

현장여건에 따른 터빈 유량계와 오리피스 유량계의 정확도 비교

안승희* · 허재영*

A Comparison of Accuracy Between a Turbine and an Orifice Meter in the Field

Seung-Hee An*, Jae-Young Her*

Key Words: Diameter Ratio(관직경비, $\beta=d/D$), Turbine Meter(터빈 유량계), Orifice Meter(오리피스 유량계),
Natural Gas(천연가스)

ABSTRACT

Orifice flow meters are frequently used for measuring gas flow in gas industry. However, to insure the accuracy of the measurement, a certain length of the meter run at the upstream of the flow meter is required. The objective of this study is to analyze flow measurement errors of the orifice flow meter quantitatively for shorter lengths of the meter runs than those suggested in the standard manuals with variation of diameter ratio (β ratio) and flow rate.

The test results showed that the flow measurement errors of the orifice meter were inversely proportional to the diameter ratio. In other words, when the diameter ratio is 0.3 and 0.7, the measurement error is -7.3 % and -3.5 %, respectively. the main reason of the measurement error is due to the swirl effect from the configuration of the meter run at the upstream of the flow meter. In case the length of the meter run is shorter than that suggested in the standard manuals, the swirl effect is not removed completely and it affects the flow meter's performance. As mentioned above, the less the pipe diameter ratio, the more the flow measurement error. It means that the swirl effect on the orifice meter increases as the β ratio decreases

1. 서 론

현재 KOGAS(한국가스공사)는 발전소, 도시가스사, 기아 자동차 및 서울냉열에 천연가스를 공급하고 있으며, 주 거래용 유량계로 오리피스 유량

계를 사용하고있다. Table 1은 연도별 발전소 및 도시가스사의 천연 가스 수요를 나타낸 것으로 KOGAS가 천연가스를 공급하기 시작한 초창기에는 공급 물량의 대부분이 도시가스사 보다는 발전소로 편중되어 공급되었기 때문에 도시가스사 공급 물량은 많지 않았다. 공급 물량이 작은 초창기에는 오리피스 유량계의 단점(1. 작은 유량비

* 한국가스공사 연구개발원 유체계량연구실

(3:1), 2. 긴 직관부 길이 필요)이 크게 부각되지 못했으나 점점 공급 물량이 많아지면서 문제점이 크게 부각되기 시작했다.

특히 도시가스사에만 천연가스 공급을 하고 있는 공급관리소의 경우, 도시가스사와 발전소 양쪽 모두에게 천연가스를 공급하고 있는 공급관리소 경우보다 공급관리소의 부지 운영 형편이 좋지 않기 때문에 그 심각성이 더욱 컸다(KOGAS에서는 발전소와 도시가스사로 천연가스를 공급하고 있는 공급관리소와 도시가스사에만 천연가스를 공급하고 있는 공급관리소로 운영되고 있음).

KOGAS는 거래용 유량계로 거의 대부분 오리피스 유량계(일부 공급관리소에서 사용중인 극소수의 터빈유량계 제외)를 이용하여 발전소 및 도시가스사와 물량정산을 하고 있었으나 상기에서 언급한 바와 같이 오리피스 유량계의 단점이 부각되기 시작하면서 수율관리에 관심이 고조되기 시작했으며 오리피스 유량계의 대체 유량계를 고려하게 되었다.

이에 따라 KOGAS 연구개발원에서는 '93년도에 "천연가스 유량계 특성 실험 및 시스템 개선 연구"2) 과제를 수행하여, 수도권 지역에서 상기 문제점이 심각해질 것으로 예측하였고, 볼텍스 유량계, 터빈 유량계 등 여러 가지 유량계를 검토한 바 있으며, 그 중 대체 유량계로 가능성이 가장 높은 유량계로 터빈 유량계를 고려하게 되었다. '95년도에는 "천연가스 계량 및 검교정 설비 구축에 관한 타당성 조사"3) 과제를 수행하여 대유량 터빈 유량계를 국내에서도 검교정 할 수 있는 기초를 다지게 되었다. 이 실험연구의 목적은 터빈 유량계를 거래용 유량계로 사용하기 전에 실제 오리피스 유량계와 터빈 유량계를 실제로 천연가스가 흐르고 있는 현장에 설치하여 직관부 길이가 충분하지 않은 조건하에서 유량측정 정확도를 비교하고자 한 것이며 향후 계량오차가 작은 유량계를 거래용 유량계로 권고하고자 한 것이다.

2. 실험

2.1. 기본식

오리피스 유량계와 터빈 유량계의 기본식은 각각 다음과 같다.

Table 1 The Yearly Demand Status of Power Plant and City Gas¹⁾ (Unit : kton)

Year	Power Plant	City Gas	Total
1987	1,525	76	1,601
1988	1,888	184	2,072
1989	1,648	352	2,000
1990	1,719	576	2,295
1991	1,780	879	2,659
1992	2,225	1,256	3,481
1993	2,518	1,848	4,366
1994	3,329	2,477	5,806
1995	3,562	3,414	6,976
1996	4,623	4,561	9,184
1997	5,377	5,770	11,147

오리피스 유량계⁴⁾

$$Q_m = C \times A \times \epsilon \times E \times \sqrt{2\Delta P \rho_1} \quad (1)$$

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho_1} \quad (2)$$

Q_m : 질량유량(kg / s)

Q_v : 체적유량(m³ / s)

C : 유출계수

A : 오리피스 단면적(m²)

ϵ : 팽창계수

E : 근접속도계수(= $1/\sqrt{1-\beta^4}$)

β : 관직경비(d/D)

d : 오리피스 직경(m)

D : 배관직경(m)

ΔP : 차압(Pa)

ρ_1 : 상류측 밀도(kg / m³)

터빈 유량계⁵⁾

$$Q_v = V_f / t \quad (3)$$

$$V_f = N \times 1 / K \quad (4)$$

Q_v : 유량(m³ / s)

V_f : 일정시간동안 흐른양(m³)

K : 유량계 특성값(펄스 / m³)

N : 총펄스값

t : 시간(s)

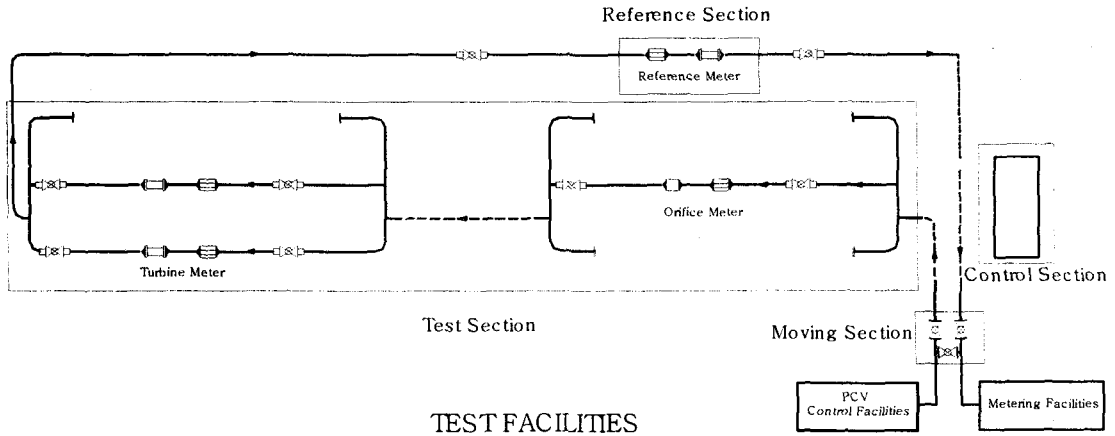


Fig. 1 Schematic diagram of test facilities

2.2. 실험장치 및 방법

2.2.1. 실험장치

Fig. 1 에서 보는 것처럼 본 실험 설비는 크게 4 개의 부위로 나누어 볼 수 있다.

1. 구동부위(Moving Section)
2. 실험부위(Test Section)
3. 기준유량계 부위(Reference Section)
4. 설비제어부위(Control Section)

구동부위 경우 Fig. 1에서 보는 바와 같이 바이패스 쪽에 설치된 16" MOV 1대와 실험설비의 입구와 출구 쪽에 설치된 8" MOV 2대로 구성되어 있다. 16" MOV는 밸브의 개구 크기를 조절할 수 있도록 만들었고, 8" MOV 2대는 밸브의 개구 크기를 조절할 수 없고, 다만 완전히 열고 닫히도록만 만들어져 있다. 실험을 하지 않는 평상시에는 16" MOV가 완전히 열린 상태로 가스가 통과하게 되어 있고, 8" MOV 2대는 완전히닫힌 상태로 되어 있어 실험설비 쪽으로는 가스가 전혀 흐르지 않는다. 실험을 할 때는 8" MOV 2대를 완전히 열고 16" MOV의 개구의 크기를 조절하여 실험설비 쪽으로 흘러보내는 가스의 양을 조절한다. 실험부위 경우 오리피스 유량계(1대), 터빈 유량계(2대), 전송기기류(온도계, 압력계, 차압계 등) 및 볼밸브(6") 등으로 구성되어 있다.

오리피스 유량계 경우, 직관부 전단길이는 17D이고, 후단 길이는 7D이며, 온도계는 오리피스 유량계 후단 쪽 4D 떨어진 곳에 설치하였다. 오리피스 플레이트의 관직경비($\beta = d/D$)는 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7까지 5가지이고, 계측기기류는 온도전송기와 압력전송기, 차압전송기를 사용하였다. 온도전송기(TT)의 정확도는 $\pm 0.1\%$ 이고, 온도센서는 Pt 100 Ω 이며 길이가 80 mm이다. 온도 응답을 빠르게 하기 위하여, Thermo Well안에 Silicone 오일을 일정량 집어넣었다.

압력전송기(PT)의 압력 측정범위 및 교정범위는 0 ~ 15 bar이고, 정확도는 $\pm 0.1\%$ 이다.

차압전송기(DPT)는 측정범위가 각기 다른 2대를 동시에 사용하는데, 차압 교정 범위는 Low측이 0 ~ 150 mbar이고, High측이 0 ~ 500 mbar이다. 모든 계측기기들은 한국표준과학연구원에서 교정검사를 받아왔으나 실험이 착수되기까지 7개월이 지난 관계로, KOGAS 연구개발원의 교정검사실로부터 재교정검사를 받아 실험에 착수하였다.

터빈 유량계는 2가지 모델을 사용하였고, 이중 A 모델은 기존에 사용되던 범용적인 형태의 터빈 유량계이며, B 모델은 최근 ISO 99516)에서 요구하는 교란 실험(Perturbation Test)에 통과하기 위하여 제작된 것으로, 다공판 형태의 스트레이너가 몸체에 내장된 터빈 유량계이다. 터빈 유량계의 모든 설치조건은 ISO 9951을 따랐으며, 직관부 길이는 비교 대상인 오리피스 유량계와 동

일하게 설치하였다. 테스트용으로 사용된 터빈 유량계의 전단부 길이는 오리피스 유량계의 전단 직관부

길리와 같고, 온도계는 터빈 유량계로부터 후단 직관부 방향으로 4D 위치에 설치하였다. 압력은 터빈 유량계 몸체로부터 측정된다.

실험에 사용된 터빈 유량계(테스트용 2대, 기준기용 1대)의 최대 유량은 실제 유량으로 1,600 m³/h으로, 네덜란드의 국가표준연구소(NMI)로부터 천연가스를 이용 8 bar에서 교정검사를 표준용으로 받아왔으며, 그 오차의 정확도는 ± 0.3 % 이다.

기준 유량계 부위 경우, 기준 유량계로 터빈 유량계를 사용하였다. 스트레이트너(Tube Bundle 형태) 및 온도계 설치 조건을 규격서(ISO 9951, AGA Report No.7)에 언급된 조건과 부합하도록 설치하였으며, 압력 측정은 터빈 유량계 몸체에서 이루어졌다. 스윙 같은 유동 현상으로 기인되는 계량오차를 줄이기 위하여 직관부 길이를 규격서에 언급된 길이보다 훨씬 길게 설치하여(30D) 관내유동이 충분히 정류가 되도록 설치하였다.

설비제어부위 경우, 유량컴퓨터 시스템과 유량컨트롤 시스템 및 전원장치시스템 등으로 구성되어 있다.

2.2.2 실험방법

실험은 크게 오리피스 유량계와 B 모델 터빈 유량계의 계량 정확도 비교 실험, 오리피스 유량계와 A 모델 터빈 유량계의 계량 정확도 비교 실험으로 나누어 수행하였다.

오리피스 유량계와 B 모델 터빈 유량계의 정확도 비교 실험 경우, 실험을 하기 전에 다른 테스트 라인(A 모델 터빈 유량계가 설치되어 있는 라인)의 전후단에 설치되어 있는 6" 수동밸브를 잠그고 B 모델 터빈 유량계가 설치되어 있는 테스트 라인만 열어둔 상태로 유지한다. 따라서 천연가스가 오리피스 유량계, B 모델 터빈 유량계를 지나고 기준유량계를 거친 다음 거래용 유량계(오리피스 유량계)가 있는 KOGAS의 계량설비로 흘러가도록 하였다.

Table 2는 실험에 이용된 유량 및 관직경비의 여러 가지 실험조건으로, 한가지의 관직경비(β)를

Table 2 Flowrate and Beta ratio(β)

Flowrate (Nm ³ /h)	Beta ratio (β)
1,500	0.3
3,040	
4,560	0.4
6,080	
7,600	0.5
9,120	
10,640	0.6
12,160	
	0.7

선택한 다음 15분 ~ 20분 간격으로 유량을 증가시키면서 실험을 하였다.

오리피스 유량계와 B 모델 터빈 유량계의 정확도 비교 실험 경우, 상기 테스트 경우와 같이 실험조건을 같이하고 라인만 바꾸어 실험을 하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 실험결과

3.1.1 오리피스 유량계와 B 모델 터빈 유량계의 정확도 비교 실험

수용가인 도시가스사에 천연가스가 공급되는 현장 여건을 그대로 유지하면서 실험이 이루어졌기 때문에 원하는 유량을 일정하게 유지하는 것이 어려웠고 따라서 특정 유량 권역에서 비교가 이루어졌다. Fig. 2에서 Fig. 6까지는 실험결과를 나타낸 것으로 유량에 따라 기준기에 대한 테스트 유량계의 상대오차를 나타낸 것이다. Fig. 2는 $\beta = 0.3$ 에서 실험한 결과로, Fig. 2에서 오리피스 유량계의 오차(Error%)=(오리피스 유량 / 기준기 유량 - 1)*100)는 Q = 3,700 Nm³/h에서 최대 = -7.2 %를 보여주었으며, 유량증가에 따른 오차 증가는 거의 변화가 없었다.

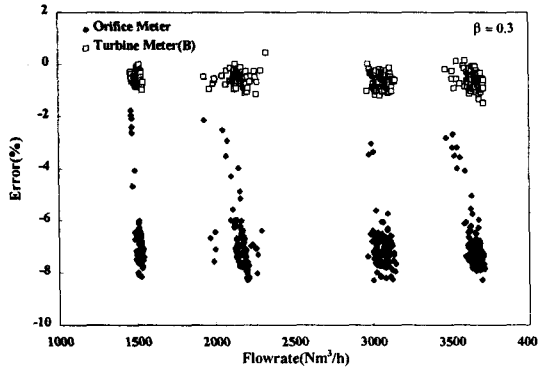


Fig. 2 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.3$

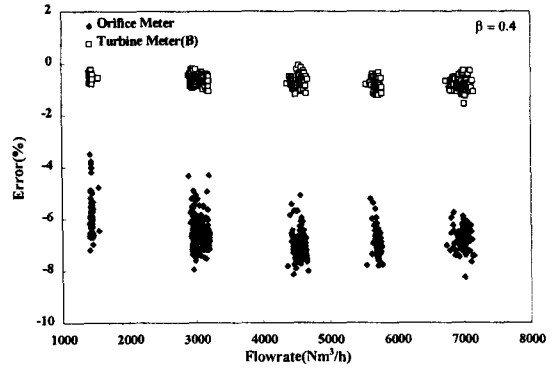


Fig. 3 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.4$

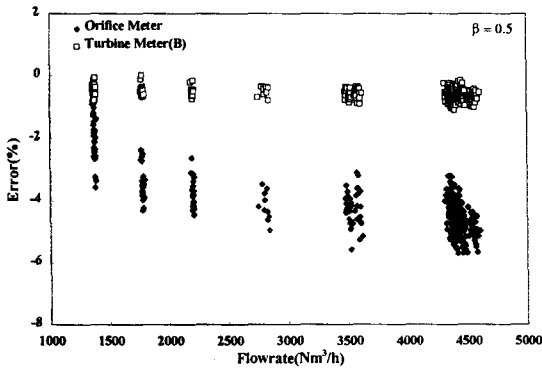


Fig. 4 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.5$

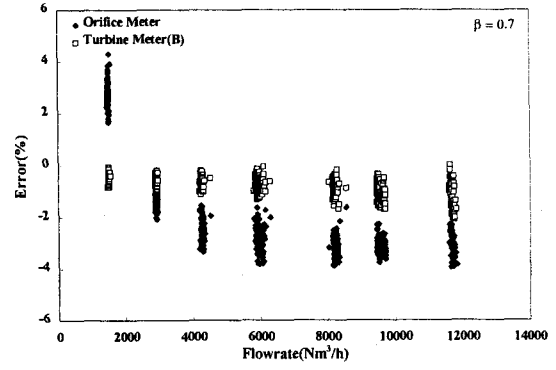


Fig. 6 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.7$

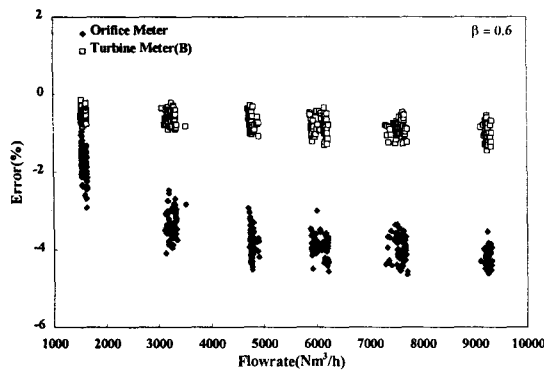


Fig. 5 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.6$

또한 Fig. 2에서 보는 바와 같이 오차가 다른 관직경비의 오차보다 더 크게 나타난 것을 볼 수 있는데, 그 원인은 배관내에 발생된 유동 현상(스월)때문이다. 동일 평면상에 있지 않은 두 개의 곡관부 구조는 관내에 흐르는 유체에 스월을 발

생시키는 대표적인 구조이며, 본 실험 설비도 전 단부(실험부위)의 배관구조가 동일 평면상에 있지 않는 두 개의 곡관부 배관 구조로 되어 있다. 스월이 배관내에 존재하여 오리피스를 통과하게 되면, 스월이 없을 때 보다 유체의 압력회복이 빨라져 차압이 작게 측정되고, 작게 측정되는 차압은 미계량을 유발한다. 스월이 클수록 압력회복이 빨라지고 계량오차에 주는 영향은 커지며, 같은 크기의 스월이라도 직경비가 작을수록 그 영향은 증가한 것으로 알려져 있다. 한편, $\beta=0.3$ 에서 실험할 때 다른 관직경비($\beta=0.4 \sim 0.7$)를 이용하여 실험을 했을 때 보다는 배관 내에서 천연가스 흘러가는 소리가 요란했으며, 배관진동도 더 크게 있었다(현장에서 청각 및 손으로 확인함).

B 모델 터빈 유량계의 경우는, Fig. 2에서 보는 바와 같이, 3,700 Nm³/h에서 오차가 -0.6% 정도였다. 또한 오리피스 유량계에 비하여 데이터들이 한 부분에 집중적으로 나타나 있는 것을 볼

Table 3 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.3$

유량 (Nm ³ /h)	오리피스 유량계 오차(%)	터빈 유량계(B) 오차(%)
1,514	-7.0	-0.5
2,152	-7.3	-0.6
3,058	-7.2	-0.6
3,644	-7.2	-0.6

Table 4 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.4$

유량 (Nm ³ /h)	오리피스 유량계 오차(%)	터빈 유량계(B) 오차(%)
1,442	-5.8	-0.5
3,048	-6.5	-0.6
4,535	-7.0	-0.7
5,710	-6.9	-0.8
6,980	-6.8	-0.9

Table 5 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.5$

유량 (Nm ³ /h)	오리피스 유량계 오차(%)	터빈 유량계(B) 오차(%)
1,376	-2.0	-0.5
1,782	-3.4	-0.5
2,204	-3.8	-0.5
2,809	-4.2	-0.5
3,540	-4.3	-0.6
4,426	-4.6	-0.7

수 있으며, 또한 터빈 유량계의 오차가 오리피스 유량계의 오차 보다 상당히 작은 것을 볼 수 있다. 이것은 직관부 길이가 열악한 곳에서 터빈 유량계가 오리피스 유량계에 비해 훨씬 정밀하고 정확한 계량을 한다는 것을 보여 주고 있다. Table 3은 유량에 따른 오차를 나타낸 것으로, Fig. 2에서 보여주고 있는 수많은 데이터들을 평균하여 나타낸 것이다.

Fig. 3은 $\beta = 0.4$, 유량범위를 1,500 Nm³/h ~ 7,000 Nm³/h까지 실험한 결과이며, 최대유량(7,000 Nm³/h)에서 오리피스 유량계의 오차는 -6.8 % 정도였다. 오차가 $\beta = 0.3$ 보다 작은 것을 볼 수 있지만, 여전히 오리피스 유량계 오차가 터빈 유량계 오차보다 크다는 것을 알 수 있었다.

Table 6 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.6$

유량 (Nm ³ /h)	오리피스 유량계 오차(%)	터빈 유량계(B) 오차(%)
1,583	-1.7	-0.5
3,257	-3.3	-0.6
4,772	-3.8	-0.7
6,068	-3.9	-0.8
7,571	-3.9	-0.9
9,252	-4.2	-1.0

Table 7 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.7$

유량 (Nm ³ /h)	오리피스 유량계 오차(%)	터빈 유량계(B) 오차(%)
1,506	2.7	-0.5
2,925	-1.2	-0.6
4,289	-2.4	-0.6
5,968	-2.8	-0.8
8,251	-3.5	-0.9
9,573	-3.1	-1.0
11,709	-3.1	-1.2

또한 Fig. 3에서 보는 바와 같이, 유량이 증가함에 따라 오차가 증가하다가(-오차방향으로) 일정한 유량에 이르면($\beta = 0.4$, 4,500 Nm³/h) 오차가 거의 일정해지는 것을 볼 수 있다. Table 4는 유량에 따른 오차를 나타낸 것으로, Fig. 3에서 보여주고 있는 수많은 데이터들을 평균하여 구한 수치를 나타낸 것이다. Fig. 4 ~ Fig. 6까지는 $\beta = 0.5 \sim 0.7$, 유량범위를 1,500 Nm³/h ~ 12,000 Nm³/h까지 실험결과이며, 이미 상기의 관직경비(β)에서 설명한 것과 같이 비슷한 현상을 나타내고 있으나, 관직경비가 클수록 오차가 감소하고 있음을 보여주고 있다. Table 5 ~ 7까지 또한 유량에 따른 오차를 나타낸 것으로, Fig. 4 ~ 6까지 보여주고 있는 수많은 데이터들을 평균하여 구한 수치를 나타낸 것이다.

3.1.2 오리피스 유량계와 A 모델 터빈 유량계의 정확도 비교 실험

본 실험은 상기의 실험에서와 같이 동일한 오리피스 유량계와 다른 터빈 유량계 형태인 A 모

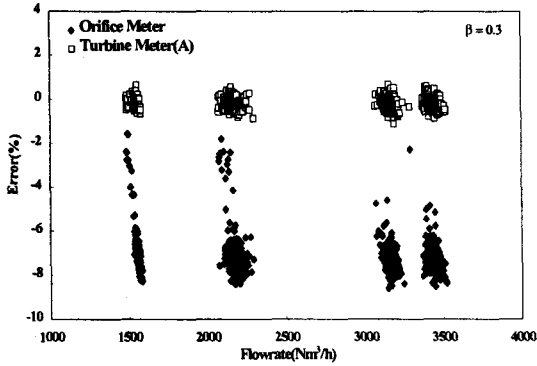


Fig. 7 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.3$

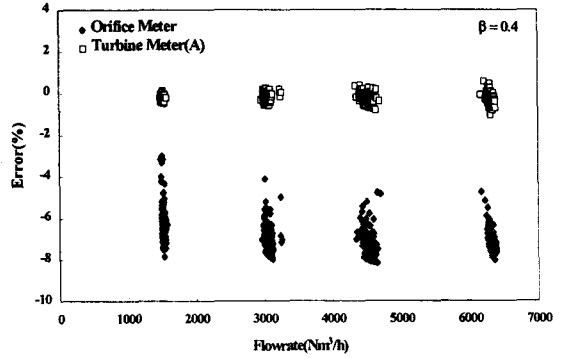


Fig. 8 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.4$

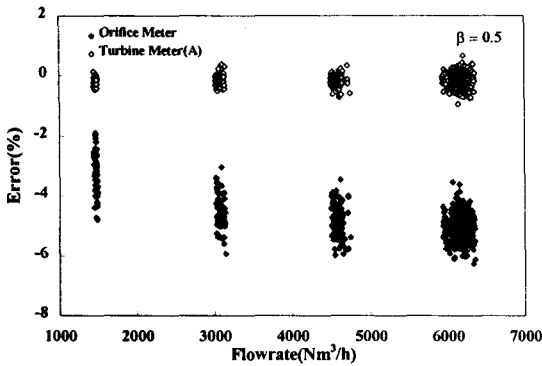


Fig. 9 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.5$

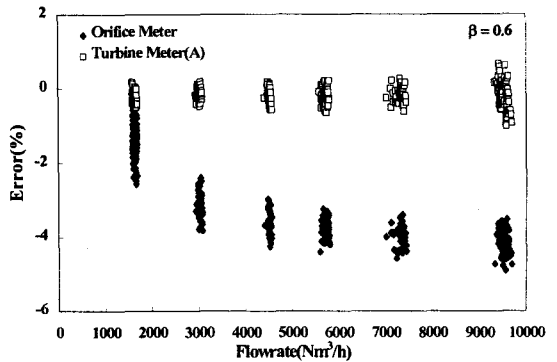


Fig. 10 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.6$

델을 이용한 정확도 비교 실험이다. 실험방법은 오리피스 유량계와 B 모델 터빈 유량계의 정확도 비교 실험한 것과 같이 동일한 방법으로 실시하였다.

Fig. 7 ~ 11은 기준 유량계를 기준으로, 오리피스 유량계와 A 모델 터빈 유량계의 정확도 비교 실험 결과를 나타낸 것이다. 모든 관직경비($\beta=0.3 \sim 0.7$)에서의 실험 결과, 오리피스 유량계와 B 모델 터빈 유량계의 정확도 비교 실험한 결과의 추이와 거의 같다는 것을 알 수 있다. 오리피스 유량계 경우는 오차가 거의 비슷하나 터빈 유량계 경우 A 모델 터빈 유량계가 B 모델 터빈 유량계보다 더 정확한 것으로 실험 결과 보여주고 있다. A 모델 터빈 유량계 경우 유량에 관계없이 오차 $-0.1\% \sim -0.2\%$ 이내의 정확도를 보여 주고 있으나, B 모델의 터빈 유량계 경우는 유량에 따라 오차가 $-0.5\% \sim -1.2\%$ 까

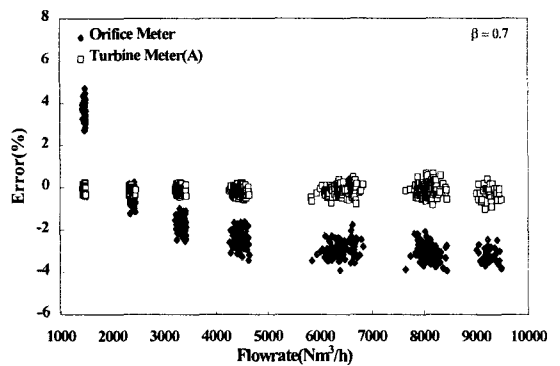


Fig. 11 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.7$

지 차이가 있었으며, 그 차이는 유량에 따라 증가함을 보여주고 있다. 한편, 두 터빈 유량계 사이의 오차 차이는 대체적으로 $-0.4\% \sim -1.0\%$ 정도였다.

Table 8 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.3$

유량 (Nm ³ /h)	오리피스 유량계 오차(%)	터빈 유량계(A) 오차(%)
1,552	-7.1	-0.2
2,168	-7.3	-0.2
3,164	-7.3	-0.2
3,436	-7.3	-0.2

Table 9 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.4$

유량 (Nm ³ /h)	오리피스 유량계 오차(%)	터빈 유량계(A) 오차(%)
1,524	-6.2	-0.2
3,078	-7.0	-0.2
4,526	-7.2	-0.2
6,374	-7.1	-0.3

Table 10 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.5$

유량 (Nm ³ /h)	오리피스 유량계 오차(%)	터빈 유량계(A) 오차(%)
1,472	-3.3	-0.2
3,078	-4.5	-0.1
4,593	-4.8	-0.2
6,176	-5.1	-0.2

Table 8 ~ 12도 유량에 따른 오차를 나타낸 것으로, Fig. 7 ~ 11까지 보여주고 있는 수많은 데이터들을 평균하여 구한 수치를 나타낸 것이다.

4. 결 론

본 연구는 KOGAS의 한 공급관리소 현장에서 수행한 것으로 터빈 유량계의 실험 최대유량(12,160 Nm³/h), P = 9.5 bara과 관직경비 $\beta = 0.3 \sim 0.7$ 범위 내에서 실험이 이루어졌다. 실험을 할 때는 공급관리소의 안전운동을 위하여, 언제나 공급관리소에 근무하는 운전원들과 같이 실험을 하였으며, 그 실험 결과에 대한 결론은 다음과 같다.

첫 번째 터빈 유량계 경우,

Table 11 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.6$

유량 (Nm ³ /h)	오리피스 유량계 오차(%)	터빈 유량계(A) 오차(%)
1,645	-1.4	-0.2
3,033	-3.2	-0.1
4,527	-3.6	-0.2
5,733	-3.8	-0.2
7,322	-4.0	-0.2
9,521	-4.2	-0.2

Table 12 Error of orifice meter and turbine meter, $\beta=0.7$

유량 (Nm ³ /h)	오리피스 유량계 오차(%)	터빈 유량계(A) 오차(%)
1,473	3.6	-0.2
2,389	-0.5	-0.1
3,328	-1.9	-0.2
4,472	-2.4	-0.2
6,440	-2.9	-0.1
8,083	-3.0	-0.1
9,257	-3.2	-0.2

- 1) A 모델 터빈 유량계는 유량 및 관직경비에 상관없이 거의 오차가 없었으며, 기준기와의 오차는 - 0.1 ~ -0.2 % 이하로 가장 정확한 계량을 보여주었다.
- 2) B 모델 터빈 유량계는 A 모델 터빈 유량계보다 정확하지는 않지만 오리피스 유량계 보다 상당히 정확한 계량을 하였고, 기준기와의 오차는 - 0.5 % ~ -1.2 % 이하로 유량이 증가할 때 오차도 증가하였다.
- 3) 터빈 유량계를 설치할 경우 가능하면, 직관부를 최대한 길게 설치하여야 한다.

두 번째 오리피스 유량계 경우

- 1) 관직경비(β)가 작을수록 큰 오차가 있었다.
 - $\beta = 0.3$ 일 때 최대 -7.3 %
 - $\beta = 0.4$ 일 때 최대 -7.0 %
 - $\beta = 0.5$ 일 때 최대 -4.6 %
 - $\beta = 0.6$ 일 때 최대 -4.2 %
 - $\beta = 0.7$ 일 때 최대 -3.5 %

- * 실험 유량범위가 다르지만, $\beta = 0.3$ 일 때 최대 유량이 3,500 Nm³/h이고, $\beta = 0.7$ 일 때 최대 유량이 12,160 Nm³/h임을 감안한다면 관지경비(β)의 영향은 상당히 크다고 하겠다.
- 2) 유량이 증가할수록 오차가 증가(- 방향으로) 하다가, 대체적으로 차압이 30 mbar 이상의 유량에 이르러서는 오차 감소가 둔화되었고, 유량에 따라($\beta = 0.7$ 경우) 오차가 2.3 % 정도의 차이를 보였다.

참고 문헌

- (1) 한국가스공사, 1988 ~ 1998, “천연가스 수요 패턴 분석 자료집”.
- (2) 한국가스공사, 1993.12. “천연가스 유량계 특성 실험 및 시스템 연구”.
- (3) 한국가스공사, 1995.12. “천연가스 계량 및 검교정 설비 구축에 관한 타당성 조사”.
- (4) ISO 5167-1,1991, “Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices”
- (5) AGA Report No. 7, 1996, “Measurement of Gas by Turbine Meter”.
- (6) ISO 9951, 1993, “Measurement of gas flow in closed conduits-Turbine meters”.