Bent Duct 내부 유동의 손실 측정

노우진* · 임주현* · 송성진*

Investigation of Pressure Loss in Bent Duct

U Jin Roh* · Ju Hyun Im* · Seung Jin Song*

ABSTRACT

Bent ducts add loss and decrease efficiency. Many researchers have been conducted the performances of bent ducts, but their shapes of inlet and outlet are same. However, in this investigation, the focus is on a bent duct which is annular at the inlet and circular at the outlet. The bent duct of these complex shapes has not been investigated, but has been used in many fields. The performance of such bent duct is investigated under inlet speed 54 m/s and Re = 238,000. Wall static pressure tappings are located surface of the bent duct to measure the static pressure and a probe is traversed at the inlet and outlet of the bent duct to measure the total pressure. As a result, it presents static pressure distribution on the bent duct surface, streamwise velocity profile at inlet and outlet of the bent duct and total pressure loss profile at outlet. In this investigation, the total pressure loss coefficient is 0.243.

초 록

Bent duct 는 손실을 가중시키고, 효율을 저하시킨다. 지금까지 bent duct에 대한 많은 연구가 진행되었지만, 입구와 출구가 같은 형상에 대해서 연구가 되어왔다. 이번 연구에서는 입구는 환형이지만, 출구는 원형을 가진 bent duct에 대해서 진행되었다. 입구 속도 54 m/s, 레이놀즈수 238,000에서 수행된 이번 연구에서는 bent duct 바깥에 태핑홀을 배치하여 정압분포를 확인하고, 입구와 출구에서 5공 프로브로 유동을 측정하여 스트림 방향 속도 프로파일과 전압 손실 계수를 얻었다. 본 연구에서는 전압 손실 계수, 0.243를 얻었다.

Key Words: Bent Duct(곡관), Static Pressure Distribution(정압 분포), Velocity Profile(속도 프로파일), Total Pressure Loss Coefficient(전압손실계수)

1. Introduction

Bent duct 내의 유동은 산업용 플랜트, 열교환기, 터보기계 등 다양한 공학 분야에 적용되기 때문에 많은 연구가들에 의해 연구되어왔다. Bent duct 내의 유동은 원심력 효과에 의해 2차

* 서울대학교 기계항공공학부
연락저자, E-mail: bobol23@snu.ac.kr

유동이 발생하여[1] straight duct 보다 큰 손실을 유발한다[2]. Sudo 등은 90° 원형 bent duct, 180° 원형 bent duct 내부의 유동을 hot-wire로 측정하였고[3][4], Enayet 등은 90° 원형 bent duct를 LDV(Laser-Doppler measurement)를 사용하여 유동을 측정하였다[5]. Choi 등은 bent annular duct의 유동을 살펴보았다[6].

Bent duct에 관해 많은 선행 연구들이 진행되었지만 기존 연구는 입구와 출구가 같은 형태에 대해서 수행되었다. 터보샤프트 엔진은 환형 형태의 입구와 원형 형태의 출구를 가진다. 본 연구에서는 입구는 환형, 출구는 원형 형태를 가진 bent duct의 속도 프로파일, 내부 정압 분포와 전압 손실에 대해 알아보았다.

2. Experimental Apparatus

2.1 Experimental Setup

본 연구에서 사용한 실험 장치는 Fig. 1과 같다. 원형 유동을 환형 유동으로 만들기 위하여 test section 입구에 콘을 설치하였다. 환형 파이프의 내경은 90 mm, 외경은 160 mm로 bent duct의 입구수력직경은 70 mm이고, 출구 외경은 132 mm이다. Bent duct의 내경 파이프는 굽힘각을 가지지 않고, 외경 파이프는 곡률 반지름 290 mm으로 굽힘각 45°를 가진다.

2.2 Measurement

Bent duct 입구의 상류 10.6D (740 mm) 위치에서 pitot tube를 이용하여 환형 파이프의 입구 조건을 측정한다. 본 연구는 입구 속도 54 m/s, 레이놀즈수 238,000에서 수행되었다. 5공 프로브를 사용하여 Bent duct의 입구면과 출구면의 유동을 측정한다. Bent duct 입구면은 30° 간격, 반지름 방향 2 mm 간격으로 측정하였으며, bent duct 출구면은 15° 간격, 반지름 방향 2.5 mm 간격으로 유동을 측정하였다. Bent duct 상류방향 0.5D (35 mm) 간격으로 2D까지 4방향에 태핑홀을 설치하고, bent duct 외부에 ϕ 방향 5°간격, Θ 방향 90° 간격으로 태핑홀을 설치하여 bent duct 내부 정압 분포를 확인한다. 이때 Θ가 0°인 위치에서는 내경 파이프에 의해 단절되어 ϕ이 15°인 위치까지 태핑홀을 배치하였다.

3. Results and Discussion

3.1 Mean Velocities

본 연구에서 측정한 정압분포는 Fig. 2에 나타내었다. C_p의 정의는 다음과 같고, P_{ref}는 pitot probe로 측정한 입구 정압이고, U는 입구 속도 54 m/s이다.

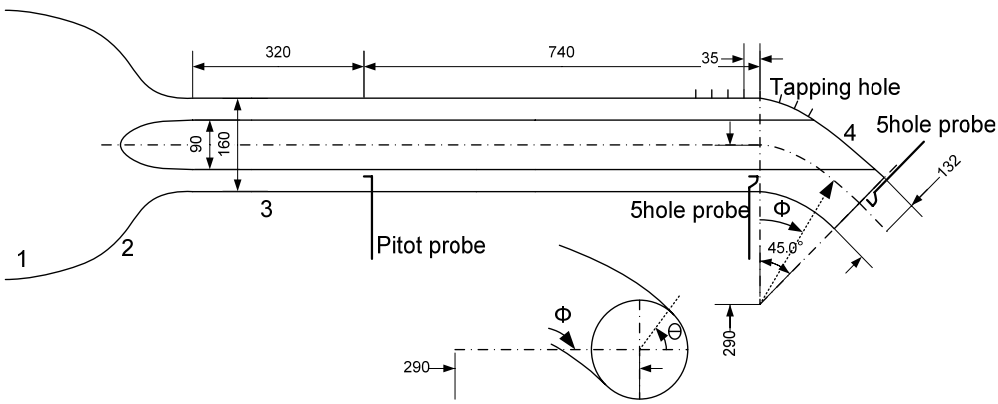

Fig. 1 Schematic Diagram of Test Pipe and Coordinate system.

1 Fan and Settling Chamber; 2 Contraction; 3 Upstream Tangent; 4 Bent Duct

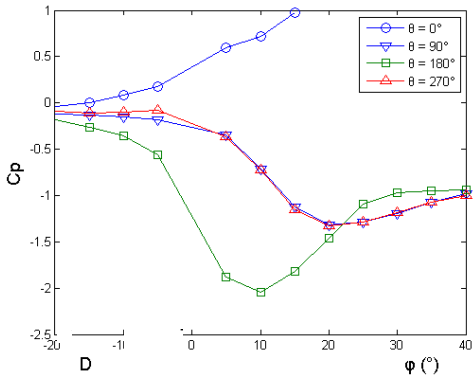

Fig. 2 Static Pressure Distribution

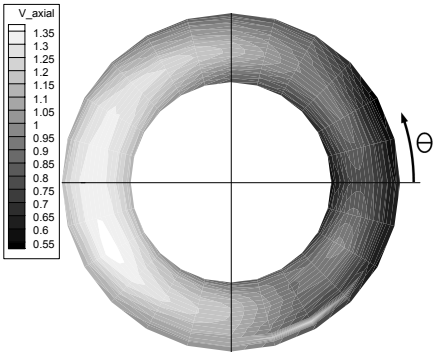

Fig. 3 Streamwise Velocity at Inlet of Bent Duct

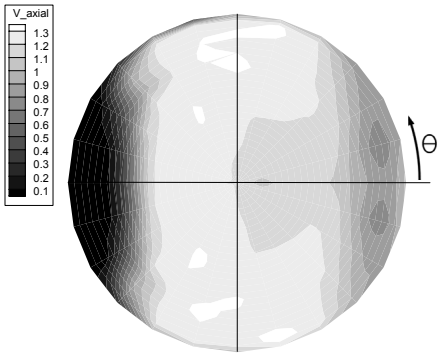

Fig. 4 Streamwise Velocity at Outlet of Bent Duct

$$C_p = \frac{P_s - P_{ref}}{\frac{1}{2}\rho U^2} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

실험에 사용한 bent duct의 형상은 원형 bent duct와 다르지만 내부 정압분포는 원형 bent duct와 유사하게 Θ = 0°에서는 정압이 상승하고, Θ = 180°에서는 정압이 하강함을 확인할 수 있다.

Bent duct 입구와 출구에서의 스트림 방향 속도는 Fig. 3, Fig. 4에 나타나있고, 각 값은 입구 속도 U (54 m/s)로 무차원화 하였다. 정압분포에서 보듯이 입구면 Θ = 0° 에서는 역압력구배에 의해 속도가 낮아지고, 입구면 Θ = 180°에서는 순압력구배가 형성되어 속도가 가속되었음을 알 수 있다. Bent duct의 형상에 의한 영향이 입구면에서부터 관찰되며, 입구면에서의 스트림 방향 속도가 균일하지 않으므로 원형 bent duct와 같이 2차 유동이 형성됨을 확인할 수 있다. 출구면 Θ = 180°에서는 bent duct에 의한 유동박리에 의해서 속도가 낮아지고, 출구면 Θ = 0°에서는 내부 파이프에 의해서 유동박리현상이 발생하여 속도가 낮아짐을 확인할 수 있다.

3.2 Total Pressure Loss

전압 손실 분포는 Fig. 5에 나타내었다. $P_{t,loss}$의 정의는 다음과 같다. $P_{t,inlet}$은 bent duct 입구에서의 질량 평균 전압(mass averaged total pressure)이다.

$$P_{t,loss} = \frac{P_t - P_{t,inlet}}{\frac{1}{2}\rho U^2} \qquad \text{(Eq. 2)}$$

출구에서의 $P_{t,loss}$는 출구에서의 스트림 방향 속도 프로파일과 유사함을 확인할 수 있다. 즉, 본 연구에서 수행한 bent duct에서의 손실은 bent duct 형상에 기인한 유동박리와 내부 파이프에 의한 유동박리가 손실의 주된 요소이다.

Bent duct에서의 전압손실계수, K (total pressure loss coefficient)는 다음과 같이 구해지고, $P_{t,inlet}$, $P_{t,outlet}$은 bent duct 입구와 출구의 질량 평균 전압이다.

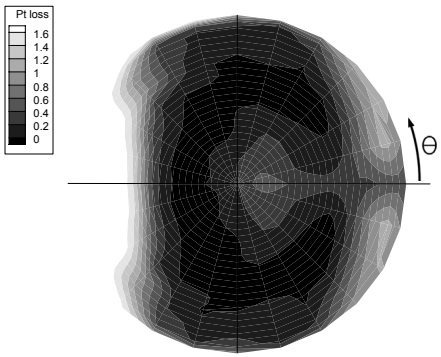

Fig. 5 Total Pressure Loss Profile

$$K = \frac{P_{t,inlet} - P_{t,outlet}}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad \text{(Eq. 3)}$$

이를 통해 구해진 값은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Total Loss Coefficient

	Mass averaged P_t
$P_{t,inlet}$	3038 (Pa)
$P_{t,outlet}$	2630 (Pa)
K	0.243

Bent duct에서의 손실에 관한 이전 연구에 따르면, 굽힘각 45°를 가진 내부유동은 0.1 ~ 0.2의 전압손실을 가진다. 본 연구에서 사용한 bent duct의 전압손실은 내부 파이프에 의해 0.243으로 손실이 증가하였다.

4. Conclusion

본 연구는 입구는 환형, 출구는 원형을 가진 bent duct에 대해서 실험을 수행하였다. 원형 bent duct와 유사한 정압분포와 입구면 스트림 방향 속도 프로파일을 가진다. 하지만 출구면에서는 내부 파이프에 의한 유동박리에 의해 스트림 방향 속도 프로파일이 복잡해지고, 전압손실이 증가하였다.

5. 후 기

본 연구는 KHP사업의 일환으로 한국항공우주연구원의 재정지원으로 진행되었습니다. 지원에 감사합니다.

6. 참고문헌의 인용

1. Ito, H., "Flow in Curved Pipes", JSME, International Journal, Vol. 30, No. 262, 1987, pp.543-550
2. Ito, H., "Pressure Losses in Smooth Pipe Bends", Journal of Basic Engineering, March 1960, pp.131-143
3. Sudo, K., Sumida, M., Hibara, H., “Experimental Investigation on Turbulent Flow in a Circular-Sectioned 90-degree Bend", Experiments in Fluids, Vol. 25, 1998, pp.42-29
4. Sudo, K., Sumida, M., Hibara, H., “Experimental Investigation on Turbulent Flow through a Circular-Sectioned 180-degree Bend", Experiments in Fluids, Vol. 28, 2000, pp.42-29
5. Enayet, M. M., Gibson, M. M., Taylor, A. M. K. P., Yianneskis, M., "Laser-Doppler Measurements of Laminar and Turbulent Flow in a Pipe Bend", International Heat and Fluid Flow, Vol. 3, No. 4, 1982, pp.213-219
6. Park, S. O., Choi, H. K., "Developing Larminar Flow in a Curved Annulus", KSME/JSME Thermal and Fluid Engineering Conference, Vol. 2, 1990, pp.344-349