

# PVC 배관부품의 마찰 손실

조 성 환\* · 최 진 희\*

Pressure Losses in PVC Pipe and Fittings

Sung Hwan Cho and Jin Hee Choi

## ABSTRACT

Friction factors and equivalent sand roughness of PVC pipe fittings have been studied by experiments in the Reynolds number range of 2,000~70,000. PVC pipe fittings studied are straight pipes, 90° elbows and tees with 15, 25, and 40mm in nominal diameter, all manufactured in Korea with KS mark approval.

Equivalent relative roughness of PVC pipes obtained lies between smooth pipe and 0.002. The study shows that equivalent sand roughness of PVC pipes increases in proportion of the square root of pipe diameter, and can be approximately obtained by multiplying 4 to the root mean square value measured by metal surface roughness tester.

Loss coefficient of PVC 90° elbows decreases slowly with increasing Reynolds number. Loss coefficient of tees is a function of ratio of flow rates and Reynolds number.

---

\* 정희원 : 육군사관학교 기계공학과 교수

\*\* 육군사관학교 기계공학과 전임강사

- 기 호 설 명 -

- D ; 관의 지름 [ mm ]
- f ; 관마찰계수 [-]
- g ; 중력가속도 [ m/S<sup>2</sup> ]
- h<sub>L</sub> ; 손실수두 [ m ]
- k<sub>s</sub> ; 등가조도 [-]
- K ; 미소 손실계수 [-]
- Re ; 레이놀즈수 [-]
- V ; 유속 [ m/S ]

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(1)$$

에서 구한다. 여기서 관마찰계수 f는 일반적으로 레이놀즈수와 상대조도의 함수이다. 층류 (Re<sub>D</sub> < 2000) 범위에서는 이론적으로 관계식이 유도될 수 있으며, 그 결과는

$$f = \frac{64}{Re_D} \dots\dots\dots(2)$$

로 주어진다. 또 레이놀즈수가 매우 큰 완전 난류범위 (Re<sub>D</sub> > 2000/f k<sub>s</sub>/D)에서는 관마찰계수는 상대조도만의 함수이며, 다음과 같은 경험식이 알려져 있다.[2]

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left[\left(\frac{k_s/D}{3.76}\right)\right] \dots\dots\dots(3)$$

Colebrook[3]은 일반적인 난류범위 (Re<sub>D</sub> > 4000)에서 다음과 같은 경험식을 발표하였다.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{k_s/D}{3.76} + \frac{2.51}{Re_D \sqrt{f}}\right) \dots\dots(4)$$

식(4)는 레이놀즈수가 매우 클 때 (Re<sub>D</sub> → ∞) 식(3)에 수렴됨을 알 수 있다. 또 매끄러운 관 (k<sub>s</sub>/D < 10<sup>-6</sup>)의 경우에는 Prandtl의 공식[4]

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log (Re_D \sqrt{f}) - 0.8 \dots\dots\dots(5)$$

에 수렴된다.

식(4)는 f에 관한 음함수이기 때문에 계산에 불편한 점이 있으므로 여러가지 양함수의 근사식이 발표되었다.[4]

최근 Haaland [5]는 다음과 같은 양함수 공식을 발표하였으며, 식(4)와의 오차는 5% 이내라고 주장하고 있다.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left[ \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{k_s}{3.7D} \right)^{1.11} \right] \dots\dots(6)$$

계산기가 보편화되기 이전에는 공식보다도 도표가 편리하게 사용되었으며, 가장 많이 이용되

1. 서 론

플라스틱 제조기술의 발전에 따라 최근 관로의 배관재료로서 PVC배관부품의 사용이 점점 증가되고 있다. 그러나 배관설계에 필요한 기본 자료인 PVC배관부품의 관마찰계수와 등가조도에 관한 실험자료는 별로 소개되어 있지 않는 실정이다.

최근 ASHRAE에서는 학회사업으로서 공기수송용 PVC 직관에 관한 관마찰손실을 측정하여 설계자료로서 제공하고 있다.

이 자료는 관지름이 4, 6, 10 및 12인치인 공기수송용 PVC관에 관한 것이고, 레이놀즈가 대략 3 × 10<sup>4</sup> ~ 6 × 10<sup>5</sup>의 범위인 직관손실에 한정된 것이다.

PVC배관은 공기수송용뿐 아니라 수도용 또는 온수난방용으로도 많이 사용되고 있다.

본 논문에서는 우리나라에서 제조되는 관지름 16, 25 및 40 mm의 KS표시제품의 PVC 직관과 엘보우 및 티의 배관부품에 관한 수두손실을 측정하므로써 PVC배관부품의 설계자료를 제공하려고 한다.

2. 이 론

원형단면을 가진 직관의 손실수두는 Darcy-Weisbach 공식

는 것은 Moody선도 [6]이다. 이 선도는 식(3), (4) 및 (5)를 도표화한 것이다.

엘보우, 티이등의 배관부품의 수두손실은 미소손실이라고 부르며, 다음 식에 의하여 정의되는 미소 손실계수 K를 사용하여 구한다.

$$h_L = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (7)$$

미소 손실계수 K는 일반적으로 부품의 종류, 기하학적 모양, 및 레이놀즈수의 함수이며 [7] 설계자료로서는 보통 레이놀즈의 영향을 무시하고 주어지고 있다. [8]

### 3. 실험

직관과 엘보우 및 티이형관에서의 수두손실을 측정하기 위하여 Fig.1 과 같이 실험장치를 제작하였다. 실험에서는 관의 안지름과 길이, 정압수두, 유량, 수온등이 측정되었다.

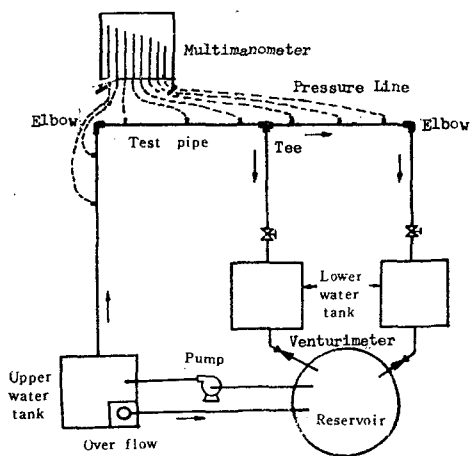


Fig1. Schematic Arrangement of Experimental Equipment

실험은 KS표시 허가를 받은 국내 3개 회사의 PVC관 부품을 사용하여 레이놀즈수가  $2 \times 10^3 \sim 7 \times 10^4$ 의 범위에서 실시되었다. 층류유동의 경우에는 이론해석이 가능하며, 따라서 본 실험

에서는 보조실험으로서 별도로 관지름 6mm와 8mm의 아크릴 관을 사용하여 실험하였다. 그 결과 마찰계수 값은 이론식 (2)와 잘 일치함을 확인하였다. 참고문헌 [9]에 보다 자세한 실험내용이 주어져 있다.

### 4. 실험결과 및 분석

#### 4.1 직 관

측정된 손실수두로부터 식(1)에 대입하여 관마찰계수를 구하고, Moody 선도에 나타내었다.

( Fig.2 )

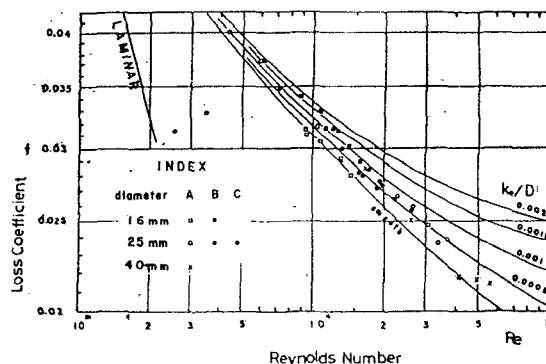


Fig2. Experimental Results on Moody Chart

그림에서 보는 것과 같이 측정값은 레이놀즈수  $4 \times 10^3 \sim 6 \times 10^4$  범위에서 Moody선도의 매끄러운 관에 가까운 일정한 상대조도선에 잘 일치한다. 이 결과로부터 최적의 상대등가조도와 절대조도값을 구할 수 있으며, 그 결과가 Table 1에 주어져 있다. Table 1에는 Moody선도로부터 구한 최적의 등가절대조도와 조도측정기로 측정된 절대조도값을 비교하였다.

Jeppson [10] 등에 의하면 청결한 상태의 PVC관의 등가조도를 0.0021mm로 제시하고 있다.

그러나 Swim [1]은 공기를 사용하여 측정된 PVC관의 등가절대 조도로서 0.009~0.046mm의 값을 보고하고 있다. 본 실험에서 구한 국산

TABLE 1. Roughness of Domestic PVC Pipe

Manufacturer	Diameter (mm)	Moody Chart		Roughness Tester	
		Relative Roughness	Absolute Roughness (mm)	Relative Roughness	Absolute Roughness (mm)
A	16	0.0002	0.0032	0.00009	0.0014
	25	0.0002	0.0050	0.000065	0.0016
	40	0.0001	0.0040	0.00005	0.0018
B	16	0.0006	0.0096	0.00010	0.0015
	25	0.0002	0.0050	0.00007	0.0017
C	25	0.0002	0.0050	0.000065	0.0016

KS표시 PVC 관의 등가절대조도값은 Jeppson의 값보다는 크며 ( 2.5 배 ), Swim의 값보다는 작다.( 약 1/4 )

PVC 관은 일반적으로 관지름이 커짐에 따라 절대조도도 커지는 특징이 있다.[11] 이것은 PVC 관은 Moody의 상대조도선도에서 다른 종류의 관보다는 완만한 기울기를 가진 선으로 나타난다는 것을 의미한다.

Swim[1]은 배관설계시 PVC 관의 등가절대조도값 대신 일정한 등가상대조도값 ( 0.0002 )을 사용할 것을 권장하였다.

이 값은 실험결과의 약 2배에 해당되며, 경년 변화와 제품마다의 차이를 고려한 안전한 값이라고 밝히고 있다.

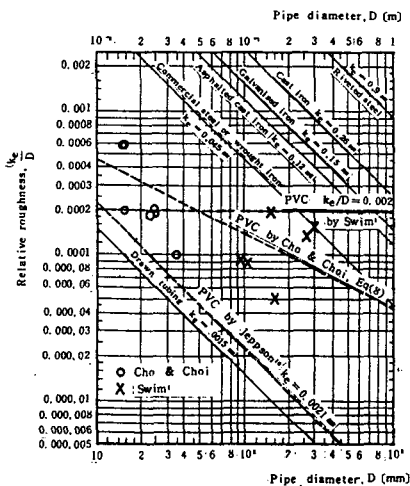


Fig 3. Relative roughness for PVC pipe

Fig.3에 본실험과 Swim[1]의 결과를 함께 표시하였으며, PVC 관의 지름이 커지는데 따라 조도값이 커지는 것을 고려한 등가상대조도값은 점선으로 표시되며, 그 직선의 공식은

$$k_s/D = 0.0014/\sqrt{D} \dots\dots\dots (8)$$

로 표시된다. 식(8)에서 관의 안지름 D의 단위는 mm이며, 상수 0.0014는 본실험자료와

Swim의 자료를 사용하여 최소 자승평균 방법으로 구한 값이다. Table 1에서 Moody 선도에서 구한 등가절대조도값이 표면조도계 (SURFCOM -100-D, Tokyo Seimitsu Co.)로 측정된 조도값의 약 3.4 배임을 볼 수 있다. Moody 선도의 등가조도는 Nikuradse의 모래알 조도[2]이며, Fig. 4에서 정의되는 최대값이다.

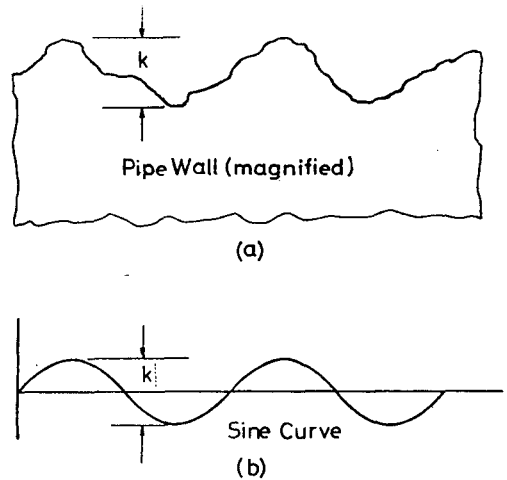


Fig4. Surface roughness models (a) Pipe Wall (b) Sine Curve

조도계는 절삭후의 금속표면의 조도측정용으로 자동평균근호값 ( r. m. s )을 나타내고 있다. Fig.4(b)는 표면이 Sine곡선으로 단순한 경우를 나타내며 이때의 자동평균근호값을 구하면

$$k_{r.m.s} = \left[ \frac{\int_0^{2\pi} \left( \frac{k}{2} \sin x \right)^2 dx}{2\pi} \right]^{1/2} = \frac{k}{2\sqrt{2}} \dots\dots\dots (9)$$

이다. Fig 4(a)와 같이 거칠기가 불규칙한 경우에는 식(9)의 분모는 더 커지게 되며, 따라서 본 실험에서 얻은 조도값과 조도계로 측정된 값 사이에 3.4배의 관계가 있는 것은 두 값이 서로 비슷한 크기를 나타내는 것이라고 할 수 있다. 즉 표면 조도계를 사용하여 얻은 조도값에 약 4배를 곱해 줌으로써 등가모래알 조도를 구할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 정량적인 결론을 위하여는 보다 많은 실험자료가 요구된다.

#### 4.2 엘보우

PVC로 만든 국산 90도 엘보우의 미소손실계수 K를 측정하여 그 값을 Fig.5에 표시하였다. 호칭 관지름 16, 25, 및 40mm의 경우에 모두 레이놀즈수가 증가할 때 손실계수는 감소하는 경향을 볼 수 있다.

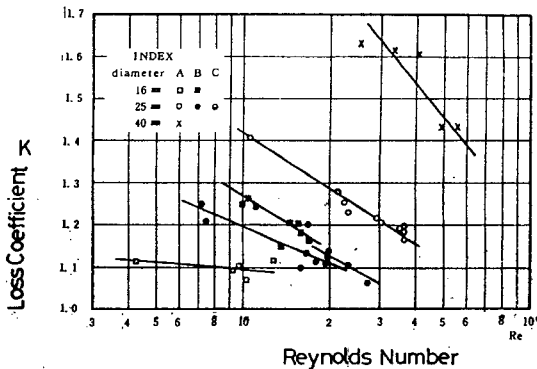


Fig. 5. Friction Loss Coefficient for Domestic PVC 90° Elbows

이 경향은 참고문헌 [7]의 금속제 엘보우의 경우와 일치한다. 참고문헌 [12]에서는 90도 표준 엘보우의 미소 손실계수 값으로 1.5를 추천하고 있으며, 본 실험의 결과는 이 값이 안전계수를 고려한 값을 보여 주고 있다.

#### 4.3 티 이

Fig. 6은 KS 3402의 규격에 따라 PVC로

만든 호칭지름 25mm의 티이형 관을 접합한 관로계에서 실험한 결과를 참고문헌 [7]의 경우와 함께 나타낸 것이다. 티이형 배관부품의 형상은 Fig. 6에 나타낸 것과 같으며, 이때 접합되는

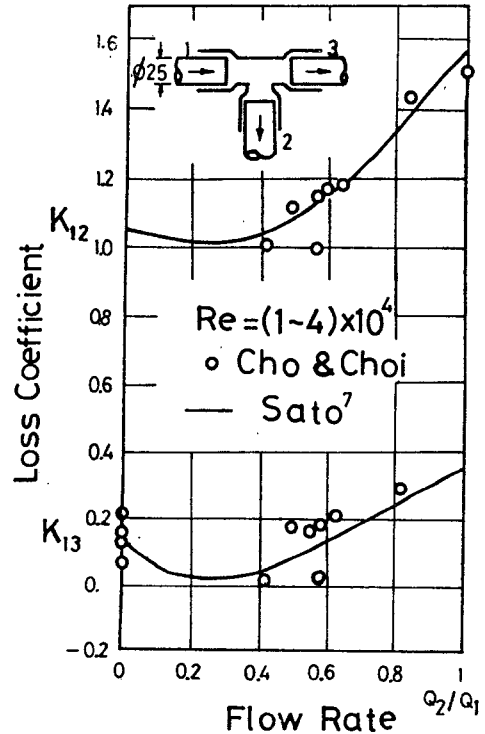


Fig. 6. Loss Coefficient for PVC Tee

깊이에 따라 미소 손실계수의 값은 달라질 수 있으나 본 실험에서는 KS 규격에 따라 충분히 깊게 결합한 경우에 해당된다. 미소 손실계수의 값은 유량비와 레이놀즈수의 함수이며, 본 실험의 레이놀즈수의 범위는  $10^4 \sim 4 \times 10^4$ 로서 그 영향을 관찰하기에는 그 범위가 너무 좁아서 유량비의 효과만을 Fig. 6에 표시하였다. 티이의 미소 손실계수값은 유량비가 중간값인 0.3~0.4 범위에서 최소값을 가지며, 이것은 참고문헌 [7]의 결과와 일치한다.

#### 5. 결론

국산 KS 표시허가 PVC 배관부품의 마찰손실

측정 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

가. PVC 직관의 조도는 매끄러운 관에 가까우며, 설계시의 등가상대조도값은 식(8)에 의하여 구하고, Moody선도 또는 Colebrook 공식(식(4))을 사용하여 관마찰계수를 구할 수 있다.

나. PVC로 만든 엘보우의 미소손실 계수는 레미놀즈수가 증가함에 따라 약간 감소하며 (Fig.

5), 설계시의 엘보우 미소 손실계수는 1.5로 사용하면 안전하다.

다. PVC로 만든 티의 미소 손실계수는 유량비에 따라 Fig.6과 같이 변화한다.

라. 관의 등가모래알 조도는 조도계로 측정 한 r.m.s 조도값의 4배를 하여 근사적으로 구할 수 있다.

#### 후 기

본 논문은 아산사회복지사업재단의 1982년도 연구비 지원에 의하여 연구된 것으로서 이에 관계자 여러분께 감사드립니다. 본 연구의 실험을 도와준 최금수군에게 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. Swim, W. B., "Friction factor and roughness for airflow in plastic pipes", ASHRAE Research Project Report No. RP-245, 1981
2. Nikuradse, J., "Laws of turbulent flow in rough pipes," NACA TM 1292, 1950.
3. Colebrook, C.F., "Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between the smooth and rough pipe laws," J. Inst. Civil Eng., London, V.11, p.133, 1938-1939.
4. Benedict, R.P., Fundamentals of Pipe Flow, John Wiley & Sons, New York, Chapter 6, 1980.
5. Haaland, "Simple and explicit formulas for the friction factor in turbulent pipe flow," ASME, J. of Fluids. Eng. V. 105, P:89-90, 1983.
6. Moody, L.F., "Friction factors for pipe flow," Trans. ASME, V. 66, p. 671-684, 1944.
7. 日本機械學會, 管路・ダクトの流體抵抗 1979.
8. ASHRAE, Handbook, 1972 Fundamentals, p.89, 1972
9. 조성환, 최진희, "PVC배관부품의 마찰손실에 관한 연구," 아산재단 연구보고서, 1984.
10. Jeppson, R.W., Analysis of Flow in Pipe Networks, Ann Arbor Science, Ann Arbor, p.31, 1976.
11. Chasis, D.A., Plastic Piping Systems, Industrial Press Inc., New York, Chapter 2, 1976.
12. Hydraulic Institute, Pipe Friction Manual, 1970.