

오리피스 유량계와 터빈 유량계의 직관부길이와 유동안정기에 관한 연구

허재영* · 안승희* · 이강진* · 이승준*

A Study of Straight Pipe Length and Straightener in Orifice Meter Turbine Meter

Jae-Young Her*, Seung-Hee An*, Kang-Jin Lee*, Seung-Jun Lee*

Key Words : Diameter Ratio($\beta=d/D$)(관 직경비), Orifice Meter(오리피스 유량계), Straightener(유동안정기), Natural Gas(천연가스).

ABSTRACT

Orifice meters and turbine 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 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 and also to analyze flow measurement errors of the turbine meter with and without straightener.

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, 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

한국가스공사(KOGAS: Korea Gas Corporation)는 2군데의 생산기지(평택, 인천)와 전국적으로 60여 군데의 공급관리소가 운영되고 있으며, 이곳으로부터 13군데의 발전소, 24개의 도시가스사(수도권 7개사, 충청권이남 17개사), 기아 자동차 및 서울냉열에 천연가스

를 직공급하고 있다(2000년 초). Table1은 연도별 발전소 및 도시가스사의 천연가스 수요를 나타낸 것으로 KOGAS가 천연가스를 공급하기 시작한 초창기에는 공급 물량의 대부분이 도시가스사 보다는 발전소로 편중되어 공급되었기 때문에 도시가스사로 공급되는 천연가스 물량은 적은 편이었다.

그러나 Table 1에서 보는 바와 같이 1998년도에 들어오면서 발전소로 공급되는 물량은 줄어들고, 도시가스사로 공급되는 물량은 계속 증가세를 보이며 오히려

* 한국가스공사 연구개발원 유체계량연구실

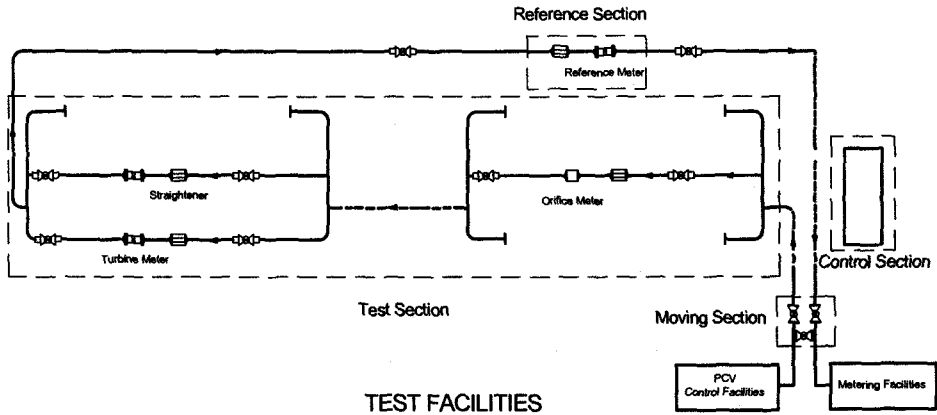


Fig. 1 A schematic diagram of test facilities

초창기 때의 천연가스 공급 양상과 달리 도시가스사로 공급하는 물량이 훨씬 많아지고 있는 실정이다.

도시가스사로 공급되는 물량을 살펴보면 수도권 지역의 천연가스 공급물량이 비수도권 지역의 천연가스 공급물량에 비하여 훨씬 많은 편이다(수도권: 비수도권 = 7:3). 또한 한국가스공사 공급관리소의 계량설비 운영현황을 살펴보면, 수도권지역의 계량설비구조가 비수도권 지역의 계량설비 구조보다 열악한 상태에서 운영되고 있는 실정이다. 천연가스를 공급하기 시작한 초창기에는 공급 물량이 적은 편이어서 오리피스 유량계의 단점(1. 작은 유량비(3:1), 2. 긴 직관부 길이 필요)이 크게 부각되지 못했으나 점점 공급 물량이 많아지면서 그러한 단점이 크게 부각되기 시작했고, 특히 직관부 길이 경우 상당히 열악한 상태에서 운영되고 있다. 이와 같은 이유로 다른 유량계를 거래용 유량계로 사용하고자 하였으나 유량계 및 운영시스템 전체를 교환해야 되고 이에 따른 경제적 부담이 상당히 요구되었다. 따라서 공급관리소에서 운영중인 기존의 오리피스 유량계 운영시스템을 활용하면서 계량정확도 향상 방법을 강구하고자 오리피스 유량계 전단에 유동안정기를 설치하여 연구를 하게 되었다.

2. 실 험

오리피스 유량계의 기본식⁽¹⁾은 다음과 같다.

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

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho_1}$$

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)

Fig. 1 에서 보는 것처럼 본 실험 설비는 크게 4개의 부위로 나누어 볼 수 있다. 구동부위는 16" 라인 과 8" 라인으로 구성되었고, 실험 부위와 기준기 부위는 6" 라인으로 구성되었다.

- 1) 구동부위(Moving Section)
- 2) 실험부위(Test Section) : 터빈 유량계 부위, 오리피스 유량계 부위
- 3) 기준기 부위(Reference Section)
- 4) 설비제어부위(Control Section)

Table 1 The annual natural gas demand of power plants and city gas companies¹²⁾.

(Unit: kton)

Year	Power plants	City gas companies	Total
1987	1,525	76	1,601
1988	1,888	184	2,000
1989	1,648	352	2,072
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	2,451	5,780
1995	3,562	3,417	6,979
1996	4,623	4,581	9,204
1997	5,377	5,770	11,147
1998	4,189	6,233	10,422
1999	4,769	7,886	12,655

Table 2. Flow Rate and Beta Ratio (β)

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

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 닫히도록 만 만들어져있다. 실험을 하지 않는 평상시에는 16" MOV가 완전히 열린 상태로

가스가 통과하게 되어 있고, 8" MOV 2대는 완전히 닫힌 상태로 되어 있어 실험 설비 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), 전송기 기류(온도계, 압력계, 차압계 등) 및 볼 밸브(6") 등으로 구성되어 있다.

실험부위 경우 오리 유량계 부위와 터빈유량계 부위로 나누어볼 수 있다. 먼저 오리피스 유량계 경우, 직관부 전단길이는 17D이고, 후단 길이는 7D로써 한국가스공사의 한 공급관리소의 계량라인을 모델로 구축되었다. 온도측정은 오리피스 유량계 후단 쪽 5D 떨어진 곳에서 측정되었다. 오리피스 플레이트의 관직경비($\beta = d/D$)는 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7까지 5가지이고, 계측기기류는 온도전송기, 압력전송기 및 차압전송기를 사용하였다.

유동안정기는 Tube Bundle Type으로 길이는 2.5D이며, 19개의 작은 Tube들로 구성되어 있다. 유동안정기의 위치는 AGA Report No. 3⁽³⁾를 참조하였으며, 관직경비가 가장 큰 $\beta = 0.7$ 을 기준으로 유량계로부터 전단 쪽으로 7D만큼 거리에 설치하였다. 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 사용하였다. 차압 교정 범위는 Low측이 0 ~ 150 mbar이고, High측이 0 ~ 500 mbar 이다. 모든 계측기기들은 한국표준과학연구원에서 교정검사를 받아왔으나 실험 설비를 완성하는 데까지 장시간(7개월)이 지난 관계로 정확한 계측을 하기 위하여 KOGAS 연구개발원의 국가 교정검사기관으로부터 재교정 검사를 받아 설치하였다.

터빈 유량계는 2가지 모델을 사용하였고, 이중 A 모델은 기존에 사용되던 범용적인 형태의 터빈 유량계이며, B 모델은 최근 ISO 9951에서 요구하는 교란 실험(Perturbation Test)에 통과하기 위하여 제작된 것으로, 다공판 형태의 스트레이트너가 몸체에 내장된 터빈 유량계이다. 터빈 유량계의 모든 설치조건은 비교대상인 오리피스 유량계와 동일하게 설치하였다. 테스트용으로 사용된 터빈 유량계의 전단부 길이는 오리피

스 유량계의 전단 직관부 길이와 같고, 온도측정은 터빈 유량계로부터 후단 쪽으로 5D 떨어진 곳에서 측정되었다. 압력은 터빈 유량계 몸체로부터 측정된다.

유동안정기는 오리피스 유량계 부위에 설치된 것과 같은 형태로 만들어진 것을 사용하였으나 유량계 전단 쪽으로 5D 거리에 설치하였다. 실험에 사용된 터빈 유량계(테스트용 2대, 기준기용 1대)의 최대 유량은 실 유량 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. 온도계 설치 조건은 규격서(ISO 9951⁽⁴⁾, AGA Report No.7⁽⁵⁾)에 언급된 조건을 충족하도록 설치하였으며, 압력 측정은 터빈 유량계 몸체에서 이루어졌다. 스윌 같은 유동 현상으로 발생하는 계량오차를 줄이기 위하여 직관부 길이를 규격서에 언급된 길이보다 충분히 길게 설치하여(30D) 관내유동이 충분히 정류가 되도록 설치하였으며, 또한 Tube Bundle Type의 유동안정기를 유량계 전단 쪽으로 5D 거리에 설치하였다.

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

실험은 크게 현장조건에서, 터빈유량계 전단 쪽에 유동안정기의 유무가 계량정확도에 미치는 영향 연구와 오리피스 유량계의 전단 쪽에 유동안정기의 유무가 계량 정확도에 미치는 영향연구로 나누어 실험을 하였다. 첫 번째 실험 경우, 터빈유량계 전단에 유동안정기 없이 실험을 한 후, 유동안정기를 터빈 유량계 전단 5D지점에 설치하고 실험하였다. 두 번째 실험 경우 오리피스 유량계 전단에 유동안정기 없이 실험을 실시하고, 실험이 완료된 후 유동안정기를 상기에서 언급한 바와 같이 오리피스 유량계 전단 7D 지점에 설치하여 유량의 증가에 따라 실험을 하였다. 본 실험은 한국가스공사의 중동 공급관리소내에 구축된 유량계 현장 비교 실험 설비에서 이루어졌다. 실험할 때의 어려운 점은 유량을 정확하게 조절하기가 어려웠다는 것이다. 본 실험 설비가 이미 구축된 공급관리소의 계량라인(한국가스공사가 도시가스사로 천연가스를 공급하고 있는 계량라인, P = 9.5 bara)을 분기하여 실험설비를 구축하였기 때문에 실험자의 마음대로 유량을 세밀하게 조절할 수 없었고, 공급관리소를 운영하는 운전원의 협조를 받아서 실험을 하는 관계로, 두 실험에

대한 유량을 정확하게 일치시킬 수 없었다. 실험유량은 설비제어실에 구축된 설비 모니터링 화면을 보면서 정압실 후단 By-pass쪽에 설치된 16" 밸브의 개구를 조절하여 유량을 조절하였다. 실험에 사용된 천연가스는 오리피스 유량계를 지나 터빈 유량계를 거치고 최종적으로 기준기를 통과한 후 도시가스사 쪽 공급라인과 접촉한 뒤 도시가스사로 송출되었다. 실험은 각각의 관 직경비에서 15분 ~ 20분 간격으로 유량을 증가시키면서 실험하였다

Table 2는 본 실험에서 계획된 유량 및 관직경비의 실험조건이다. 실험 설비의 현장 여건 때문에 실험한 유량과 다소의 차이가 있었으나 계획된 유량에 크게 벗어나지 않았다.

3. 실험결과 및 분석

실험은 테이블 2에서 보는 바와 같이 일정한 유량을 증가시키면서 이루어졌으나 도시가스사 쪽으로 공급되는 조건을 그대로 유지하여야 하기 때문에 실험 유량을 일정하게 유지하는 것이 어려웠고 따라서 특정 유량 권역에서 실험이 이루어졌다. Fig. 2에서 Fig. 6까지는 실험결과를 나타낸 것으로 유량과 유동안정기 유무에 따라 오리피스 유량계의 상대오차를 나타낸 것이다. Fig. 2는 $\beta = 0.3$ 에서 실험한 결과를 나타낸 것으로 유동안정기가 없을 때, 오리피스 유량계의 오차가 3,661 Nm³/h 유량에서 - 7.2 % 나 차이가 있음을 보여주고 있으며, 유동안정기가 있을 때는 오리피스 유량계의 오차가 3,030 Nm³/h 유량에서 0.4 %를 보여주었다. 유동안정기가 설치됨에 따라 계량오차는 현저히 줄어들었으나, 유량증가에 따른 오차 변화는 유동안정기 유무에 거의 상관없었다.

또한 관직경비(β) = 0.3에서의 오차가 다른 관직경비의 오차보다 더 크게 나타난 것을 볼 수 있는데, 그 원인은 배관 내에 발생된 유동 현상(스윌)의 영향 때문이며, 관직경비가 작을수록 그 영향이 크게 작용했으리라 추측된다. 동일 평면상에 있지 않은 두 개의 곡관부 구조는 관내에 흐르는 유체에 스윌을 발생시키는 대표적인 구조이며, 본 실험설비 경우도 오리피스 유량계 전단부의 배관구조가 동일 평면상에 있지 않은 두 개의 곡관부 배관 구조로 되어있어 스윌을 발생시키기 쉬운 구조로 구축되어 있다. 계량오차의 원인이 스윌 때문에 발생했다고 생각되는 것은 유동안정기를

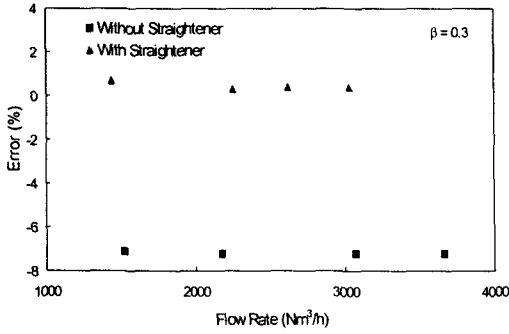


Fig. 2 Error of orifice meter ($\beta = 0.3$)

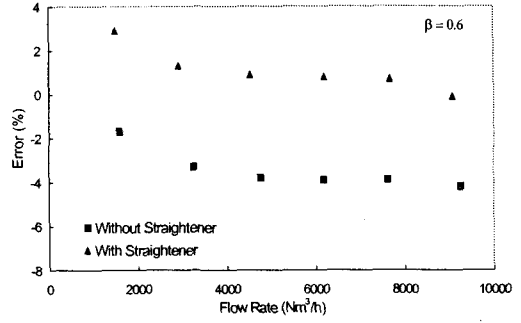


Fig. 5 Error of orifice meter ($\beta = 0.6$)

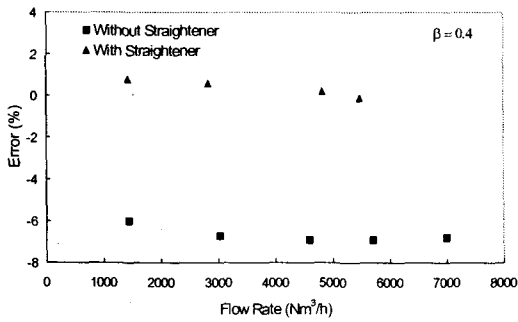


Fig. 3 Error of orifice meter ($\beta = 0.4$)

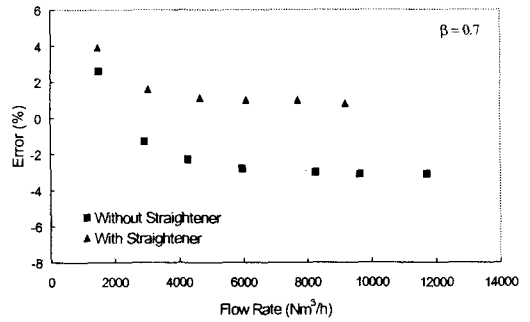


Fig. 6 Error of orifice meter ($\beta = 0.7$)

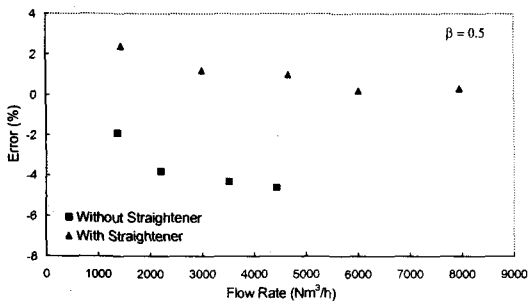


Fig. 4 Error of orifice meter ($\beta = 0.5$)

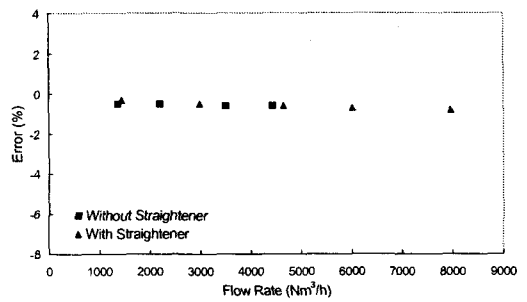


Fig. 7 Error of turbine meter

오리피스 유량계 전단에 설치할 때와 설치하지 않을 때의 유량차이가 많이 있었기 때문이다.

스월이 배관 내에 존재하여 오리피스를 통과하게 되면, 스월이 없을 때 보다 유체의 압력회복이 빨라져 차압이 작게 측정되고, 작게 측정되는 차압은 미계량을 유발하고, 스월이 클수록 압력회복이 빨라지며 계량오차에 주는 영향도 증가하는 것으로 알려져 있다. 한편, $\beta = 0.3$ 에서 실험할 때, 다른 관직경비($\beta = 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$)를 이용하여 실험을 했을 때보다도 배관 내에서 천연가스 흘러가는 소리가 더 컸으며, 배관진동도 더 컸었다(현장에서 청각 및 손으로 확인함).

Fig. 3은 $\beta = 0.4$ 에서 실험한 것으로, 유동안정기가 없을 때 최대유량($7,002 \text{ Nm}^3/\text{h}$)에서 오리피스 유량계의 오차는 -6.8% 정도였으며, 유량이 $4,599 \text{ Nm}^3/\text{h} \sim 5,713 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 일 경우 오차가 -6.9% 나 되었으나, $\beta = 0.3$ 경우의 계량오차와 비교하면 전체적으로 오차가 줄어들었음을 알 수 있었다. 유동안정기가 있을 때, 오리피스 유량계 오차가 최대유량($5,489 \text{ Nm}^3/\text{h}$)에서 -0.1% 였으며, 유량이 증가할수록 오차가 작아져 + 쪽에서 - 쪽으로 변화되는 것을 알 수 있었다. $1,430$ 과 $2,838 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 유량의 경우, $\beta = 0.3$ 에서의 비슷한 유량과 비교해 보았을 때 $\beta = 0.4$ 일 때의 계량오차가 $\beta = 0.3$ 일 때의 계량오차보다 큰 것은 차압계의 특성 때문에 발생된 것으로 생각된다.

Fig. 4, 5, 6은 관직경비($\beta = 0.5, 0.6, 0.7$)에서 실험한 결과를 도식화한 것으로, 실험결과 대체적으로 상기의 관직경비($\beta = 0.3$)에서 설명한 것과 비슷한 현상을 나타내고 있었으며, 유동안정기 유무에 상관없이 관직경비가 클수록 계량오차가 감소하였고, 계량오차의 폭(유동안정기 있을 경우와 없을 경우의 차이)은 점점 줄어들었다.

한편 모든 관직경비($\beta = 0.5, 0.6, 0.7$)에서 다음과 같은 비슷한 현상을 보였다. 즉, 유동안정기의 유무에 상관없이 유량이 증가함에 따라 계량오차 감소 폭이 줄어들다가 일정한 유량에 이르면 그 오차 감소 폭이 거의 일정하였다.

Fig. 7은 유동안정기 유무가 터빈 유량계의 계량정확도에 어느 정도 영향을 주는지 알아보기 위한 실험결과를 나타낸 것으로, 유동안정기의 유무에 상관없이 계량오차가 거의 없음을 보여주고 있으며, 유량이 증가함에 따라 계량오차가 약간 감소하였으나 거의 무시할 정도였다.

4. 결 론

오리피스 유량계의 경우, 유동안정기가 없을 때에는 관직경비(β)가 증가할수록 계량오차가 줄어들었으며, 스월에 대한 영향이 관직경비가 작은 것일수록 컸다.

- $\beta = 0.3$ 일 때 $3,067 \text{ Nm}^3/\text{h} = -7.2\%$
- $\beta = 0.4$ 일 때 $3,033 \text{ Nm}^3/\text{h} = -6.7\%$
- $\beta = 0.5$ 일 때 $3,512 \text{ Nm}^3/\text{h} = -4.3\%$
- $\beta = 0.6$ 일 때 $3,254 \text{ Nm}^3/\text{h} = -3.3\%$
- $\beta = 0.7$ 일 때 $2,926 \text{ Nm}^3/\text{h} = -1.3\%$

유량이 증가할수록 계량오차가 - 쪽으로 증가하였고, 처음에는 큰 증가폭을 보이다가 일정한 유량(차압계의 특성상 차압이 작게 형성되면 오차가 큰 것으로 알려져 있음)에 이르면 그 오차의 증가폭이 둔화되었다.

유동안정기가 있을 때에는 유동안정기가 없을 때와 마찬가지로 유량이 증가함에 따라 오차는 감소하였으나, 관직경비(β)가 증가할수록 계량오차가 - 쪽으로 증가하였다.

- $\beta = 0.3$ 일 때 $3,030 \text{ Nm}^3/\text{h} = 0.4\%$
- $\beta = 0.4$ 일 때 $2,838 \text{ Nm}^3/\text{h} = 0.6\%$
- $\beta = 0.5$ 일 때 $3,000 \text{ Nm}^3/\text{h} = 1.2\%$
- $\beta = 0.6$ 일 때 $2,926 \text{ Nm}^3/\text{h} = 1.3\%$
- $\beta = 0.7$ 일 때 $3,054 \text{ Nm}^3/\text{h} = 1.6\%$

유동안정기가 없을 때보다 있을 때가 계량오차를 크게 줄일 수 있으나 유동안정기 자체가 계량오차를 유발하는 요인인 되고 있음을 알 수 있었다.

유동안정기의 유무에 상관없이 유량이 증가함에 따라 계량오차 감소 폭이 줄어들다가 일정한 유량에 이르면 그 오차 감소 폭이 거의 일정하였다.

터빈 유량계의 경우, 유동안정기의 유무에 상관없이 계량오차가 거의 비슷하였고, 유량이 증가함에 따라 계량오차가 감소하는 경향을 보여주었으나 거의 무시할 정도였다.

참고 문헌

- (1) 1991, ISO 5167-1, "Measurement of fluid

- flow by means of pressure differential devices".
- (2) 한국가스공사, 1988 ~ 1998, "천연가스 수요 패턴 분석 자료집".
 - (3) 1991, AGA Report No. 3, "Orifice Meter of Natural Gas"
 - (4) 1993, ISO 9951, "Measurement of gas flow in closed conduits-Turbine meters".
 - (5) 1996, AGA Report No. 7, "Measurement of Gas by Turbine Meter".