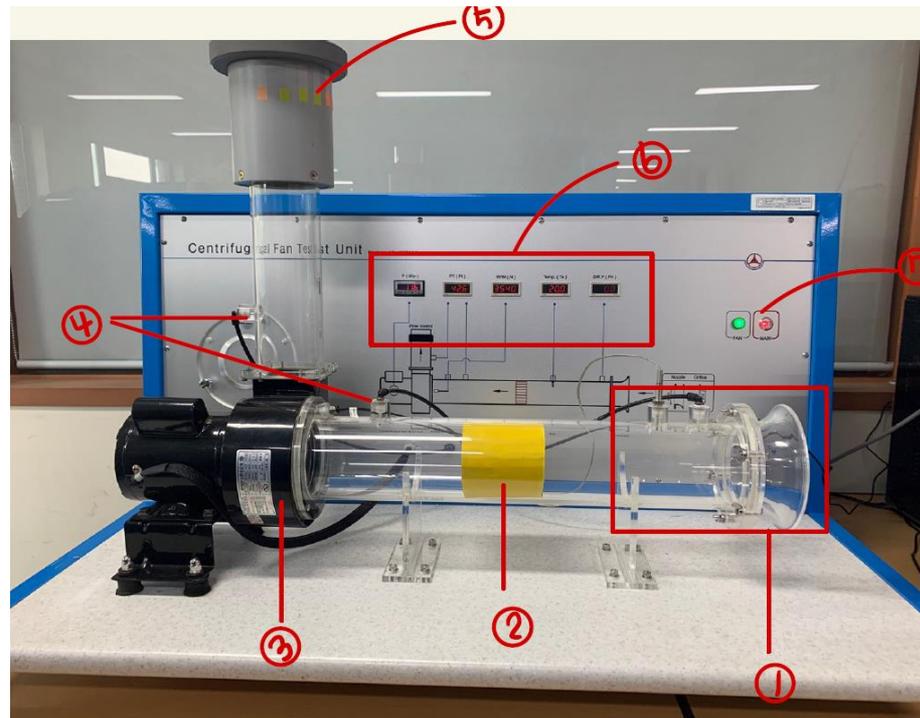
$$\eta = \frac{\dot{W}_f}{\dot{W}_{shaft}} = \frac{\dot{m}gh_a}{T_{shaft}\omega} = \frac{\gamma Q h_a}{T_{shaft}\omega}$$

유체가 얻은 동력
 펌프/팬을 구동하는 축동력



Q에 따른 변화? (실험데이터 관찰)

- 유량조절 밸브(그림 ⑤)의 개폐율을 약 1/10 간격으로 조절하여 유량을 변경시키면서 약 10번 측정을 실행한다.
- 측정할 데이터는 다음과 같다.
 - 노즐 입출구의 정압차 (그림 ①)
 - 팬 축동력 & 임펠러 회전속도 (그림 ③)
 - 팬 입출구 전압차 (그림 ④)



○ 첨부 엑셀 파일 참조

실험값					
No	축동력 [W]	팬 전압차 [mmAq]	회전속도 [RPM]	온도 [°C]	노즐 정압차 [mmAq]
1	117	42.5	3537	19.7	0
2	121	45.3	3533	19.5	0.2
3	129	42.9	3524	19.5	0.9
4	135	40.9	3517	19.5	1.5
5	143	39.6	3509	19.2	2.6
6	148	38.3	3506	19.2	3.2
7	161	33.9	3493	19	4.9
8	172	27	3485	18.8	6.7
9	176	23.7	3478	18.8	7.5
10	182	18	3472	18.8	8.8

- 노즐 입출구 정압차, Δp [mmAq] → 유량 계산

$$1 \text{ mmAq} = 9.8 \text{ Pa}$$

- 노즐 유량계 (유체역학 교재 8.6절 참고)
- 노즐 유량계수 $C = 0.98$

$$Q = C Q_{ideal} = C \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

- 팬 입출구 전압차, $\Delta p_{t,fan}$ [mmAq] → 수두 & 유체 동력 계산

$$\Delta p_{t,fan} = \rho g h_a \quad \rightarrow \quad h_a = \frac{\Delta p_{t,fan}}{\rho g}$$

$$\dot{W}_f = \dot{m} g h_a = \gamma Q h_a \quad \rightarrow \quad \dot{W}_f = \Delta p_{t,fan} Q$$

- 팬 축동력, \dot{W}_{shaft} [W] → 팬 효율 계산

$$\eta = \frac{\dot{W}_f}{\dot{W}_{shaft}}$$

- 임펠러 회전속도, ω [rpm] → 일정한 값인지 확인

- 제공된 실험 데이터를 이용하여 원심 팬에 대한 수두(상승), (축)동력 및 효율을 계산하고, 결과를 분석하시오. [6점]
 - 수두, 동력, 효율 각각을 유량 Q 의 함수로 그래프 그리기
 - 수두, 동력, 효율 각각이 최대가 되는 조건이 어떻게 다른지 분석
 - $Q = 0$ 일 때, 팬 동력이 영이 아닌 이유는?
- 원심 팬의 이론 수두를 유량 Q 의 함수로 유도하여 강의자료 9페이지를 완성하시오. (유체역학 교재 11.4절 참고) [2점]
- 강의자료 9페이지와 관련하여 원심 팬의 실제 수두와 이론 수두의 차이(h vs. Q 그래프) 및 수두 손실의 원인을 설명하시오. [2점]
- 유체역학 교재 문제 7.10 (차원해석) 풀기 [2점]
 - 뒷면에 설명 계속

- 유체역학 교재 문제 7.10 (차원해석)
 - 펌프에서의 압력상승 Δp 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta p = f(D, \rho, \omega, Q)$$

- 여기에서 D 는 임펠러의 직경이고, ρ 는 유체 밀도, ω 는 회전속도, Q 는 유량이다. 차원해석을 이용하여 관련된 무차원 변수들을 구하고 관계식으로 나타내시오.

※ 주의 : 유도과정을 생략없이 모두 쓰시오.

※ 힌트 : 반복변수로 ρ, ω, D 를 선택하시오.

※ 보고서는 반드시 **하나의 pdf 파일(5페이지 이내)**로 제출 바랍니다.