서 론

1. 유체기계(fluid machinery)

(1) 유체기계의 정의

물이나 공기와 같은 **유체**를 **작동물질**로 하여 이 유체와의 사이에 **energy**를 **교환**하는 기계

(2) energy 교환에 따른 분류

가) 동력을 사용하여 일을 하는 기계 : **pump, 송풍기, 압축기**

원동기(motor(전동기)나 **내연기관** 등)로부터 **기계적 에너지**를 공급받아 유체를 기계 내부로 흡입한 후 이 유체에 에너지를 공급(주로 **압력 에너지**로 변환)하는 기계

나) 동력을 발생하는 기계 : **수차, 풍차, 유압 motor**

energy를 가진 **유체**를 기계에 유입시켜 기계내부를 통과하는 사이에 유체 에너지를 기계적 에너지**(축동력)**로 변화시키는 기계 ➡ 유체로부터 에너지를 받음

(3) pump와 수차의 조합 : 유체 coupling, torque converter

기계적 에너지를 받아서 **pump**가 작동하여 **유체**에 **에너지**를 공급하고, **에너지**를 **가진 유체**가 수차에 유입하여 **기계적 에너지**를 **발생**하는 기계

2. 유체기계(fluid machinery) 분류

流體機械	水力機械	pump	turbo 형	원심(遠心)식
				사류(斜流)식
				축류(軸流)식
			용적(容積)형	왕복(往復)식
				회전(回轉)식
			특수(特殊)형	
		水車	충격(衝擊)수차	
			반동(反動)수차	
		流體傳動裝置	流體 coupling	
			液體 torque converter	
		油壓機器	油壓 pump	
			油壓 motor	
			油壓制御 valve	
			蓄壓器	
			增壓器	
	空氣機械	低壓式	送風機	
			風車	원심(遠心)식 사류(斜流)식 容積式 : 왕복형,회전형
		高壓式	壓縮機	
			眞空 pump	
			壓縮空氣機械	
	流體輸送裝置		水力 conveyor	
			공기 conveyor	

제 1 편　유체기계의 기초이론

제 1 장 비압축성 유체에너지의 방정식

1.1 에너지 방정식(Bernoulli의 정리)

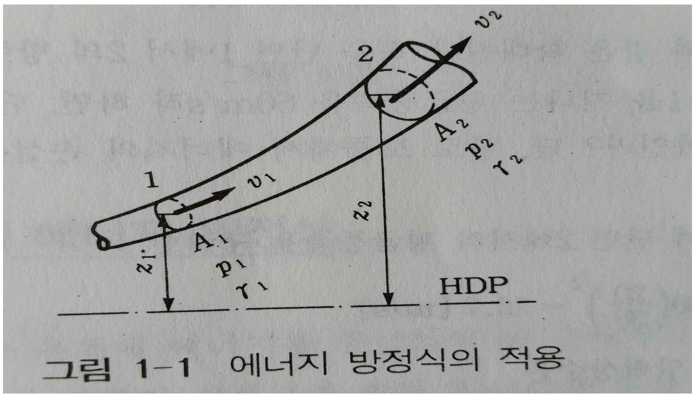


그림 1-1 에너지 방정식의 적용

1. 이상 유체(비압축성, 비점성 유체)인 경우의 energy 방정식(Bernoulli의 정리)

그림 1-1에서 보는 바와 같이 수평기준면(HDP)에서 z_2의 높이에 단면 1과 2를 갖는 관로에서 **이상유체**가 정상적으로 흐르는 경우에 **energy 불멸의 법칙**에 의하여 다음과 같은 **energy 방정식**이 성립한다.

$$p + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 = \text{(일정)} \tag{1-1}$$

여기서, p : 유체 압력　v : 유체의 평균 유속　z : 위치의 높이　γ : 유체의 비중량

g : 중력가속도(9.8m/s^2)　H : 전(全) 수두(Total head) [kg$_f$·m/kg$_f$]=[m]

$\frac{p}{\gamma}$: 단위 중량의 **압력 energy** ➡ **압력 수두(pressure head)**

$\frac{v^2}{2g}$: 단위 중량의 **운동 energy** ➡ **속도 수두(velocity head)**

z_2 : 단위 중량의 **위치 energy** ➡ **위치 수두(potential head)**

2. 비압축성, 점성 유체인 경우와 energy 손실을 무시 할 수 없는(단면 1,2 사이 관의 길이가 길거나 관의 단면적이 변화하는 곳이 있고, 그 밖의 다른 조건 등) 경우의 energy 방정식 (Bernoulli의 정리)

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \triangle H \tag{1-3}$$

여기서, $\triangle H$: 단면 1,2 사이에 잃게 되는 유체의 **energy 손실 수두**

3. 기체 경우의 energy 방정식(Bernoulli의 정리)

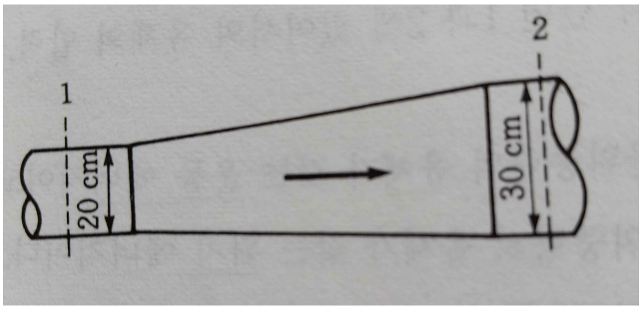
위치 수두는 다른 수두에 매우 작으므로 무시, 식 (1-1)의 각 항에 를 곱하여 정리하면

$$p + \frac{\gamma v_1^2}{2g} = p_2 + \frac{\gamma v_2^2}{2g} = p_t \,(\text{일정}) \qquad (1\text{-}2)$$

여기서, p_1 : 정압(static pressure)의 절대압력 $\frac{\gamma v_2^2}{2g}$: 동압(dynamic pressure)의 절대압력

p_t : total pressure

※ 예제 1-1



위의 그림과 같은 확대관(diffuser) 속을 단면 1에서 2의 방향으로 비중량 1.186 [kg$_f$/㎥]인 공기가 흐르고 있다. 단면 1을 지나는 평균 풍속을 60[m/s]라 하면, 단면 2를 지날 때의 풍속과 단면 1, 2 사이의 압력상승은 얼마인가 ? 단, 관로 도중에서 에너지의 손실은 일어나지 않는 것으로 한다.

[풀이]

① **단면 2**에서의 평균 유속 : 연속 방정식($= A_1 v_1 = A_2 v_2$)에 의하여 구함

$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$ 여기서, Q : 유량 [m^3/s]

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} = 60 \left(\frac{\frac{\pi 20^2}{4}}{\frac{\pi 30^2}{4}} \right) = 60 \frac{20^2}{30^2} = 60 \left(\frac{20}{30} \right)^2 = 26.7 \ \text{[m/s]}$$

② **단면 1, 2**사이의 압력상승 : 식 (1-2)에 의하여 구함

$$p_1 + \frac{\gamma v_1^2}{2g} = p_2 + \frac{\gamma v_2^2}{2g} = p_t \,(\text{일정})$$

⇨ $$p_2 - p_1 = \frac{\gamma v_2^2}{2g} - \frac{\gamma v_1^2}{2g} = \frac{\gamma}{2g} v_2^2 - v_1^2) = \frac{1.186}{2 \times 9.8} 60^2 - 26.7^2) = 174.7 \ [\text{kg}_f/\text{m}^2]$$

4. 확대 관(diffuser)에 의한 영향 ➡ 예제 1-1 결과

(1) 송풍기, 압축기 : diffuser에 의한 잉여 동압을 정압으로 회수

(2) **pump**(원심식 또는 축류식) : diffuser에 의한 잉여 속도 수두을 압력 수두로 회수

※ 예제 **1-2** : 학생들 스스로 풀어 보세요.

♣ 손실계수 기호 수정 : ξ ➡ ζ (p11, 12, 93)

♣ 물의 비중량 : 1,000 [kg$_f$/㎥]

♣ key point : 단위 변환 ◎ 절대 압력 **(P_a)** = 대기압 **(P_0)** + **gage** 압력 **($P_g=\gamma h$)**

1.2 pump 및 송풍기의 energy 방정식

1. pump 및 송풍기

유체에 energy를 공급하여 한 곳에서 다른 곳으로 **유체**를 **수송**하는 기계이다.

2. pump 및 송풍기의 energy 방정식

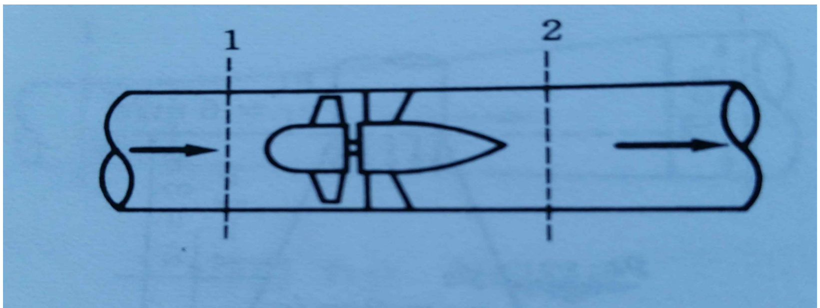


그림 1-4

상류 **1**에서 유체가 가지고 있던 **energy + 기계가 공급한 energy = 하류 2에서 유체가 갖는 energy**

$$\frac{p}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}+z_1+{}_{th}=\frac{p_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+z_2+\Delta H \qquad (\bigstar)$$

여기서, H_{th} : 기계가 단위중량의 유체에 대하여 한 일

ΔH : 기계 내부에서 단위중량의 유체가 잃어버리는 **energy**

3. pump의 전양정(total head) H 와 수동력 L_w

(1) pump의 전양정(total head) : H [m]

실제로, $H_{th}=H+\Delta H$ 이므로 위의 **(★)**식에 대입하여 정리하면

H : 기계가 단위중량의 유체에 실제로 공급한 **energy**

$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}+z_1+H=\frac{p_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+z_2 \qquad (1\text{-}4)$$

식 (1-4)를 H에 대하여 정리하면

$$H=\left(\frac{p_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+z_2\right)-\left(\frac{p_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}+z_1\right) \qquad (1\text{-}5)$$

(2) pump의 수동력 L_w

$$L_w=\gamma HQ \ [\mathrm{kg_f\,m/s}] \qquad (1\text{-}9)$$

여기서, γ : 액체의 비중량 [kg$_f$/㎥]

4. 송풍기의 전압(total presure) 와 공기동력 $_a$

(1) 송풍기의 전압(total presure) : p_t

식 (1-4)의 양변에 γ곱하여 정리하면

$$p_1+\gamma\frac{v_1^2}{2g}+\gamma z_1+\gamma H=p_2+\gamma\frac{v_2^2}{2g}+\gamma z_2 \qquad (1\text{-}6)$$

송풍기인 경우에 유체가 기체이므로 위치에너지 변화($\gamma(z_2-z_1)$)는 작아서 무시

송풍기의 전압을 p_t 식 (1-7)과 같이 놓을 때

$$p_t=\gamma H \qquad (1\text{-}7)$$

송풍기의 전압 p_t은 식 (1-6)에 의하여 다음과 같이 표현된다.

$$p_t\ =\ p_2+\frac{\gamma v_2^2}{2g}\Big)-\left(p_1+\frac{\gamma v_1^2}{2g}\right)=p_{t2}-p_{t1} \qquad (1\text{-}8)$$

(2) 송풍기의 공기동력 L_a

$$L_a=p_tQ \quad [\mathrm{kg_f m/s}] \qquad (1\text{-}10)$$

※ 예제 **1-3** : 학생들 스스로 풀어 보세요.

♣ key point : 단위 변환 1 kg$_f$/㎠ = 735.56mmHg 760mmHg = 1.033227 kg$_f$/㎠

1.3 수차와 energy 방정식

1. 수차

물이 가지고 있는 위치 에너지(potential energy)를 물이 수차 속을 지나는 사이에 기계 energy로 변환시켜 동력을 얻는 기계이다.

2. 수차의 energy 방정식

$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}+z_1=\frac{p_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+z_2=H \qquad (1\text{-}11)$$

H : 유효 낙차 = 전(全) 수두(Total head)

= 물이 수차에 공급하는 전(全) energy (단위 중량의 물이 기계에 대하여 한 일)

3. 수차의 이론 출력 L_{th}

$$L_{th}=\gamma HQ \ [\mathrm{kg_f m/s}] \qquad (1\text{-}12)$$

※ 예제 **1-4** : 학생들 스스로 풀어 보세요.

♣ key point : 단위 변환

1 W = J/s　　1 kW = 102 kg$_f$m/s

1 HP = 0.764 kW (영국)　　1 PS = 75 kg$_f$m/s

1 PS = 0.7355 kW (프랑스)

제 2 장 운동량의 원리(법칙)

2.1 운동량의 원리(법칙)

1. Newton의 운동 제 2 법칙

모든 유체(압축성 및 비 압축성 유체)에 대하여 **성립**한다.

$$=(\text{질량})\times(\text{가속도})=m\times\frac{dv}{dt} \qquad (♠)$$

여기서, f : force　　m : mass　　v : velocity　　t : time

위의 식 (♠)을 다시 일반적으로 표시하면

$$f=\frac{d\,mv)}{dt} \qquad (2\text{-}1)$$

여기서, mv : **운동량(momentum)**

⇨ 식(2-1) 표현 : 어떤 물체에 작용하는 **힘**은 그 물체의 단위시간에 대한 **운동량 변화**와 **같다**.

2. 직선관로 속의 흐름

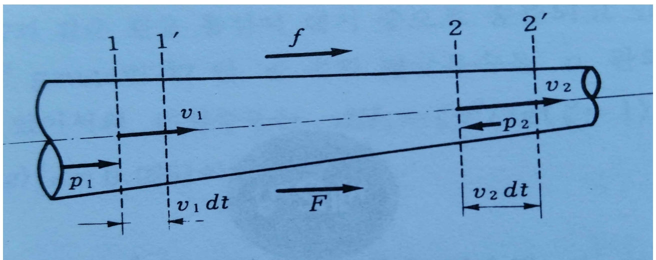


그림 2-1 직관에 미치는 힘

(1) dt시간 후의 운동량 증가량 $d(mv)$

유체가 그림 2-1과 같이 **직선관로**를 **정상적**으로 흐르고 있을 때, dt시간 후의 운동량 증가량 $d(mv)$은

$$d(mv)=\rho\quad {}_2v_2dt)v_2-(\rho_1A_1v_1dt)v_1 \qquad (⦿)$$

여기서, v_1, v_2 : 단면 1,2에서 유속　　A_1, A_2 : 단면 1,2에서 단면적

ρ_1, ρ_2 : 단면 1,2에서 유체의 밀도

(2) 외부에서 이 유체에 주류의 진행방향으로 미치고 있는 일정한 힘 f **(=외력)**

위의 식(⦿)을 운동량 식(2-1)에 대입하여 정리하면

$$f=\frac{d(mv)}{dt}=\frac{(\rho_2A_2v_2dt)v_2-(\rho_1A_1v_1dt)v_1}{dt}$$

$$=(\rho_2A_2v_2)v_2-(\rho_1A_1v_1)v_1 \qquad (2\text{-}2)$$

여기에, 단면 1,2에서 유체의 유량 $Q_1=A_1v_1$　$Q_2=A_2v_2$ 을 식 (2-2)에 대입하여 정리하면

$$f=\rho_2\,Q_2v_2-\rho_1\,Q_1v_1 \qquad (2\text{-}3)$$

연속방정식 $_1 = \rho_2 Q_2 = \rho Q$ 가 적용되는 경우에는 다음 식이 성립한다.

$$f = \rho\, Q\, v_2 - v_1) \qquad (2\text{-}4)$$

(3) 유체가 관에 대하여 흐름 진행방향으로 미치는 힘 F

단면 1,2에서 압력을 각각 p_1, p_2라 하면, **이 압력의 외력은** $(p_1 A_1 - p_2 A_2)$가 된다. 유체가 관에 대하여 흐름 진행방향으로 미치는 힘 F라 하면, 관이 유체에 대하여 흐름과 역방향으로 미치는 힘은 $-F$가 되므로,

전체 외력 f는

$$f = (p_1 A_1 - p_2 A_2) - F \qquad (2\text{-}5)$$

식 (2-4)을 식 (2-5)에 대입하여 정리하면,

$$\rho Q(v_2 - v_1) = (p_1 A_1 - p_2 A_2) - F \qquad (2\text{-}6)$$

그러므로

$$F = \rho Q(v_1 - v_2) + (p_1 A_1 - p_2 A_2) \qquad (2\text{-}7)$$

3. 곡관관로 속의 흐름

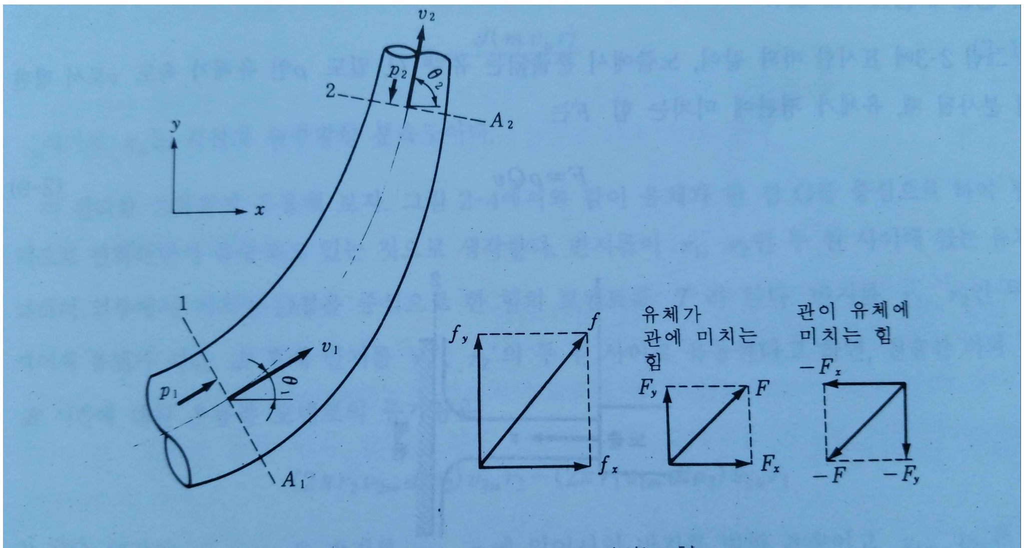


그림 2-2 곡관에 미치는 힘

(1) 외부에서 단면 1,2사이의 유체에 미치는 힘 f (=외력)를 f_x와 f_y로 표현

유체가 그림 2-2과 같이 **곡관(만곡)관로**를 정상적으로 흐르고 있을 때,

가) 힘 f (=외력)의 x성분 f_x를 식 (2-3)과 (2-5)에 의하여 표현하면

$$f_x = \rho_2 Q_2 v_2 \cos\theta_2 - \rho_1 Q_1 v_1 \cos\theta_1 \qquad ①$$

$$f_x = (p_1 A_1 \cos\theta_1 - p_2 A_2 \cos\theta_2) - F_x \qquad ②$$

나) 힘 f (=외력)의 y성분 f_y를 식 (2-3)과 (2-5)에 의하여 표현하면

$$f_y = \rho_2 Q_2 v_2 \sin\theta_2 - \rho_1 Q_1 v_1 \sin\theta_1 \qquad ③$$

$$f_y = (p_1 A_1 \sin\theta_1 - p_2 A_2 \sin\theta_2) - F_y \qquad ④$$

(2) 유체가 관에 대하여 흐름 진행방향으로 미치는 힘   를 F 와 F_y로 표현

유체가 그림 2-2과 같이 **곡관(만곡)관로**를 정상적으로 흐르고 있을 때,

가) 힘 F 의 x성분 F_x는 (1)항 위의 식 ①과 ②를 연립하여 풀면,

$$F_x \quad p_1 A_1 \cos\theta_1 - p_2 A_2 \cos\theta_2) + (\rho_1 Q_1 v_1 \cos\theta_1 - \rho_2 Q_2 v_2 \cos\theta_2) \qquad (2\text{-}8\text{-}1)$$

나) 힘 F 의 y성분 F_y는 (1)항 위의 식 ③과 ④를 연립하여 풀면,

$$F_y = (p_1 A_1 \sin\theta_1 - p_2 A_2 \sin\theta_2) + (\rho_1 Q_1 v_1 \sin\theta_1 - \rho_2 Q_2 v_2 \sin\theta_2) \qquad (2\text{-}8\text{-}2)$$

4. 평판에 충돌하는 분류 : nozzle

(1) 유체가 평판에 미치는 힘 F

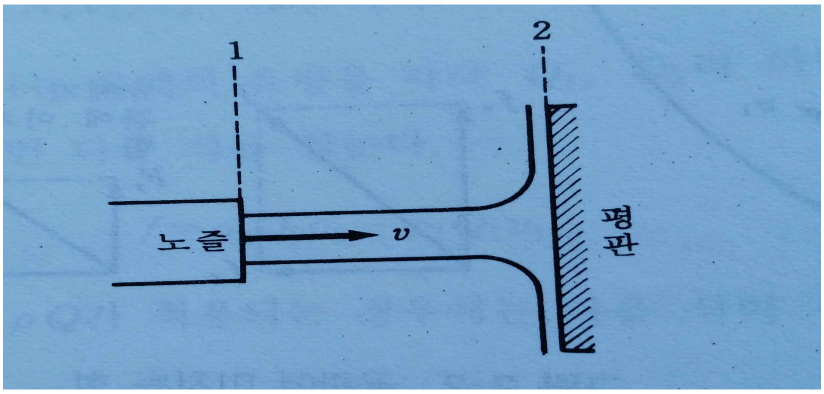


그림 2-3 분류

식 (2-7)에서

$$F = \rho Q(v_1 - v_2) + (p_1 A_1 - p_2 A_2)$$

여기서, $p_1 = p_2 = p_0$(대기압)$= 0$ $\qquad v_1 = v \qquad v_2 = 0$이므로

$$F = \rho Q v \qquad (2\text{-}9)$$

여기서, Q : nozzle에서 분출되는 유량

5. 운동량 moment의 원리(선회류)

(1) Torque (한 점을 중심으로 하여 물체에 미치는 힘의 moment)

질량 m인 물체가 임의의 한 점을 중심으로 반지름 r인 곡선 상을 운동하고 있을 때, 이 물체에 미치는 **힘의 momemt(torque) T**는 다음과 같다.

$$T = \frac{d(m v_u r)}{dt} \qquad (2\text{-}10)$$

여기서, v_u : 곡선의 원주방향 분속도

가) 식 (2-10) 해석

운동량 법칙 $f = \frac{d\,mv)}{dt}$ 을 힘의 moment(M=FL)에 적용하면,

" 어떤 한 점을 중심으로 하여 물체에 미치는 힘의 momemt(torque) T는 그 점을 중심의 한 물체의 운동량 moment의 단위시간에 대한 변화와 같다."

(2) 선회류의 Torque

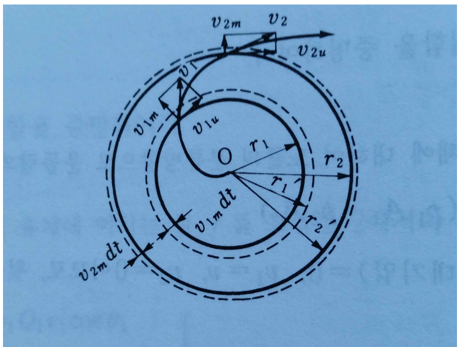


그림 2-4 선회류

가) **가정** : **유체**가 **한 점 O**을 중심으로 하여 **정상적**으로 **선회**하면서 **유출**하고 있다

나) t시간에 대한 운동량 **moment 증가량** $d\,mv\,r)$

$$d(mv_u r) = (2\pi r_2 v_{2m} dt \rho_2) v_{2u} r_2 - (2\pi r_1 v_{1m} dt \rho_1) v_{1u} r_1 \qquad ①$$

여기서, v_{1m}, v_{2m} : 반지름 r_1, r_2에 있어서 반지름 방향 유속

v_{1u}, v_{2u} : 반지름 r_1, r_2에 있어서 원주 방향 유속

ρ_1, ρ_2 : 반지름 r_1, r_2에 있어서 유체의 밀도

다) 선회류의 **Torque**

힘의 moment $= \dfrac{d(mv_u r)}{dt}$ 에 식 ①을 적용하면

$$T = \frac{d(mv_u r)}{dt} = \frac{(2\pi r_2 v_{2m} dt \rho_2) v_{2u} r_2 - (2\pi r_1 v_{1m} dt \rho_1) v_{1u} r_1}{dt} \qquad ②$$

반지름 r_1, r_2의 두 원을 지나는 유체의 유량은 각각 Q_1, Q_2라 하고, 폭은 단위 길이 1 [m(cm)]로 하면, $Q = Av = (2\pi r \cdot 1)v$이므로

$$Q_1 = 2\pi r_1 v_{1m} \qquad Q_2 = 2\pi r_2 v_{2m} \qquad ③$$

식 ③을 식 ②에 대입하여 정리하면

$$T = \rho_2 Q_2 v_{2u} r_2 - \rho_1 Q_1 v_{1u} r_1 \qquad (2\text{-}11)$$

연속의 식 $\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 = \rho Q$가 성립하는 경우에는

$$T = \rho Q (v_{2u} r_2 - v_{1u} r_1) \qquad (2\text{-}12)$$

(3) 자유 소용돌이(free vortex)

T (운동량 모멘트)가 반지름 r_1, r_2사이에 **작용하지 않을 때 (T=0)**, 식 (2-12)에서 **T=0** 이므로

$$r_1 v_{1u} = r_2 v_{2u}$$

위의 식을 일반적으로 표현하면

$$r v_u = \text{일정} \qquad (2\text{-}13)$$

연속의 식 $\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2$에서 $\rho_1 = \rho_2 = \rho$라 하면,

$$2\pi r_1 v_{1m} \rho = 2\pi r_2 v_{2m} \rho \quad \Rightarrow \quad r_1 v_{1m} = r_2 v_{2m}$$

일반적으로

$$r v_m = \text{일정} \qquad (2\text{-}14)$$

식 (2-13)과 식 (2-14)의 관계로부터

$$v_m = \text{일정} \qquad (2\text{-}15)$$

∴ 흐름은 항상 원주와 일정한 각도를 가지고 확대되어 간다.

※ 예제 2-3 : 학생들 스스로 풀어 보세요.

2.2 원심식 pump, 송풍기 및 압축기의 기본 이론

1. 깃수 무한인 흐름

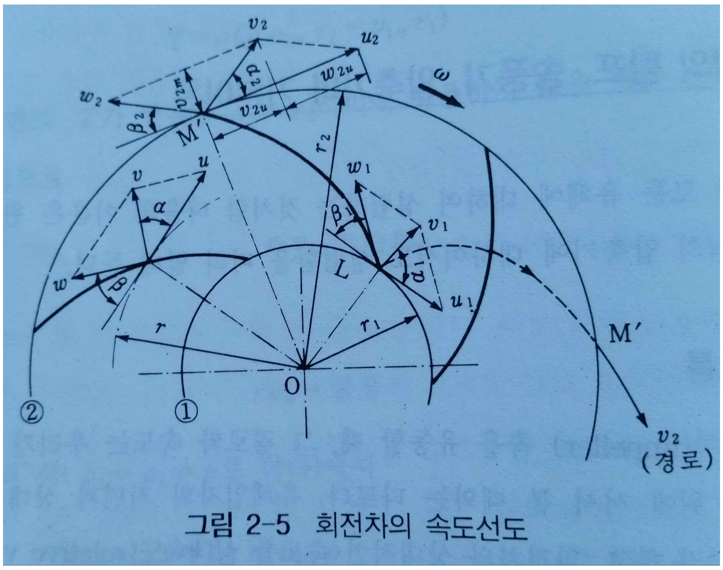


그림 2-5 회전차의 속도선도

(1) 절대속도(absolute velocity) v

유체입자가 회전차(impeller) 속을 유동할 때, 유체입자의 지면과 상대적인 속도

(2) 상대속도(relative velocity) w

유체입자가 회전차(impeller) 속을 유동할 때, 회전차와의 상대적인 속도 : 깃의 접선 방향

(3) 원주속도(peripheral velocity) u

유체입자가 회전차(impeller) 속을 유동할 때, 회전차 둘레 위의 임의의 점의 지면에 대한 상대적인 속도

(4) 속도 삼각형(triangle velocity)

회전차(impeller) 속에서의 흐름상태가 2차원일 때, 절대속도v는 상대속도w 와 원주속도u 의 **vector 합과 같다**. 이 vector diagram을 속도삼각형이라 한다.

$$v = w + u$$

(5) 속도 사변형

회전차(impeller)의 중심과 가까운 쪽에서 유체가 흡수되어 반지름 방향으로 유출될 때의 입구 ①와 출구 ②사이에 있어서 절대속도 v, 상대속도w 및 원주속도u의 관계를 표시한 사변형

(6) 회전차(impeller)가 물에 미치는 Torque (T)

일정한 각속도 로 회전하고 있는 회전차(impeller)에 유량 인 유체가 유입된다고 하면, 회전차(impeller)가 물에 미치는 Torque (T)는 식 (2-12)에 의하여 다음과 같이 표시된다.

$$T = \rho Q(r\ v_{2u} - r_1 v_{1u}) \qquad (2\text{-}12\text{-}1)$$

여기서, u_1, u_2 : 깃 입구 ①와 출구 ②에서 원주속도

v_{1u}, v_{2u} : 깃 입구 ①와 출구 ②에서 절대속도 v_1, v_2의 원주방향 분속도

⇨ $v_{1u} = v_1 \cos\alpha_1 \qquad v_{2u} = v_2 \cos\alpha_2$ (α_1 : 유입각 α_2 : 유출각) (★)

위의 식(★) $v_{1u} = v_1 \cos\alpha_1$, $v_{2u} = v_2 \cos\alpha_2$ 과 $\rho = \gamma/g$를 식 (2-12-1)에 대입하여 정리하면,

$$T = \frac{\gamma}{g} Q(r_2 v_2 \cos\alpha_2 - r_1 v_1 \cos\alpha_1) \qquad (2\text{-}16)$$

(7) 이론동력 $L_{th\infty}$

이론 동력은 다음과 같이 표현된다.

$$L_{th\infty} = T\omega \qquad (♣)$$

위의 식 (♣)과 식 (2-16)에 의하여

$$L_{th\infty} = T\omega = \frac{\gamma}{g} Q(r_2 v_2 \cos\alpha_2 - r_1 v_1 \cos\alpha_1)\omega$$

$$L_{th\infty} = T\omega = \frac{\gamma}{g} Q(r_2 \omega v_2 \cos\alpha_2 - r_1 \omega v_1 \cos\alpha_1)$$

위의 식에 원주속도 $u = r\omega$를 사용하면,

$$L_{th\infty} = T\omega = \frac{\gamma}{g} Q(u_2 v_2 \cos\alpha_2 - u_1 v_1 \cos\alpha_1) \qquad (2\text{-}17)$$

(8) Euler 이론식 = Euler 이론수두 = 깃수 무한인 흐름의 이론전압수두 $H_{th\infty}$

식 (2-17)을 식 (1-9) $L_w = \gamma HQ$(펌프의 수동력)의 형태로 표시하면,

$$L_{th\infty} = \gamma H_{th\infty} Q \qquad (2\text{-}18)$$

식 (2-18)과 식(2-17)의 관계에 의하여

$$H_{th\infty} = \frac{1}{g}(u_2 v_2 \cos\alpha_2 - u_1 v_1 \cos\alpha_1) \qquad (2\text{-}19)$$

가) 실제의 Euler 이론식 $H_{th\infty}$ (=실제의 Euler 이론수두

= 실제의 깃수 무한인 흐름의 이론전압수두)

실제로는 깃 입구에서 흐름은 반지름 방향으로 유입한다고 볼 수 있기 때문 ⇨ $\alpha_1 = 90^\circ$ 이므로

식 (2-19)에서 $\cos\alpha_1 = 0$

$$H_{th\infty} = \left(\frac{1}{g}\right) u_2 v_2 \cos\alpha_2 \qquad (2\text{-}20)$$

※ 입구의 절대속도가 원주방향 분속도를 가지지 않는 경우 : $v_{1u} = v_1 \cos\alpha_1 = v_1 \cos 90^\circ = 0$

※ 예제 2-4 : 학생들 스스로 풀어 보세요.

2. 깃수 유한인 흐름

(1) 깃수 유한인 흐름의 정의

깃열내의 유체가 마찰이나 충돌 등에 의한 손실을 가지지 않는 흐름

⇨ 실제의 회전차에 있어서는 깃수나 깃의 두께는 유한하고, 실제 유체는 이상유체가 아니므로 흐름은 완전히 깃을 따르지 않는다.

(2) 깃수 유한인 흐름의 이론전압수두 $_{h}$와 미끄럼계수 (slip coefficient) 의 관계

$$\mu = \frac{H_{th}}{H_{th\infty}} \qquad H_{th} = \mu H_{th\infty} \qquad (2\text{-}22)$$

여기서, μ : 미끄럼계수 (slip coefficient)

$H_{th\infty}$: 깃수 무한인 흐름의 이론전압수두

가) H_{th} : $H_{th\infty}$ 값보다 작다

(3) 깃수 유한인 흐름의 실제전압수두 H과 효율η_h의 관계

가) 실제 유체에 있어서 마찰, 유로의 변화, 충돌 등에 대한 손실을 고려한 흐름

$$\eta_h = \frac{H}{H_{th}} \qquad H = \eta_h H_{th} \qquad (2\text{-}23)$$

여기서, η_h : 원심식 pump에서 수력효율(hydraulic efficiency)

: 원심식 압축기, 송풍기에서 유체효율(aerodynamic efficiency)

H_{th} : 깃수 유한인 흐름의 이론전압수두

나) H : H_{th} 값보다 작다

다) 압축기에서 실제전압수두 H

$$H = \eta_h (H_{th} + \text{원판마찰손실}) \qquad (2\text{-}23\text{-}1)$$

라) 송풍기

여러 전압수두 H, H_{th}, $H_{th\infty}$ 대신에 전압 $p = \gamma H$, $p_{th} = \gamma H_{th}$, $p_{th\infty} = \gamma H_{th\infty}$를 쓰는 경우가 많다.

※ **예제 2-5**

회전차의 바깥지름이 460mm인 원심pump가 1150rpm으로 회전하고 있을 때의 유량은 5.1m^3/min이다. pump의 전양정 및 수동력을 구하여라. 단, 물은 회전차의 입구에서 반지름 방향으로 들어오고, 회전차 출구에서 상대유속은 반지름 방향인 것으로 한다. 단, $H/H_{th} = 0.85$이다.

[풀이]

식 (2-19)에 있어서,

(1) 유입각 $\alpha_1 = 90^\circ$ ⬅ 물은 회전차 입구에서 반지름 방향으로 유입되므로

(2) 회전차 출구에서 상대유속은 반지름 방향이므로 ⇨ $u_2 = v_2 \cos\alpha_2$ [m/s]로 된다.

여기서, $u_2 = \pi D_2 N/60 = (\pi \times 0.46 \times 1150)/60$ = 27.7 [m/s]

(3) 실제 Euler 식 $H_{th\infty}$

$$H_{th\infty} = \frac{1}{g} \Big) u_2 v_2 \cos\alpha_2 = \left(\frac{1}{g}\right) u_2^2 = \frac{27.7}{9.8} = 78.1 \ \text{[m]}$$

(4) 전양정

$H\ H_{h\infty} = 0.85$으로부터 ⇨ $H = 0.85 H_{th\infty} = 0.85 \times 78.1 = 66.4$ [m]

(5) pump의 수동력 L_w

가) 중력 단위 [kgf·m/s]

$$L_w = \gamma HQ \quad [\text{kg}_f\text{m/s}]$$

$$L_w = \gamma HQ = \frac{1000 \times 66.4 \times 5.1}{60} = 5{,}644 \quad [\text{kg}_f\text{m/s}]$$

나) 마력 단위 [PS]

$$L_w = \frac{\gamma HQ}{75 \times 60} \quad [\text{PS}] \qquad (\ 1\ \text{PS} = 75\ \text{kg}_f\text{m/s}\ )$$

$$L_w = \frac{\gamma HQ}{75 \times 60} = \frac{1000 \times 66.4 \times 5.1}{4500} = 75.2 \quad [\text{PS}]$$

2.3 축류식 pump, 송풍기 및 압축기의 기본 이론

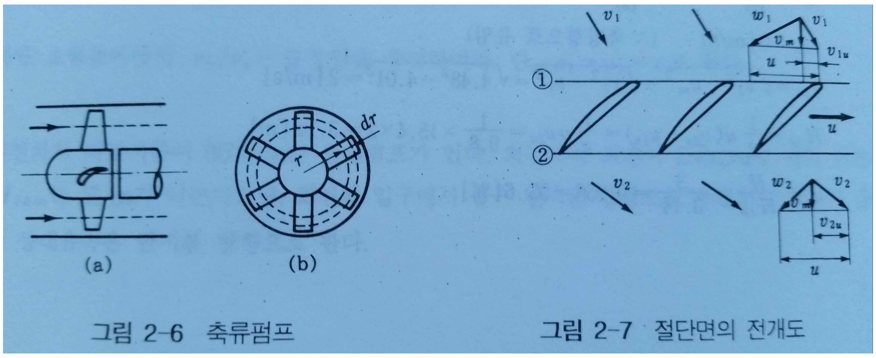


그림 2-6 축류펌프　　　그림 2-7 절단면의 전개도

1. 축류식 pump

(1) 회전차의 가동익 : 그림 2-6

(2) 절단면 전개도 : 그림 2-7

가) 그림 2-6의 축에서 반지름 r인 원통면[그림 2-6(b)]으로 잘라 **평면**에 **전개**한 그림

나) 회전차의 익렬은 u의 속도로 오른쪽으로 진행한다.

다) 익렬**입구** ①에서 **절대속도** v_1(익렬 진행 방향의 분속도 v_{1u}로 한다)으로 **흡입**된 **유체**는 익렬**출구** ②에서 **절대속도** v_2(익렬 진행 방향의 분속도 v_{2u}로 한다)로 **유출**하는 것으로 한다.

2. 이론전압수두 H_{th}

그림 2-6(b)에서 회전차의 미소단면$(2\pi r \times dr)$을 지나는 유량 dQ라 하고, dQ에 대하여 회전 방향으로 미치는 힘을 dF라 하면, 운동량 원리[$F = \rho Q\, v_1 - v_2) + (p_1 A_1 - p_2 A_2)$:식 (2-7)]에 의하여 다음 식이 성립한다.

여기서, $p_1 = p_2$, $A_1 = A_2$이므로 식 (2-7)은 $F = \rho Q(v_1 - v_2)$로 된다. 따라서, dF는

$$\therefore\ dF = \frac{\gamma}{g} dQ(v_{2u} - v_{1u}) \qquad \text{여기서,}\quad \rho = \gamma / g$$

(1) 미소 이론 동력 h

회전차의 미소단면$(2\pi r \times dr)$에 있어서 회전차에 필요한 이론동력을 dL_{th}라 한다.

$$dL_{th} = dF \bullet u = \frac{\gamma}{g} dQ(v_{2u} - v_{1u})u \qquad ①$$

위의 식 ①을 다른 형태로 표현하면,

$$dL_{th} = \gamma \frac{u}{g}(v_{2u} - v_{1u})dQ \qquad ②$$

또한, 위의 식 ②를 달리 표현하면,

$$dL_{th} = \gamma H_{th} dQ \qquad ③$$

(2) 이론 전압수두 H_{th}

위의 식 ③과 식 ②의 관계로부터 H_{th}는 다음과 같다.

$$H_{th} = \frac{u}{g}(v_{2u} - v_{1u}) \qquad (2\text{-}24)$$

가) H_{th}는 반지름 r에 대한 값

나) 회전차의 안지름에서 바깥지름에 걸쳐 H_{th}를 일정하게 설계하는 경우 :

H_{th}는 1대 당의 이론전압수두로 간주

3. 실제 전압수두(양정) H

실제의 **pump**에서는 손실에 의한 실제 전압수두 H는 H_{th}보다 작다.

$$H = \eta_h H_{th} \qquad (2\text{-}25)$$

여기서, η_h : 축류 **pump**에서 수력효율(hydraulic efficiency)

: 축류 압축기, 송풍기에서 유체효율(aerodynamic efficiency)

식 (2-24), (2-25)의 관계로부터

$$H = \eta_h H_{th} = \eta_h \frac{u}{g}(v_{2u} - v_{1u}) \qquad (2\text{-}26)$$

※ 예제 2-6

300 rpm으로 회전하고 있는 1단의 축류 pump가 있다. 지름 980mm에 대한 익렬을 관찰하니 물은 v_1=4.01m/s의 속도로써 축방향으로 회전차 입구에서 들어오고, v_2=4.48m/s의 속도로 회전차 출구에서 나간다. 전양정이 3m일 때, 수력효율을 구하여라,

[풀이]

가) 회전차의 원주속도 u ⇨ $u = \dfrac{\pi DN}{60} = \dfrac{\pi \times 0.98 \times 300}{60} = 15.4$ [m/s]

나) 익렬입구 ①에서 익렬 진행 방향의 분속도 v_{1u} ⇨ v_{1u}=0 (∵ 축방향으로 유입)

다) 익렬출구 ②에서 익렬 진행 방향의 분속도 v_{2u}

그림 2-7의 속도 삼각형에서 피타고라스의 정리에 의해 $(v_2)^2 = (v_{2u})^2 + (v_{2m})^2$이 성립되고,

나)항에서 v_{1u}=0 이므로 ⇨ $v_1 = v_m$

$$v_{2u} = v_2^2 - v_m^2 = \sqrt{v_2^2 - v_1^2} = 4.48^2 - 4.01^2 = 2 \text{ [m/s]}$$

라) 이론 전압수두 $_h$

$$H_{th} \quad \frac{u}{g}(v_{2u} - v_{1u}) = \frac{u}{g}v_{2u} = \frac{2}{9.8} \times 15.4 = 3.14 \ \text{[m]}$$

마) 수력효율

$$\eta_h = \frac{H}{H_{th}} = \frac{3}{3.14} = 0.956 = 95.6 \ [\%]$$