

다점 피토관 유량계의 특성에 관한 연구

임재명* · 윤복현* · 박경암**

A Study on the Characteristics of Multi-point Pitot Tube Flow-meter

Jae Won Kim*, Im Woo Nam**

Key Words: Flow Coefficient(유량계수), Pressure Coefficient(압력계수), Multi-Point Pitot Tube(다점피토관), Flow Separation(유동 박리)

ABSTRACT

The flow characteristics passing a multi-point Pitot tube flow-meter of diamond shape and the characteristics of flow coefficients of the flow-meter are experimentally studied by varying combination of upstream rectangular dual elbows. The results provide the flow coefficients, which show good stability and reliability within the Reynolds number range covered here in this study, and which can be used to measure flow-rates in practice. The variation of dual elbows upstream can change the velocity field so much that the flow pattern might thwart the precise flow measurement using the multi-point Pitot tube. The strongest swirl is detected in the case of 90° dual elbow combination of all. In addition, it is observed that flow separation remains unchanged and occurs at the same point irrespective of various upstream dual elbow combinations.

1. 서론

산업이 발전함에 따라 현장에서 정밀 계측의 필요성이 증대되고 있는 가운데, 정확한 공정 제어와 물류 추정을 위하여 관 내 평균 유속을 보다 정밀하게 측정하기 위한 연구도 산업 발전과 더불어 증가하고 있다.⁽¹⁾ 유량계를 필요로 하는 산업 공정이 증가되고, 보다 더 정확한 측정을 요구함에 따라 다양한 종류의 유량계들이 사용되고 있으며 유량계들의 표준 규격이 발표되고 있다.^{(2)~(4)}

관내의 유량을 측정하는 방법에는 유량계의 설치

방법에 따라 관 벽에 부착하여 측정하는 방법과 관 중심부에 유량 측정부를 삽입하여 유량을 측정하는 방법으로 나눌 수 있다. 오리피스, 피토튜브, 터빈유량계나 노즐과 같은 유량계는 관 중심부에 유량계를 삽입하여 유량을 측정하는 대표적인 유량계들이다. 관 중심부에 삽입하여 유량을 측정하는 유량계들은 압력손실을 유발시키거나 유동에 방해로 주어 유속을 변화시키며 설치상 많은 고려사항이 요구된다.

가스, 스팀, 액체들의 물질에 상관없이 모두 측정 가능하여 강물, 발전소, 다량가스의 검출 등 광범위한 산업 현장에서 많이 사용되고 있는 다점 피토관 유량계 역시 관 중심부에 유량계를 삽입하여 유량을 측정하게 되므로 진동의 영향을 받고, 유동 형상에 변화를 초래하기 때문에 유량계의 형상에 따라 유량 측정 정확도에 지대한 영향을 줄 수 있다. 다점 피토관 유량계는

* 목포대학교 기계선박해양공학부

** 한국 표준과학연구원 유체유동그룹

E-mail : byoon@chungkye.mokpo.ac.kr

피토투브 유량계를 기본 원리로 하여, 단순히 한 지점에서 전압과 정압의 차를 측정하는 대신 그 전단부에 log-linear법으로 선정된 위치에 가공한 4개의 압력공을 통해서 압력이 측정된다. 이 4개의 압력공은 내부에서 하나의 압력 통로로 연결되어 있기 때문에, 실제로는 하나의 전단 압력이 검출되며, 후단부 중앙에 위치한 압력공을 통해서 흡입 압력이 검출된다. 다점 피토투브 유량계는 이들 2개의 압력차를 이용하여 평균 유속을 산정하고 이 유속으로부터 유량을 구하는 유량계이다.

현재 시중에 나와 있는 다점 피토투브 유량계의 형상을 보면 원통형상, 다이아몬드형상, 탄환형상 등이 있다. 이러한 형상은 회사에서 독자적인 설계를 하여 제작된 유량계들로서, 여러 회사에서 제작하고 있는 다점 피토투브 유량계들은 그들 회사 각자가 독자적인 설계를 하여 특허가 되어 있어 현재 우리 나라에서도 독자적인 형상 설계가 필요한 상황이다.

관내 장애물에 대한 유동 현상 연구는 활발히 진행 중에 있다. ISO^{(2),(3)}나 OIML⁽⁴⁾등에는 피토투브 유량계에 대한 자료가 제시되어 있고, Unny⁽⁵⁾와 Korpela⁽⁶⁾는 경사 평판에 대해 연구하였고, Ruth,⁽⁷⁾ Gözüim & Arpacı,⁽⁸⁾ Song⁽⁹⁾등은 수직 평판 등의 장애물에 대한 유동 현상을 연구하였다. 그러나 상류의 배관 형상에 따라 다이아몬드형상의 장애물이 관내에 삽입되어 있는 경우 유동으로부터 이 장애물이 어떠한 영향을 받게 되는지에 대해서는 나와 있지 않은 상태이다.

본 논문에서는 다이아몬드형상의 다점 피토투브 유량계에 대해 다음과 같은 실험을 하였다. 다이아몬드형상 유량계를 산업 현장에서 사용할 수 있게 하기 위해서는 먼저 유량 계수(K)를 구하여야 하고, 이 유량 계수의 특성이나 적용 범위를 파악하여야 한다. 본 논문에서는 이 유량 계수가 측정 지점의 위치에 영향을 받는지 알아보기 위해 4개 측정 지점에 대해 각각 한 지점씩 압력차를 측정하여 유량 계수를 구하여 보았으며, 배관 형상이 이 유량 계수에 영향을 미치는지 알아보기 위해 배관 형상에 따라 유량 계수를 구하여 보았다. 또한 관 내부로 삽입된 유량계가 관 내부에서 유동으로부터 어떠한 영향을 받는지 알아보기 위해 유량계에 작용되는 압력을 유량계 상류의 배관 형상을 바꿔 가면서 측정하여 서로 비교하여 보았다. 그리고 유속과 상류 곡관의 배관 형상에 따라 곡면에서는 박리점이 변하게 되는데 이렇게 되면 유량 측정시 이 박

리로 인한 압력차가 변하게 되어 유량 측정 정확도에 큰 영향을 주게 된다. 좋은 유량계가 되기 위해서는 이 박리점이 일정하게 유지되어야 하므로 본 실험에서는 유속과 상류 곡관의 배관 형상에 따른 박리 지점의 위치 변화에 대한 실험을 하였다.

2. 실험 장치 및 실험방법

2.1 실험 장치

본 연구에 사용된 실험 장치는 크게 배관부와 기준 유량 측정부, 시험부로 구성되어 있다.

배관부는 직경이 100 mm이고 KS규격 스테인레스강 원관으로 각 실험 장치 및 부품 등을 설치하기 위해 단관으로 하여 플랜지 연결을 하였으며, 조립된 배관의 총 길이는 약 5m이며 실험 장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 송풍기는 풍량을 조절하기 위해 인버터와 연결되어 있고 흡입구로 연결하여 공기의 온도를 일정하게 하였다. 또한 상류에서의 배관 형상이 유량 계수 및 압력 분포에 영향을 주는지 알아보기 위해 Fig. 2와 같이 시계 방향의 순서로 배관 형상을 바꾸어서 측정하였다. 또한 공기의 온도를 측정하여 밀도를 계산하기 위해 배관 흡입구쪽에 열전대를 설치하여 온도를 측정하도록 하였다.

기준 유량 측정부는 실제 유량을 측정하는 부분으로서 유량계는 ISA 1932노즐이며, 차압을 측정하여 유량을 측정하고 차압 측정 범위에 따라 노즐 목 직경이 23.4 mm, 35.1 mm, 52.6 mm인 3개의 노즐을 사용하였다. 이들은 모두 ISO 5167-1⁽¹⁰⁾에 나와있는 규격에 따라 제작하였고 한국 표준과학연구원에서 교정을 한 유량계이다.

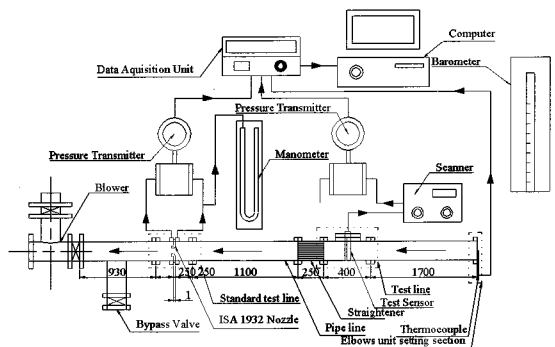


Fig. 1 Experimental pipe line setup and measurement facilities setup

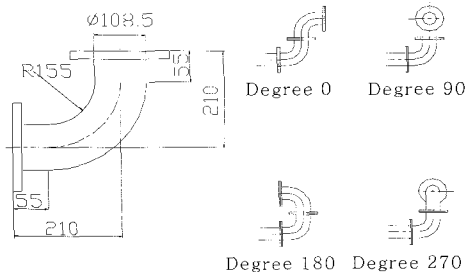


Fig. 2 Elbow combinations upstream of testline section

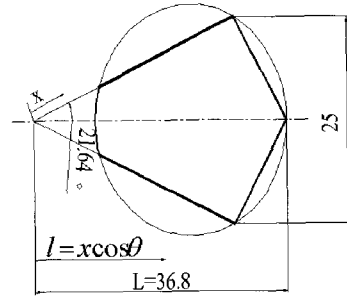
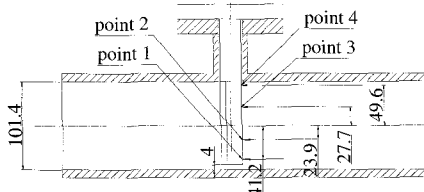
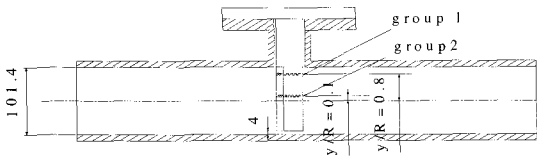


Fig. 4 Shape of specimen



(a) Specimen of diamond shape flowmeter



(b) Specimen for pressure distribute measurement

Fig. 3 Structure of specimens

시험부에는 두 개의 시편이 사용되는데 하나는 유량 계수를 측정하기 위한 시편이고 또 하나는 유량계 주변의 압력 분포 및 유동의 박리를 알아보기 위한 시편이다. Fig. 3은 이 두 시편의 구조와 설치 위치를 나타낸 것으로 각 실험의 특성(유량 계수, 압력 계수)에 알맞도록 측정 포인트를 정하여 압력공을 가공하였다. Fig. 3(a)에서 4개의 압력측정 지점은 시편을 log-liner 방법에 의해 가공된 것으로 유량 계수가 유량 측정지점에 영향을 받는지 알아보기 위해 4개의 압력공을 전체 개방했을 경우와 각각 하나씩만을 개방했을 경우에 대해 차압을 측정하여 유량 계수를 구하였다.

Fig. 3(b)는 다이아몬드 형상의 유량계 주위의 압력 분포를 측정하기 위하여 가공된 시편이며 Fig. 4에서 정의된 좌표를 사용한 무차원 투영길이는 Table 1에 나와있다.

2.2 실험 방법

기준 유량 측정부 및 시험부에는 차압을 측정하기 위해 차압계를 컴퓨터에 연결하여 데이터를 얻었으며,

Table 1 Specification of flowmeter model for pressure measurement

point	group1		group2	
	projection length(mm) ($l = xc \cos \theta$)	length rate (l/L)	projection length(mm) ($l = xc \cos \theta$)	length rate (l/L)
1	12.82	0.348	11.43	0.311
2	14.59	0.396	13.38	0.364
3	16.63	0.452	15.7	0.427
4	18.48	0.502	17.19	0.467
5	19.98	0.543	18.12	0.492
6	22.11	0.601	19.88	0.540
7	23.69	0.644	21.74	0.591
8	25.55	0.694	22.86	0.621
9	35.17	0.956	25.37	0.689
10	34.18	0.929	27.5	0.747
11	34.93	0.949	33.35	0.906
12	35.9	0.976	33.77	0.918
13			34.44	0.936
14			35.46	0.964

유동율의 제어는 인버터를 송풍기에 연결하여 주파수 조절을 통하여 제어하도록 하였다. 모든 데이터는 1초 간격으로 50번을 측정하여 이 값들의 평균값으로부터 실제 유량 및 이론 유량을 계산하여 유량 계수를 얻었으며, 압력 분포 또한 스캐너를 사용하여 원하는 위치의 압력 측정을 하였다. 노즐에서 실제 유량을 측정할 때 노즐에 연결된 계측기(transmitter)의 측정 범위가 4~20 ma이므로 이 범위를 벗어나지 않도록 노즐 목 직경을 바꿔가면서 측정하였다. 유량 계수(K)와 압력계수 (C_p)는 다음과 같이 정의하였다.

$$K = \frac{Q_{real}}{Q_{ideal}} \quad (1)$$

$$C_p = \frac{\Delta p}{\left(\frac{\rho v^2}{2}\right)} \quad (2)$$

여기서, Δp 는 다점 피토폰 유량계의 측면에서 측정된 압력차의 절대값이며 v 는 노즐에 의해서 측정된 관 평균 속도이다.

실제 유량은 노즐의 압력차를 이용하여 구할 수 있다.

$$Q_{real} = C_d \cdot A_n \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p_n}{\rho}} \\ = V_{real} \cdot A_D \quad (3)$$

여기서, C_d 는 유출 계수(flow coefficient), A_n 는 노즐 목 단면적, β 는 직경비 $\left(\frac{\text{노즐 목 직경}(d)}{\text{관 직경}(D)}\right)$, Δp_n 는 노즐 전·후단 압력차, ρ 는 공기의 밀도, V_{real} 는 실제 관 평균 유속, A_D 는 관 단면적이다.

이론 유량은 다점 피토폰 유량계의 압력차를 이용하여 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Q_{ideal} = V_{ideal} \cdot A_D \quad (4)$$

$$V_{ideal} = \sqrt{\frac{2\Delta p_p}{\rho}} \quad (5)$$

여기서, V_{ideal} 는 이론 관 평균 속도, A_D 는 관 단면적, Δp_p 는 다점 피토폰 유량계에서 측정된 압력차이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 측정 지점이 유량계수 값(K)에 미치는 영향

다점 피토폰 유량계를 사용한 유량 측정은 레이놀즈수 함수로 표시된 유량 계수를 통해서 가능해진다. 따라서 이 유량계가 현장에서 그 기능을 발휘하기 위해서는 유량 계수의 데이터가 필연적으로 주어져야 한다. 또한 유량계의 성능과 특성은 이 유량 계수를 통해서 설명될 수 있다. Fig. 5는 상류의 배관 형상이 직선관인 경우에 대한 것으로, Fig. 3(a)와 같이 원관 벽의 아랫 부분에서 가장 가까운 압력공을 1번으로 하였고, 벽의 윗 부분에서 가장 가까운 압력공을 4번으로 하여 측정값을 레이놀즈수에 따른 유량 계수 값(K)들을

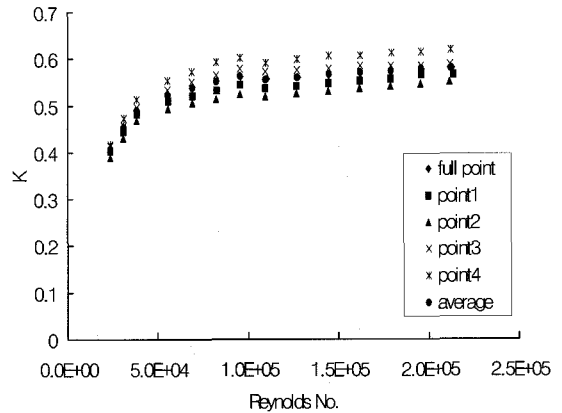


Fig. 5 Variation of flow-rate coefficients according to measuring points

계산한 것이다. 4개의 압력공을 전면 개방했을 경우의 유량 계수 값과 각각의 압력공에서 측정된 유량 계수 값들에 대한 평균값이 완전히 일치함을 볼 수 있다. 이는 본 유량계가 각 측정 지점의 평균 압력차를 사용하여 유량을 측정하기 때문에 측정 지점이 어느 지점 이든 상관없이 유량 계수에는 크게 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다. 산포 되어 있는 4개의 측정점의 평균값과 전면 개방시의 값이 일치되는 현상은 본 실험에 사용된 다점 피토폰 유량계가 유량계의 특성으로서 좋은 안정성과 신뢰성을 갖고 있음을 의미하며 단일 피토폰을 사용한 유량 측정의 단점을 보장하는 강점을 보여주는 것이 된다. 모든 압력공의 개방시 유량 계수의 변화경향은 실험상 설정된 범위의 작은 레이놀즈수에서 큰 상승을 보이다가 큰 레이놀즈수에서는 극히 완만한 증가를 나타내고 있다. 또한 $Re_D > 1.0 \times 10^5$ 의 레이놀즈수의 범위에서 4개의 압력공을 각기 개방했을 경우, 그 차이가 레이놀즈수에 무관하게 거의 균등하게 나타나는 것을 알 수 있다. 한편, Fig. 5에서 처럼 결과가 비대칭으로 나온 이유는, 유량계의 상부는 관의 벽면을 관통하고 있으나 하부는 관과의 사이에는 틈새가 있기 때문이다. 따라서 유량계의 하부 틈새로 유출되는 유동과 상부에서 틈새가 전혀 없는 유량계 설치상의 비대칭성의 영향으로 자연히 비대칭 유동이 발생된다. 또한 압력공의 위치는 원래 stem에 대해서 대칭으로 설계 및 가공되었으나 관에 삽입된 상태에서는 관의 중심에 대해서 대칭적인 위치에서 약간 어긋난 요인도 일부 가미되었다고 볼 수 있다.

3.2 유량계 상류의 배관 형상이 유량 계수 값(K)에 미치는 영향

Fig. 6은 다점 피토크 유량계 상류의 배관 형상에 따른 유량 계수 값(K)들을 직선관인 경우와 비교하여 놓은 것이다. Fig. 2의 90° 인 이중 엘보의 경우는 다른 각도의 경우에 비해 $Re_D < 5.0 \times 10^4$ 에서는 현저한 차이를 보이지만 레이놀즈수가 증가하면서 차이가 적어지고, $Re_D > 1.0 \times 10^5$ 에서는 직선관의 경우와 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. $Re_D < 1.0 \times 10^5$ 의 레이놀즈수 범위에서 나타난 곡관의 형태에 따른 K값의 현저한 차이는 swirl과 2차류에 의해 기인된 것으로서 다음절에서 제시되는 것처럼 특히 곡관의 각도에 따른 swirl의 강도가 90° 이중 엘보의 경우에 가장 강력한

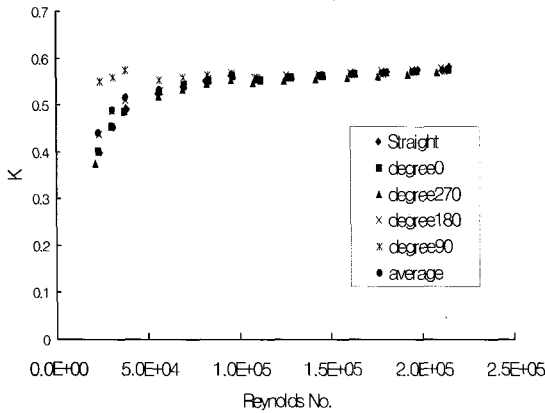
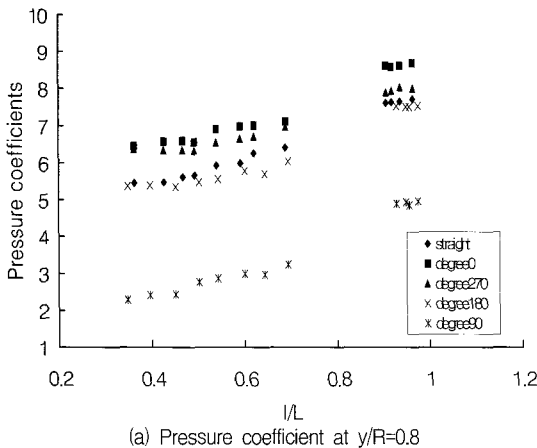


Fig. 6 Variation of flow-rate coefficients according to upstream pipe shape

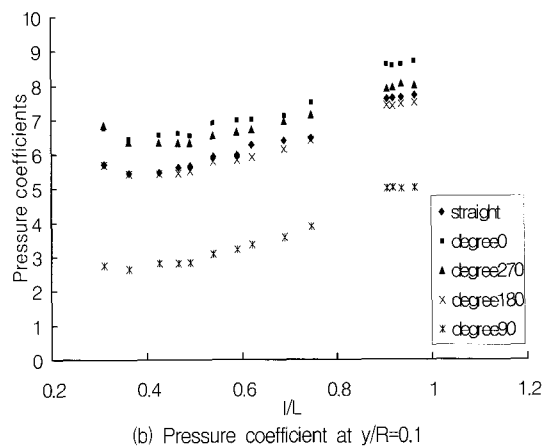
것과 직접적인 관계가 있다. $Re_D > 1 \times 10^5$ 의 레이놀즈수 범위에서 곡관의 각도에 따른 변화가 적은 현상은 다점 피토크 유량계를 설치할 때 상류의 배관 형상에 따른 영향이 그만큼 적다는 의미이므로 이는 큰 레이놀즈수 유동시 유량계의 설치상의 이점으로 작용한다는 것을 의미한다.

3.3 상류의 배관 형상에 따른 압력계수 (C_p) 변화

시편의 압력 측정 포인트에서 측정된 압력을 압력 계수로 환산하여 나타내면 Figs. 7~10과 같다. 압력 측정을 위한 압력공은 관 중심부의 전면에 10개 후면에 4개 그리고 관 위쪽 벽부의 전면에 8개 후면에 4개씩 뚫려 있으며 Fig. 2의 90°인 이중 엘보의 방향에 설치되어 있다. 전체적으로 관 중심부와 관 벽 부근에서 현저한 압력의 변화가 없는 것은 본 연구의 조건과 같은 난류에서는 관에서의 속도 분포가 층류에 비하여 관 중심 속도와 관 벽 부근의 속도 차이가 크지 않으며 관 벽 부근의 압력공이 관 벽에 의한 경계층의 밖에 있기 때문인 것으로 설명할 수 있다. 압력 계수의 변화는 곡관의 배치에 따라서 주어진 범위의 작은 레이놀즈수에서는 큰 차이를 보이나 레이놀즈수가 증가함에 따라 그 차이가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 큰 레이놀즈수에서 압력 계수의 차이가 줄어드는 것처럼 보이는 것은 압력차를 무차원화 하는데 사용된 동압력이 크기 때문이다. 한편, 압력공의 위치에 따른 변화의 경향은 배의 형상과 관계없이 동일한 것으로 나타나고 있다. 후류(wake)에서 압력은 거의 일정한 상수 값을

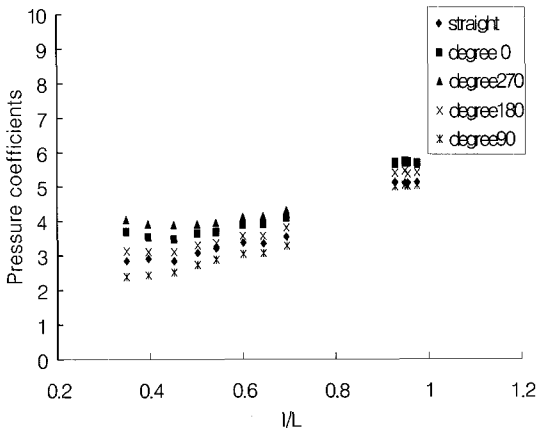


(a) Pressure coefficient at $y/R=0.8$

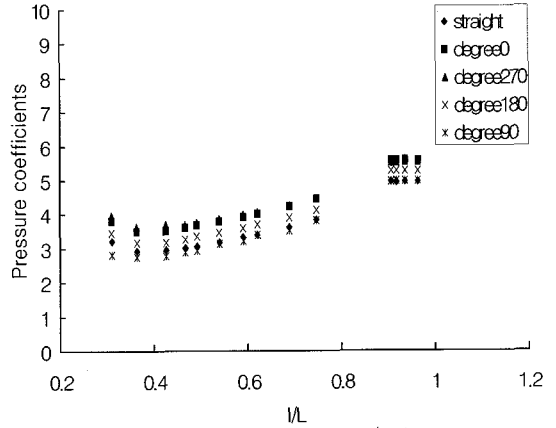


(b) Pressure coefficient at $y/R=0.1$

Fig. 7 Pressure coefficient at $Re = 2.2 \times 10^4$

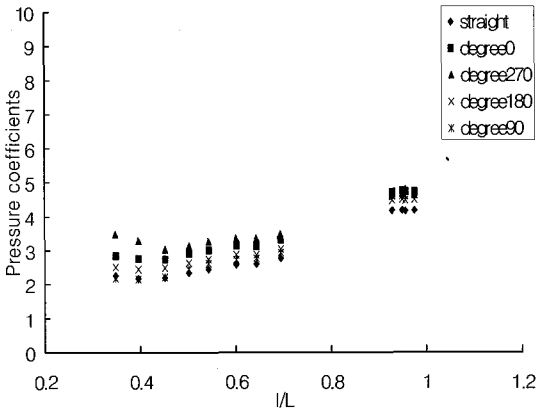


(a) Pressure coefficient at $y/R=0.8$

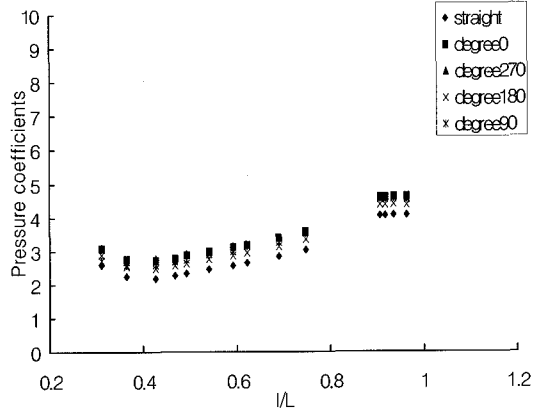


(b) Pressure coefficient at $y/R=0.1$

Fig. 8 Pressure coefficient at $Re=5.5 \times 10^5$

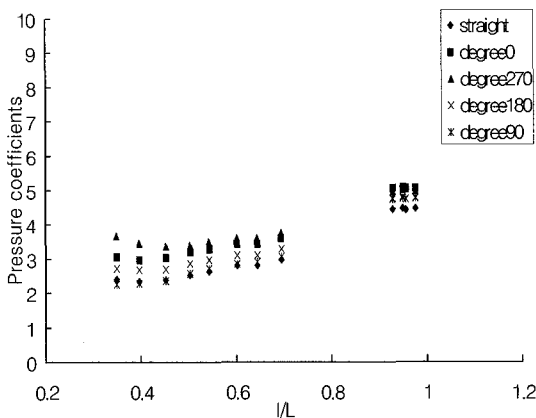


(a) Pressure coefficient at $y/R=0.8$.

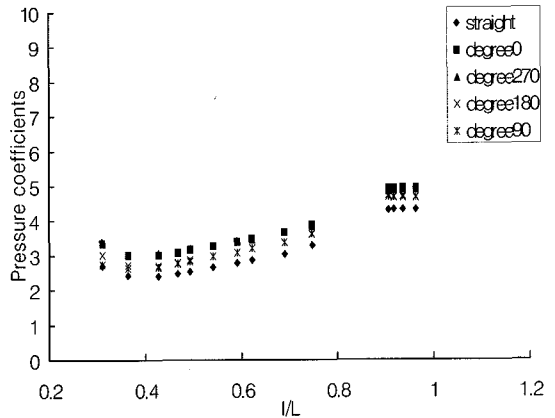


(b) Pressure coefficient at $y/R=0.1$.

Fig. 9 Pressure coefficient at $Re=9.5 \times 10^4$



(a) Pressure coefficient at $y/R=0.8$.



(b) Pressure coefficient at $y/R=0.1$.

Fig. 10 Pressure coefficient at $Re=2.2 \times 10^5$.

보이고 있는데 이는 구 혹은 원통 주위를 흐르는 유동의 후류에서 일정한 것과 같은 이치이다. 상류의 배관 형상은 최대 속도의 위치를 포함한 배관내의 속도분포를 변화시키고, 2차 유동과 선회류를 발생시킨다. 특히 90° 엘보의 경우에는 선회류로 인해서 관의 수직선에 대한 비대칭 유동의 발생이 현저히 나타난다. 0°와 270°의 이중 엘보를 비교해 보면 관 중심부에서는 거의 일치하고 관 벽에서는 약간의 차이를 보이고 있다. 한편, Figs. 8, 10에서 보듯이 90°와 270° 혹은 0°의 이중 엘보를 비교하여 보면 현격한 차이를 보이고 있으며, Figs. 7, 9와 같이 작은 레이놀즈수에서 더욱 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 그러나 여기에서 90°와 270°의 경우의 차이는 유동의 비대칭성에서 기인된 것이 아니고 측정단의 압력 측정공의 위치가 비대칭인 상황 즉, 압력 측정용 기공이 한쪽 방향에만 있는데서 기인된 것이다. 즉, 다이아몬드형 유량계의 전면에 2개의 면이 있는데 그 중에 압력공은 한 쪽 면에만(이중 엘로우 90° 방향) 가공되어 있기 때문이다. 따라서 서로 반대 방향으로 선회하는 2개의 선회류에 대해서는 비록 그도가 동일하다 할지라도 측정단에서는 그 방향 차이 때문에 당연히 그 강도가 달리 잡힌다. 실제로 90°와 270°에서 선회류의 차이를 확인하기 위해서, 바람개비를 제작하여 그 회전 방향과 크기를 측정 한 결과, 그 강도는 거의 동일하지만 회전 방향은 반대인 것으로 나타났다.

3.4 유량계에서의 박리

본 유량계는 정상적인 작동의 경우에 박리가 모서리에서 발생할 것으로 추정되지만 큰 레이놀즈수 및 유량계 상류의 곡관의 배관 형상의 변화로 인하여 모

서리 이외의 점에서 박리 현상의 발생 가능성을 배제할 수 없기 때문에 이의 확인을 위한 실험을 수행하였다. Fig. 11은 직선관인 경우의 게이지압으로 레이놀즈수를 변화시켜 나타낸 것이다. 또한 Fig. 12는 90° 이중 곡관에 대해서 $y/R=0.1$ 인 지점과 $y/R=0.8$ 인 지점에서 유량계 면에 작용하는 압력분포를 게이지 압으로 나타낸 것이다. $Re_D=3.1 \times 10^4 \sim 2.2 \times 10^5$ 의 구간에 대해 $l/L < 0.4$ 인 구간에서는 $\frac{dp}{dx} > 0$ 이고, $l/L > 0.4$ 인 구간에서는 $\frac{dp}{dx} < 0$ 인 것을 알 수 있다. $l/L < 0.4$ 인 구간에서 역압력구배가 나오는 것으로 보아 박리가 일어날 가능성은 있지만 이 구간 이후 압력구배가 순압력구배를 갖는 것으로 보아 박리가 일어나지 않는 것으로 볼 수 있다. $l/L=0.8 \sim 1$ 구간에서는 압력이 거의 일정하게 유지되는데 이는 다이아몬드 형상에서 앞면과 뒷면이 만나는 모서리 부분에서 박리가 일어나게 되어 압력이 갑자기 떨어지게 되고 그 후 일정한 압력을 유지하는 것으로 볼 수 있다. 이 현상은 Figs. 7~10에서도 관찰할 수 있다. 즉 모든 배관 형상에 대해 박리는 다이아몬드 형상에서 앞면과 뒷면이 만나는 모서리 부분에서 박리가 일어나게 되어 압력이 갑자기 떨어지게 되고 일정한 압력을 유지하는 것으로 볼 수 있다. 직관의 경우에는 후류에서의 약간의 차이를 제외하고는 관의 중심부와 관의 벽부에서 대체로 동일한 압력분포를 보이고 있다. 그러나 90° 이중 엘보의 경우에는 분명한 압력 차이를 보이고 있는데 이는 선회류에 의한 속도분포의 변화와 2차 유동에 기인된 것으로 보인다. Fig. 12(a), (b)에서 보듯이 후류에서 관 중심부와 관 벽부의 압력의 전도 현상도 동일한 원인에서 발생된다고 할 수 있다.

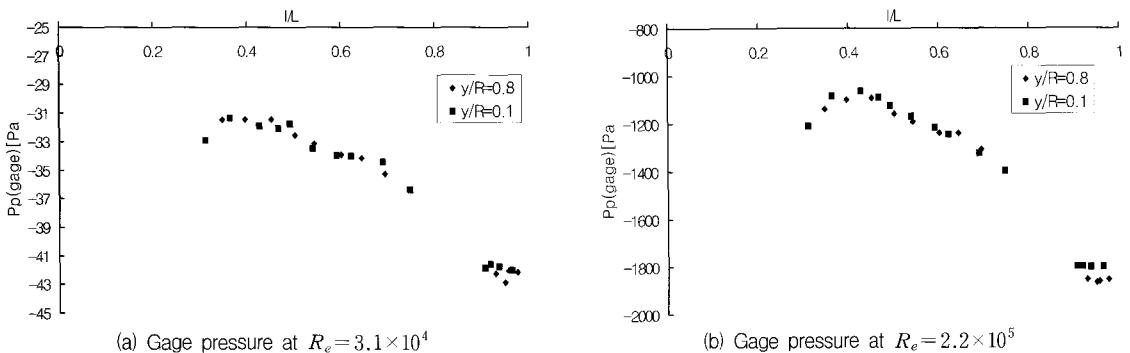


Fig. 11 Gage pressures upstream straight pipe

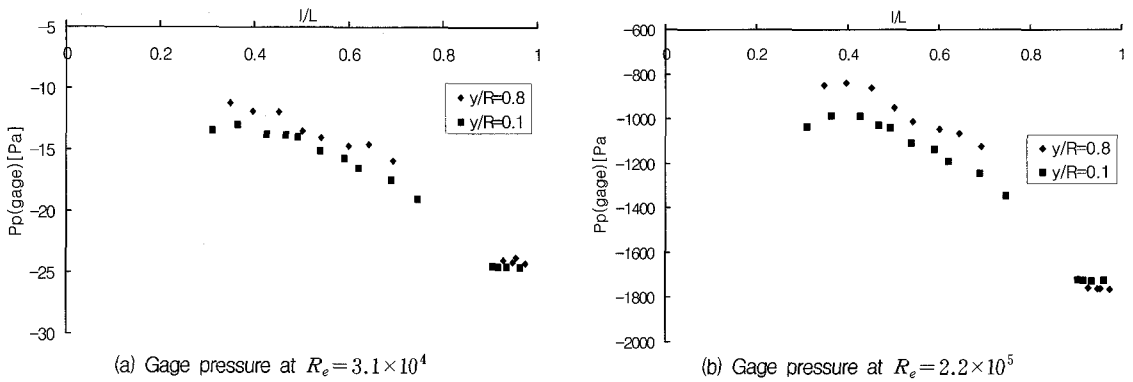


Fig. 12 Gage pressures of upstream 90° double elbows

4. 결 론

산업 현장에서 사용되고 있는 다이아몬드 형상의 다점 피토크 유량계에서 4개의 각기 다른 압력공에서 측정된 유량 계수의 평균값은 전면 개방했을 경우의 값과 완전히 일치하였다. 이는 유량 계수가 측정 지점의 위치와 수에 상관없이 단지 이들의 평균 압력차를 취한 것과 같다는 것을 의미한다.

레이놀즈수 $2.3 \times 10^4 \sim 2.2 \times 10^5$ 범위에서 배관 형상에 따른 유량 계수를 비교하여 보면, $Re_D < 5.0 \times 10^4$ 에서 배관 형상이 유량 계수에 영향을 크게 주고, 레이놀즈수가 증가하면서 차이가 적어지고 $Re_D > 1.0 \times 10^5$ 에서는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

실험한 레이놀즈수의 범위에서 관 중심부($y/R=0.1$)와 관 벽부($y/R=0.8$)의 압력 계수의 차이가 대체적으로 작게 나타났는데 이는 본 연구의 조건과 같은 난류에서는 속도분포가 경계층을 제외하고는 완만하며 관 벽 부근의 압력공이 경계층의 밖에 있기 때문으로 판단된다. 그러나 90° 이중 엘보의 경우에는 2차류의 발생과 선회류로 인하여 관 중심부와 관 벽 부근의 압력계수의 차이가 현저히 나타났다.

상류의 배관 형상의 변화는 최대 속도의 위치를 포 함한 배관내의 속도분포를 변화시키고 2차 유동과 선회류를 발생시키며 비대칭유동의 요인으로 작용한다. 특히 90° 이중 엘보의 경우에 선회류의 영향이 아주 크게 나타났다. 270° 곡관의 경우에는 0° 곡관의 경우와 마찬가지로 그 영향이 아주 작게 나타났다. 그러나 선회류가 가장 강한 경우에도 실험한 전 레이놀즈수의 범위에서 박리점은 항상 다점 피토크 관의 모서리에서 일정하게 발생함을 확인하였다.

후 기

본 실험에 사용한 시편은 하이트플(주)로부터 제공 받은 것이다.

참고문헌

- (1) 백중승, 박경암, 정완섭, 1997, 초정밀 측정 및 응용 기술 개발 사전연구조사, KRISS-97-007-1 R, 한국 표준과학 연구원, 제5장 평균 유속 측정기법에 의한 고정밀 유량계 개발.
- (2) ISO standard 2186, 1973, Fluid flow in closed conduits-connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements, ISO 2186-1973, Geneva.
- (3) ISO standard 5024, 1989, Petroleumliquids and gases-measurement-standard reference conditions, ISO-5024-1976(E), Geneva.
- (4) OIML R32, 1989, Rotary piston gas meters and turbine gas meters.
- (5) Unny, T. E., 1972, Thermal Instability in Differentially Heated Inclined Fluid Layers.
- (6) Korpela, S. A., 1974, "A Study on the Effect of Prandtl Number on the Stability of the Conduction Regime of Natural Convection in an Inclined Slot", Heat & Transfer, Vol. 17, pp. 215~216.
- (7) Ruth, D. W., 1979, "On the Transition to Transverse Rolls in an Infinite Vertical Fluid Layer-A Power Series Method", Heat & Transfer, Vol. 22, pp. 1199~1200.

- (8) Gözüm, D. and Arpacı, V. S., 1974, "Natural Convection of Viscoelastic Fluids in a Vertical Slot", J.F.M, Vol. 64, pp. 439~440.
- (9) Song, J. H., 1982, Stability of Natural Convection of Viscoelastic Fluid in Vertical Slot, 석사학위논문, 서울대학교.
- (10) ISO 5167-1:1991(E), Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices. Part 1.