

기계공학실험3 (제트 반동)

1. 실험목적

압력을 받고 있는 유체로부터 기계적 일을 유출해 내는 한 방법으로, 그 압력을 이용하여 유체를 가속시켜 빠른 속도의 분류(jet)가 되도록 하는 것이다. 이렇게 하여 가속된 분류는 터빈의 깃으로 향하게 되고, 깃에 부딪힌 분류의 운동량의 변화 즉 충격량으로 인해 발생한 힘에 의해서 터빈은 회전하게 된다. 본 실험에서는 물의 분류가 평판 깃 혹은 반구형 깃에 부딪힐 때 발생하는 힘을 측정하고, 이를 분류의 운동량과 비교해 봄으로써 충격량-운동량 원리에 대한 이해를 도모하고자 한다.

2. 실험이론

압력을 받고 있는 유체로부터 기계적 일을 유출해 내는 한 방법은, 그 압력을 이용하여 유체를 가속시켜 빠른 속도의 분류(jet)가 되도록 하는 것이다. 이렇게 하여 가속된 분류는 터빈의 깃을 치게 되고 이 마찰력으로 인하여 터빈은 회전하면서 기계적인 일을 하게 된다.

노즐(NOZZLE)로부터 분사되는 방향인 Y 축에 관해 대칭인 평판 날개에 유속 $U_0 m/s$ 로 $Q m^3/s$ 의 충격을 가한 후 β 의 각도로 전향 되면서 유속이 $U m/s$ 된다고 가정하자. 날개를 치기 전후의 고도차와 정수압 차는 아주 작으므로 거의 무시하면 날개를 향해 Y 방향으로 유입하는 물의 momentum은 $\rho Q U_0$ 이며 날개를 떠나는 물이 가지는 운동량의 Y 방향 성분은 $\rho Q U \cos \beta$ 이다. 역학적 - 운동량의 원리란 충격전후의 운동량의 변화율이 바로 충격량과 같음을 의미하므로 유체의 흐름은 에너지를 가지고 운동하고 있는 것이다. 이것을 유용하게 이용하기 위해서 압력을 받는 유체를 고속으로 분출해야 한다. 즉, 고속의 유체는 많은 운동에너지를 가지고 있고, 이것을 충격에너지로 바꾸어서 사용할 수 있다. <Fig. 1>과 같이 노즐로부터 분사된 사출 수맥의 방향 즉 X 축에 대칭인 반구형 날개에 $v_0 [m/sec]$ 의 속도로 $W [kg/sec]$ 인 분류가 충격을 준 후 β 의 각도로 변하면서 유속이 $v_1 [m/sec]$ 로 되었다고 한다. 날개를 치기 전후의 사출의 흐름 높이차 와 정수압차는 아주 미소하므로 무시한다. <Fig. 1>에서 유입할 때의 운동량은 X 방향으로 $W \cdot v_0 [kg \cdot m/sec]$ 이고 유출할 때의 운동량은 $W \cdot v_1 [kg \cdot m/sec]$ 이다.

분류에 관하여 X 축 방향의 힘 F 는 운동량 변화율과 같다.

$$W \cdot v_1 \cos \beta - W \cdot v_0 [kg \cdot m/sec]$$

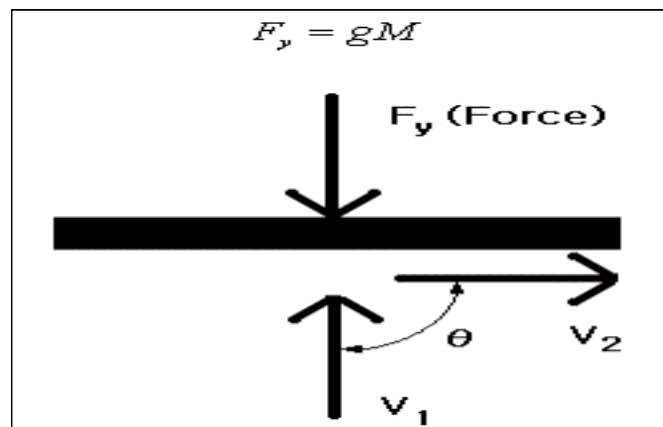


Fig. 1 날개에 부딪힌 분류의 각도변화

X축에서 날개에 대한 것으로 하면 상기와 위치가 반대이므로

$$F = W(v_0 - v_1 \cos \beta) [kg \cdot m/sec]$$

2-1)날개가 평판일 때

$\beta = 90^\circ$ 이므로 $\cos \beta = 0$ 이다.

위의 식으로부터

$$F_p = W \cdot v_0 [kg \cdot m/sec]$$

여기서 F_p : 평판이 받는 힘

W : 유량 [kg/s]

v_0 : 입구의 유속 [m/s]

2-2)날개가 반구형일 때

$\beta = 180^\circ$ 이므로 $\cos \beta = -1$ 이다. 즉

$$F_c = W(v_0 + v_1) [kg \cdot m/sec]$$

이상에서와 같이 분류가 날개를 치기 전후의 높이 차이와 정수압차를 즉 에너지 손실을 무시할 때 v_1 의 최대치는 v_0 와 같게 되므로 반구형의 컵이 받는 가능 최대 충격력은

$$F_c(\max) = 2W \cdot v_0 [kg \cdot m/sec]$$

$$F = \rho Q(U_o - U \cos \beta)$$

날개로서 평판을 사용할 경우 ($\cos 90 = 0$)

$$F = \rho Q U_o$$

한편, 반원형 컵을 사용할 경우에는 ($\cos 180 = -1$)

$$F = \rho Q(U_o + U)$$

전술한 바와 같이 JET가 날개를 치기 전후의 물의 고도차와 정수압 차를 무시할 때 U 의 최대치는 U_o 가 되므로 반원형 컵이 받는 최대 충격력은

$$F_{\max} = 2\rho Q U_o$$

jockey의 무게는 $0.61(kg) \times 9.81(N)$. jockey가 영점으로부터 Y만큼 움직였을 때, vane이 얻을 수 있는 힘 F는 모멘트의 평형으로 얻을 수 있다.

$$F = \frac{xmg}{d} \quad (N)$$

그리고 U 와 U_0 와의 관계는 에너지 보존 법칙에 의해 다음과 같다.

출구에서 운동에너지 = 나갈 때 위치에너지 + 운동에너지

$$U_o = \sqrt{U^2 - 2gs}$$

$$\frac{1}{2} mU^2 = \frac{1}{2} mU_o^2 + mgs$$

여기서 s 는 노즐과 깃 사이의 간격이다.

3. 실험장치

급수관을 통해 공급되는 물은 끝단에 NOZZLE을 가진 연직관을 통해 분사하도록 되어 있으며 분사된 물은 반원형 컵 날개를 치게 되어 있으며 컵은 저울대에 연결되어 있다. NOZZLE과 날개는 투명한 cylinder속에 들어 있으며 cylinder의 바닥 부분에는 유출관이 연결되어 있어 이로부터 흘러나가는 물을 측정 유량을 계산해 낼 수가 있다. 또한 바닥 부분에는 분사된 물이 날개를 정확하게 때릴 수 있도록 NOZZLE을 정지시키기 위한 control screw가 3개 장착되어 있다. 날개를 지지하는 저울대는 저울 역할을 하는 것으로서 스프링에 연결되어 있고 한쪽 끝은 “ㄱ”자 모양으로 저울대 수평조절 나사에 의해 저울대의 평형을 맞추면 이를 표시하도록 되어 있다. NOZZLE로부터 분사되는 물에 의한 충격력은 저울대의 평형을 깨뜨리게 되며 이때 저울추를 오른 쪽으로 움직여 꼬리표가 원리를 평형상태를 가리키도록 함으로써 충격력의 크기를 측정하게 된다.

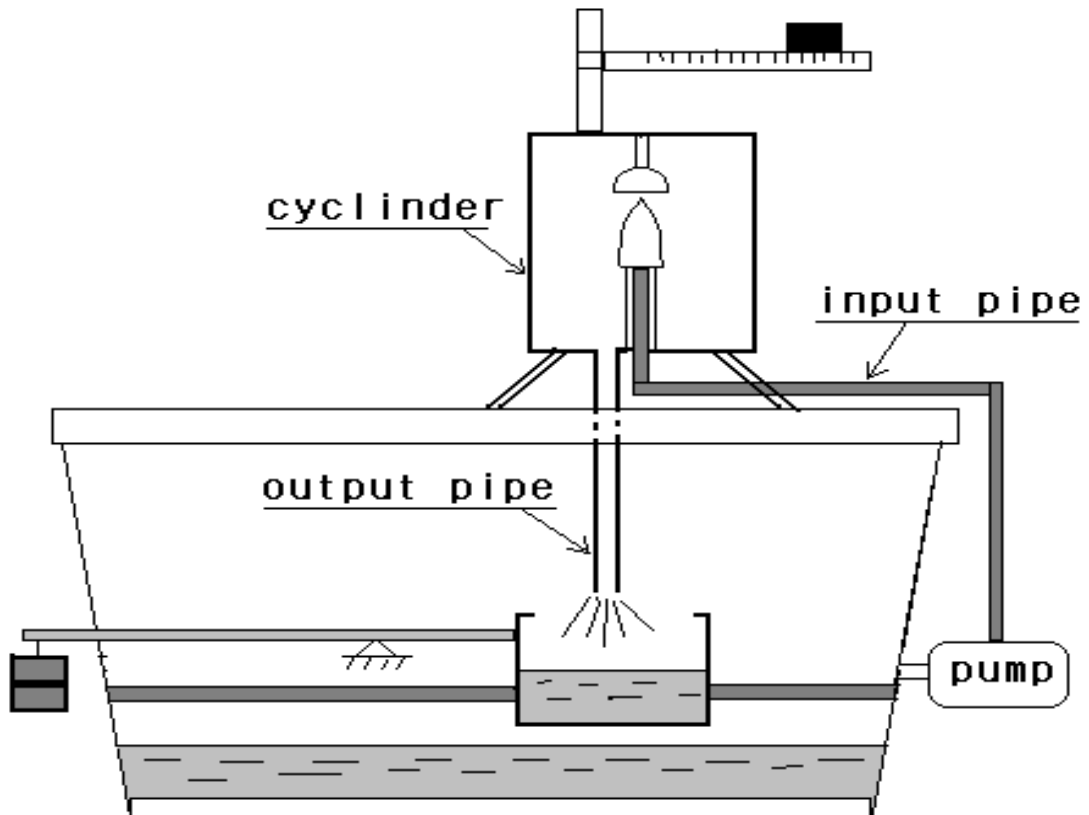


Fig. 2 실험 장치

4. 실험방법

- ① 추를 지렛대의 영점에 놓고 스프링의 위에 있는 너트를 이용하여 지렛대를 수평으로 조정한다.
- ② 분류가 깃의 중심에 정확히 향하도록 조정나사를 조정한다.
- ③ 펌프를 가동시키고 밸브를 열어 물이 분사되도록 한 다음 추를 이동시켜 지렛대가 다시 수평을 이루도록 하여 거리를 측정한다.
- ④ 시간이 흐르면 계측수조에 고이는 물의 무게로 인하여 추가 올라가게 되어 정지대에 닿게 될 때 시간을 측정 한다. (시간은 밸브를 열어 물이 분사되는 시간부터 추가 정지대에 부딪치는 시간까지를 측정해야 유량을 계산할 수 있게 된다.)
- ⑤ 실험결과와 기록표에는 계측수조에 모인 물의 양과 이에 소요된 시간 및 추의 위치를 기록한다.
- ⑥ 밸브의 여는 정도와 추의 질량을(6kg, 12kg) 바꾸어 가며 실험하여 유량과 힘과의 관계를 살펴본다.

5. 실험결과(Sample)

5-1) 실험장치의 주요치수

실험장치의 주요치수	
노즐의 직경 : 10 mm	추의 질량 : 610 g
지지점에서 깃 중심까지의 수직거리 151 mm	노즐출구에서 깃 중심까지의 수직거리 40 mm

Table. 1 실험 장치의 주요 치수표

- 힘 F (깃에 작용한)

$$F = \frac{x(\text{추의 이동한 거리})}{d(\text{지지점에서 깃까지의 거리})} mg$$

- 유량 Q (노즐을 통과하는)

$$Q = \frac{m_w}{\rho T}$$

- 속도 (U, U_0)

(1) U_0 노즐 출구에서

$$U_0 = \frac{Q}{A}$$

(2) U 깃에서 반사될 때

$$U^2 = U_0^2 - 2gs$$

$$U = \sqrt{U_0^2 - 2gs}$$

- 실험계수 C

깃에 전달되는 힘 / momentum $C = \frac{F}{\rho QU}$

5-2)결과값 계산(Sample)

1. $m_w = 6kg$ 일 때. (1회)

$$Q = \frac{6kg}{1000kg/m^3 \times 13.00sec} = 0.0004615 \text{ m}^3/sec$$

$$U_0 = \frac{0.0004615m^3/sec}{\pi/4 \times (0.01m)^2} = 5.876484 \text{ m/sec}$$

$$U = \sqrt{5.876484^2 - 2 \times 9.81m/sec^2 \times 0.04m} = 5.809326 \text{ m/sec}$$

$$\rho QU = 1000kg/m^3 \times 0.0004615m^3/sec \times 5.809326m/sec = 2.681224 \text{ N}$$

$$F = \frac{0.61kg \times 9.81m/sec^2 \times 0.176m}{0.151m} = 6.974845 \text{ N}$$

이 후 2회, 3회, 4회도 마찬가지로 위의 식을 사용하여 계산.

2. $m_w = 12kg$ 일 때. (1회)

$$Q = \frac{12kg}{1000kg/m^3 \times 28.00sec} = 0.000428 \text{ m}^3/sec$$

$$U_0 = \frac{0.000428m^3/sec}{\pi/4 \times (0.01m)^2} = 5.456735 \text{ m/sec}$$

$$U = \sqrt{5.456735^2 - 2 \times 9.81m/sec^2 \times 0.04m} = 5.384344 \text{ m/sec}$$

$$\rho QU = 1000kg/m^3 \times 0.000428m^3/sec \times 5.384344m/sec = 2.307574 \text{ N}$$

$$F = \frac{0.61kg \times 9.81m/sec^2 \times 0.172m}{0.151m} = 6.816326 \text{ N}$$

이 후 2회, 3회, 4회도 마찬가지로 위의 식을 사용하여 계산.

5-3)데이터 값을 표로 나타내면(Sample)

water weight		Q m^3/sec	T sec	x m	U_0 m/sec	U m/sec	ρQU N	F N	C $F/\rho QU_0$
6 k g	1회								
	2회								
	3회								
	4회								
1 2 k g	1회								
	2회								
	3회								
	4회								

Table. 2 측정된 데이터 값

5-4)그래프 분석

☞ 그래프 그리기

- 노즐 출구 속도(U)와 갯에서 반사될 때 속도(U_0) 비교
- 물의 모멘텀(ρQU)과 힘(F) 비교
- 추의 질량에 대한 실험계수 C 비교

☞ 추가 움직인 거리로 힘의 크기 계산이 가능한 이유

☞ 갯에 작용하는 힘의 크기(F_2)

자유물체도 그리기

- 실험전 힘의 계산 과정
- 실험 진행시의 힘의 계산 과정

6.고찰

7.참고문헌

담당조교 : 이준한

보고서 제출장소 : 제1공학관 524호

보고서 제출(E-mail) : junhan0526@gmail.com

보고서 파일명 예시 : A반_제트반동_이름_학번.hwp