

천연가스 계량설비에서 발생하는 유량 현탕 현상 원인 분석

안승희* · 허재영* · 정종태* · 신창훈*

An Investigation of the Major Factors Relating to the Flow Fluctuation at a Natural Gas Metering Facility

Seung-Hee An*, Jae-Young Her*, Author name*, uthor name*

Key Words : Orifice Meter(오리피스유량계), Turbine Meter(터빈 유량계), Fluctuation(현탕), Metering Accuracy(계량 정확도), Straight Pipe Length(직관부 길이), Signal Transmission Cable Length(케이블 길이)

ABSTRACT

KOGAS(Korea Gas Corporation) has about a hundred of local stations to supply natural gas to the city gas companies and the power stations. As some severe flow fluctuation phenomena are observed in several governor stations, the investigation about the reasons and factors which are relating to flow fluctuation has been started. Some field surveys have been carried out and experimental studies have been performed to find the fluctuation mechanism. As a result, it is found that the flow fluctuation is related with the length of straight pipe in front of the meter, the size of the header pipe and the variation of demand at the city gas company and the power station. Furthermore, it is also proved that both the length of the transmitter cable and the status of the coating of signal transmission cable do not affect flow fluctuation, but the measurement range of the differential pressure transmitter influences flow fluctuation. On the other hand, as the averaging the flow fluctuation is converged to less than 0.1 % in almost all of the cases, it is concluded that the quantity of flow fluctuation do not relates to metering accuracy directly.

1. 서론

가스공사의 도시가스사에 대한 천연가스 공급물량은 도시가스사의 수요에 따라 계절별로 심한 차이를 보이고 있고(발전소에 대한 천연가스 공급물량은 연중 고른 편임), 일부 공급관리소의 계량설비는 부지 협소 때문에 충분한 직관부 길이를 확보하지 못하고 있다. 따라서 천연가스 흐름이 안정적이지 못하고 실시간으로 유량 현탕이 크게 나타나고 있다.

Fig. 1 ~ Fig. 4는 가스공사 공급관리소들의 유량

현탕과 차압 현탕을 실시간으로 나타낸 것으로써, Fig. 1과 Fig. 2가 Fig. 3과 Fig. 4에 비하여 실시간 현탕이 크게 발생되고 있음을 알 수 있다. 이러한 현탕은 유량계를 통하여 얻어진 유량 값이 현탕하고 있다는 것을 나타내고 있고, 관내에 흐르고 있는 천연가스 유동이 불안정하다는 것을 표현하고 있다. 유량 현탕은 유량계가 천연가스의 양을 정확히 계량하는 데 있어서 영향을 줄 수 있기 때문에, 이러한 현상이 왜 발생하는지 원인 분석을 하고, 그 대책을 현장에 적용하여 유량 현탕을 감소시키거나 제거할 필요성이 제기되어 연구를 수행하게 되었다.

* 한국가스공사 연구개발원 현장기술지원센터

E-mail : cupidash@kogas.re.kr

2. 공급관리소 현황

2.1. 계량 설비 직관부 길이 및 헤더 운영 현황

Fig 5는 2002년도 가스공사에서 운영중인 각 사업소의 거래용 유량계 현황을 나타낸 것으로써, 설치 대수를 기준으로 할 때, 오리피스 유량계가 61 % 정도를 차지하고 있고, 나머지 39 % 정도를 터빈 유량계가 차지하고 있지만, 도시가스사 및 발전소 천연가스 공급 물량을 기준으로 할 경우, 오리피스 유량계가 75 % 정도를 담당하고 있다(발전소의 경우 전량 오리피스 유량계를 통하여 계량되고 있음).

이와 같이 공급되는 천연가스는 오리피스 유량계 또는 터빈 유량계를 통하여 계량되고 있으나 두 유량계의 계량 방법이 다르기 때문에 오리피스 유량계를 거래용으로 사용하고 있는 공급관리소와 터빈 유량계를 거래용으로 사용하고 있는 공급관리소를 조사하였다. 유량계가 가스를 정확히 계량하기 위해서 유량계로 들어오는 가스는 정류상태이어야 한다. 따라서 유량계가 정확한 계량을 할 수 있도록 ISO⁽¹⁾, A.G.A.⁽²⁾ 등의 규격서 및 가스공사의 천연가스용 계량설비 기술 기준⁽³⁾에 최소 직관부 길이를 명시하고 있다. 직관부의 최소 길이는 비 정류상태인 가스가 유량계를 통과할 때 정류상태로 되는 거리 조건이다. 최소 직관부 길이는 규격서마다 차이가 있고, 발표된 연구(The Decay of Swirling Gas Flow in Long Pipes)⁽⁴⁾에 의하면 스윙을 수반하는 비정류 유동의 가스(swirl)가 정류유동으로 되기까지 상당히 긴 직관부의 길이가 요구되고 있음을 알 수 있다. 가스공사는 오리피스 유량계의 경우 전단 직관부 길이로 최소 60D 이상을 요구하고 있고, 후단 직관부 길이로 최소 10D 이상을 요구하고 있으며, 또한 터빈 유량계 경우 전단 직관부 길이로 최소 18D 이상을 요구하고 있고, 후단 전단 직관부 길이로 최소 5D 이상을 요구하고 있다. 수치상으로도 알 수 있는 바와 같이 전단 직관부 길이가 후단 직관부 길이보다 상당히 길다는 것을 알 수 있는데 이것은 전단 직관부 길이가 후단 직관부 길이보다 훨씬 중요하다는 것을 말해주고 있으며, 상기의 규격서 등에도 전단 직관부의 길이를 후단직관부의 길이보다 길게 요구하고 있음을 알 수 있다. Table 1은 유량 헌팅과 관련하여 조사 분석한 가스공사 일부 공급관리소들의 유량계 종류, 계량설비 전단 직관부 길이 및 헤더크기를 나타내고 있으며, Fig. 6 - Fig. 9는 연구 수행시 조사한 공급관리소중 일부의 공급관리소의 유량 헌팅을 보여주고 있다. Table 1에서 보는 바와 같이 상기에서 언급되고 있는 계량설비 설치 조건을 기준으로 살펴볼

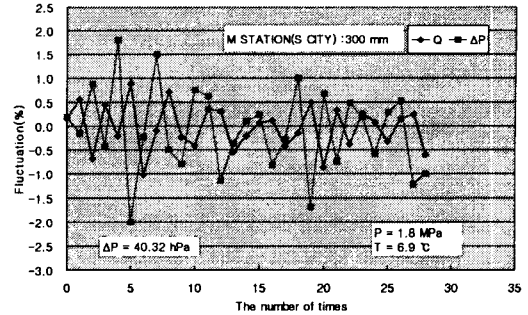


Fig. 1 The fluctuation of the real time flowrate and Differential Pressure (M Station)

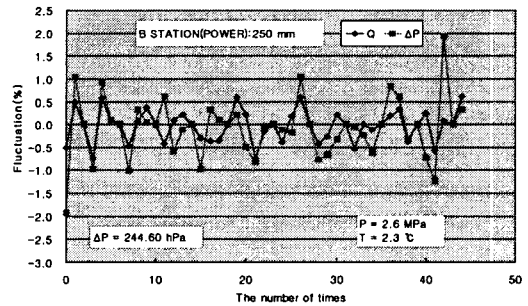


Fig. 2 The fluctuation of the real time flowrate and Differential Pressure (B Station)

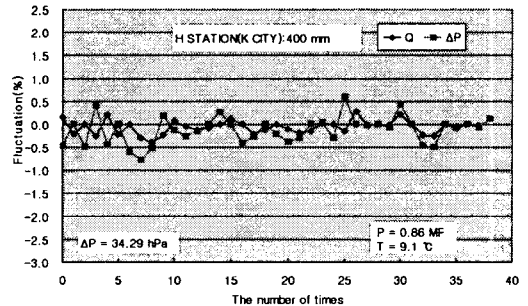


Fig. 3 The fluctuation of the real time flowrate and Differential Pressure (H Station)

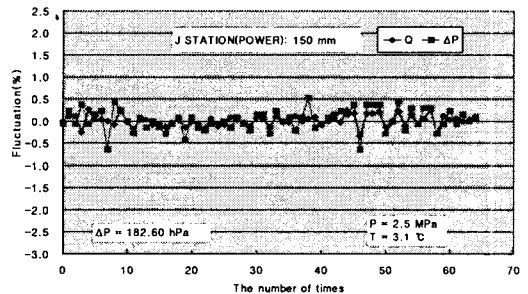


Fig. 4 The fluctuation of the real time flowrate and Differential Pressure (J Station)

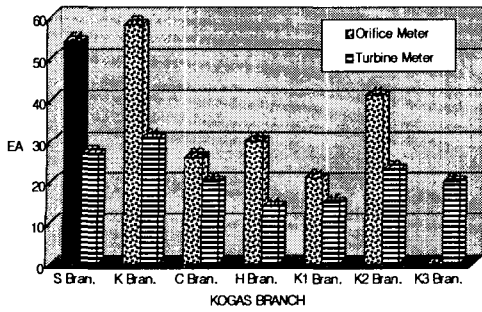


Fig. 5 Situation of the custody transfer meter of KOGAS branches

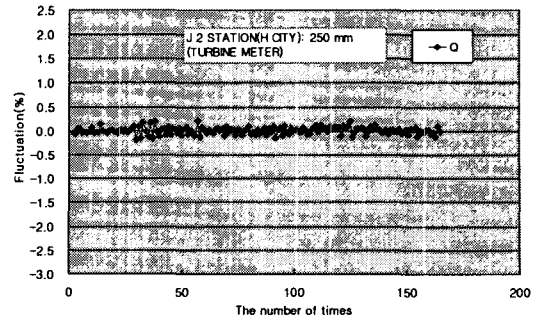


Fig. 9 The fluctuation of the real time flowrate (J2 Station)

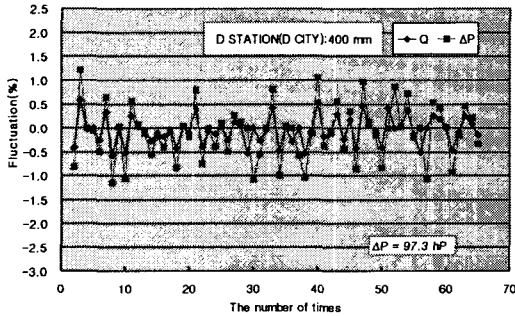


Fig. 6 The fluctuation of the real time flowrate and Differential Pressure (D Station)

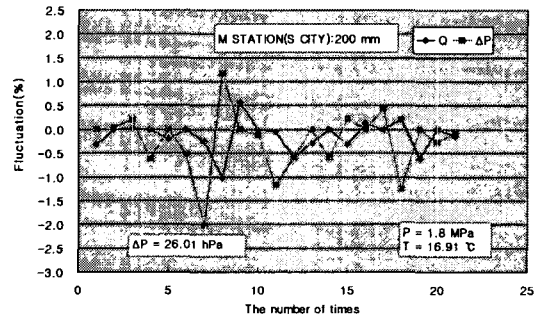


Fig. 10 The fluctuation of the real time flowrate and Differential Pressure when the amount of natural gas is changed (M Station)

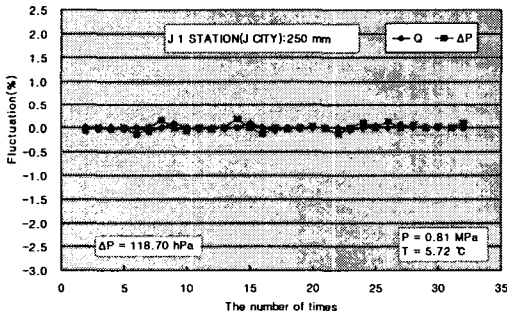


Fig. 7 The fluctuation of the real time flowrate and Differential Pressure (J1 Station)

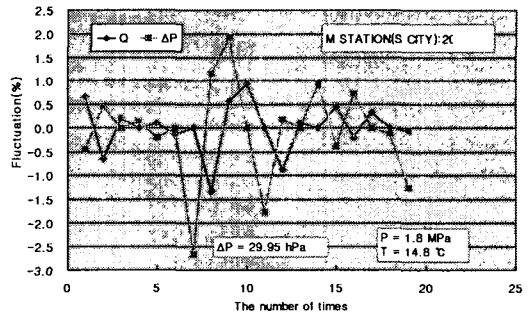


Fig. 11 The fluctuation of the real time flowrate and Differential Pressure when the amount of natural gas is changed (M Station)

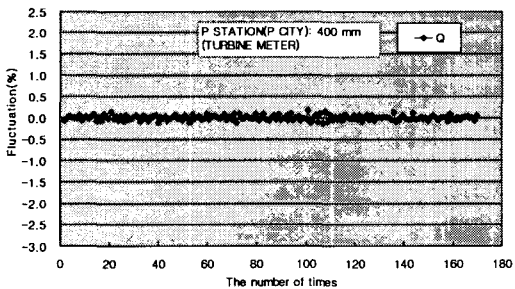


Fig. 8 The fluctuation of the real time flowrate (P Station)

때, 가스공사의 일부 공급관리소에 구축되어 있는 진단 직관부 길이 조건들이 설치기준에 다소 미흡한 상태로 운영되고 있음을 알 수 있고, 또한 계량배관 헤더면적이 계량라인들의 면적 합에 1.5배 이상이 되도록 사내 계량 설비 설계 기준에 언급되어 있으나 일부 공급관리소들이 이를 충족하지 못하고 있는 것으로 조사되었다. Fig. 6 - Fig. 9는 연구 수행중 조사된 공급

Table 1 The metering facility situation of some KOGAS stations

STATION	METERING LINE	METER	METERING LINE DIA. (D : mm)	STRAIGHT LENGTH	HEADER DIA. (mm)	
					UP	DOWN
P	61A	TURBINE	250	89D	750	750
	61B	TURBINE	400	56D	750	750
	61C	TURBINE	400	56D	750	750
	61D	TURBINE	400	56D	750	750
J1	61A	TURBINE	150	96D	600	600
	61B	ORIFICE	250	61D	600	600
	61C	ORIFICE	400	61D	600	600
	61D	ORIFICE	400	155D	600	600
M	61C	ORIFICE	100	136D	600	300
	61D	ORIFICE	200	65D	600	300
	61E	ORIFICE	300	43D	600	300
O	61A	TURBINE	250	54D	750	750
	61B	TURBINE	400	33D	750	750
	61C	TURBINE	400	33D	750	750
	61D	TURBINE	400	33D	750	750
B	61A	ORIFICE	150	118D	300	300
	61B	ORIFICE	300	59D	300	300
	61C	ORIFICE	300	59D	300	300
	61O	ORIFICE	250	61D	400	400
	61P	ORIFICE	250	58D	400	400
	61Q	ORIFICE	250	58D	400	400
	61R	ORIFICE	150	98D	400	400
	61S	ORIFICE	250	45D	400	400
	61T	ORIFICE	250	45D	400	400
J2	61A	TURBINE	250	28D	750	750
	61B	TURBINE	400	18D	750	750
	61C	TURBINE	400	18D	750	750
	61D	TURBINE	400	18D	750	750

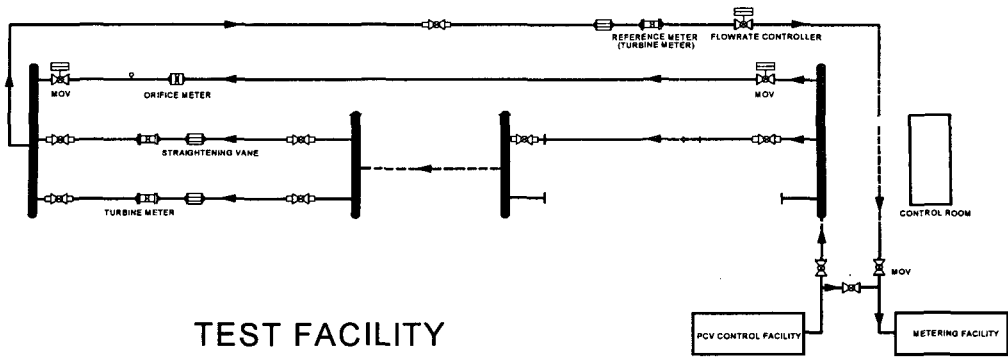
관리소 중 일부를 보여주는 것으로, 터빈 유량계를 거래용으로 사용하고 있는 공급관리소도 조사하였다. Fig. 6 - Fig. 7도 상기 Fig. 1 - Fig. 4에서 설명한 바와 같이 일부공급관리소에서 유량 헌팅이 크게 나타났으나, Fig. 7 - Fig. 8의 경우, 터빈 유량계를 거래용으로 사용하고 있는 공급관리소에서 조사한 결과를 보여주는 것으로, 유량 헌팅이 오리피스 유량계의 유량 헌팅에 비하여 아주 작음을 알 수 있었다. 이것은 터빈 유량계가 오리피스 유량계의 차압 측정방법과 다르게 체적 측정방법을 이용하고 있어 가스 상태의 변화와 관련, 오리피스 유량계에 비하여 상대적으로 덜 민감하기 때문인 것으로 판단된다. 결국 Fig. 1 - Fig. 4, Fig. 6 - Fig. 9에서 나타난 결과를 검토해 볼 때, 직관부 길이가 사내 기준을 만족하지 못하나 헤더의 크기가 기준을 만족하거나, 헤더의 크기가 기

준을 만족하지 못하나 직관부 길이가 기준을 만족하면, 유량 헌팅이 작은 것으로 나타났으며, 직관부 길이 및 헤더크기가 동시에 기준을 만족하지 못하면 유량 헌팅이 큰 것으로 나타났다. 한편 Fig. 10 -Fig. 11의 경우, Fig. 11이 Fig. 10보다 유량 헌팅이 크다는 것을 알 수 있는데, 이것은 수요처에서 천연 가스의 수요량을 증가시킬 때 유발된 것으로, 수요량이 증가함에 따라 유동의 불안정성도 커져서 결국 유량 헌팅이 크게 유발된 것으로 판단한다.

3. 실험

3.1. 계량 설비 헤더 확장 전·후 유량 헌팅 비교

Fig. 12는 가스공사 공급관리소 내에 있는 유량계



TEST FACILITY

Fig. 12 The Layout of the test facility

현장 비교 실험 설비⁽⁵⁾의 개략도이다. 본 실험 설비는 연구 수행을 위하여 헤더를 150 mm에서 300 mm로 확장되었다. 헤더 확장 공사를 하기 전에 헤더 확장 전의 유량 헌팅에 대한 실험을 수행하였고, 그 다음 헤더를 확장한 후 유량 헌팅에 대한 실험을 하였다. 상기 실험 완료 후 신호전송 케이블의 길이, 전송기의 차압 범위 및 신호전송 케이블의 피복 상태에 따른 유량 헌팅 실험을 수행하였다. 실험은 관 직경비(β =오리피스 직경/배관 직경) 0.3, 0.5, 0.7 및 유량 $Q_{min}(80 \text{ m}^3/\text{h}) \sim 0.7Q_{max}(1,120 \text{ m}^3/\text{h})$ 에서 실시하였다. 기준기(터빈 유량계) 및 오리피스 유량계 크기는 150 mm이고, 실험 설비로 들어오는 유량은 중동공급관리소 정압실 측면에 구축되어 있는 400 mm 유량조절밸브를 이용하여 조절하였다.

Fig. 13 - Fig. 15는 헤더 확장 전의 유량 헌팅에 대한 실험 결과이고, Fig. 16 - Fig. 18은 헤더 확장 후의 유량 헌팅에 대한 실험 결과이다. Fig. 13 - Fig. 18에서 보는 바와 같이 헤더 확장 후의 유량 헌팅이 $\pm 2.3\%$ 정도 감소($\beta = 0.5$ 및 $0.5 Q_{max}$)하였음을 알 수 있었다. 이 실험 결과로 볼 때, 헤더 직경이 작은 것 보다 큰 것에서, 유량 헌팅이 작게 나타났다. 따라서 계량설비에서 헤더의 직경은 계량 라인들의 면적합(1.5 배 이상)보다 충분히 크게 운영되어야 함을 알 수 있었다.

Fig. 19 - Fig. 22는 유량계 현장 비교 실험 설비에서 수행한 전송기의 신호 전송선의 길이 따른 유량

헌팅 발생을 조사하기 위한 실험 결과를 나타낸 그림으로써 전송선의 길이를 30 m에서부터 300 m까지 길게 하였으나 그림에서 보는 바와 같이 유량 헌팅의 차이는 발생되지 않았다. Fig. 23 - Fig. 28은 차압 전송기의 차압 범위에 따른 유량 헌팅을 조사하기 위한 실험 결과를 나타낸 그림으로써, Fig. 23 - Fig. 25는 Low 차압계에서 실험한 결과이고, Fig. 26 - Fig. 28은 High 차압계에서 실험한 결과이다. Fig. 23 - Fig. 25의 경우, 측정범위 20% 대의 낮은 차압에서 유량 헌팅이 높고, 80% 대의 높은 차압 영역으로 갈수록 유량 헌팅이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 유량 헌팅이 차압범위 20% 대에서 $\pm 0.8\%$, 50% 대에서 $\pm 0.6\%$, 80% 대에서 $\pm 0.4\%$ 정도로 나타나 LOW 차압계의 차압 범위에서 $\pm 0.4\%$ 차이의 유량 헌팅을 보였고, Fig. 26 - Fig. 28의 경우 차압 범위에 상관없이, 유량 헌팅 차이는 거의 보이지 않았다.

Low 차압계는 High 차압계에 비하여 매우 낮은 미압을 측정하다보니 상대적으로 High 차압계보다 민감한 편이라 유량 헌팅이 크게 발생된 것으로 판단된다.

Fig. 29 - Fig. 32는 전송기의 신호전송 케이블의 피복상태에 따라 유량 헌팅이 발생되는지 조사를 한 것으로, 케이블의 손상이 전혀 없는 상태, 겹피복이 손상되었을 때, 차폐피복이 손상되었을 때 및 최종적으로 피복이 완전히 손상되었을 때 실험 한 결과를 나타낸 그림이다. 4가지의 실험 조건에서 나타난 유량

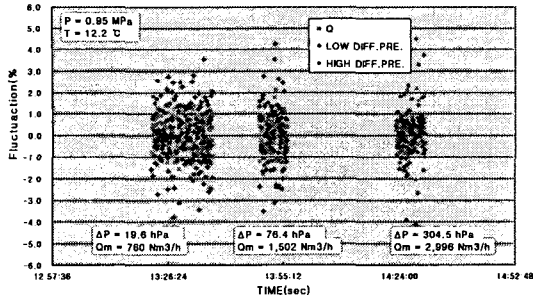


Fig. 13 The fluctuation of the preliminary to enlarge header size ($\beta = 0.3$)

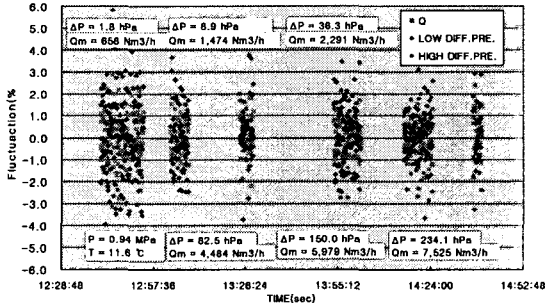


Fig. 14 The fluctuation of the preliminary to enlarge header size ($\beta = 0.5$)

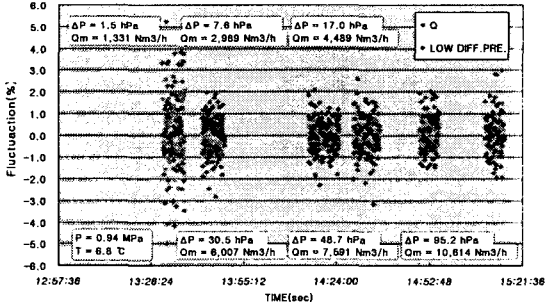


Fig. 15 The fluctuation of the preliminary to enlarge header size ($\beta = 0.7$)

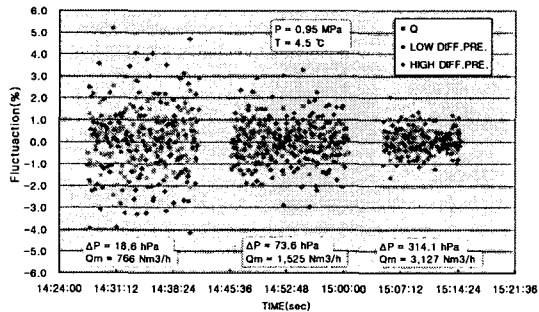


Fig. 16 The fluctuation in enlarged header ($\beta = 0.3$)

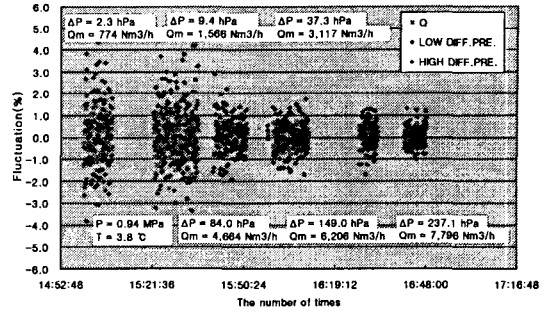


Fig. 17 The fluctuation in enlarged header ($\beta = 0.5$)

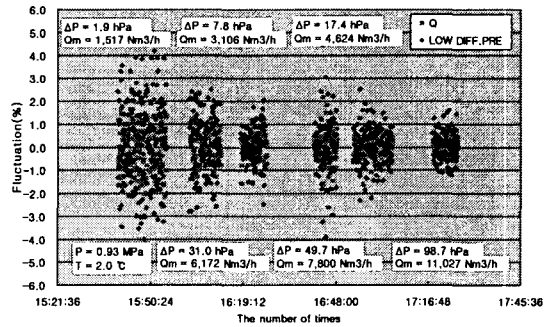


Fig. 18 The fluctuation in enlarged header ($\beta = 0.7$)

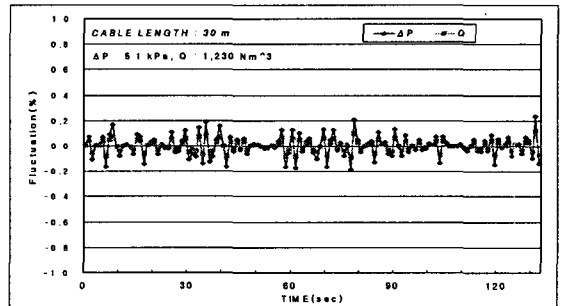


Fig. 19 The fluctuation according to the cable length (30 m)

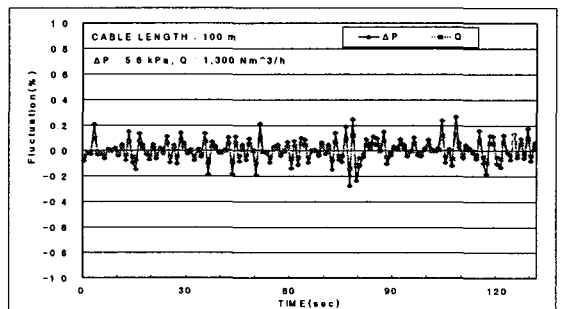


Fig. 20 The fluctuation according to the cable length (100 m)

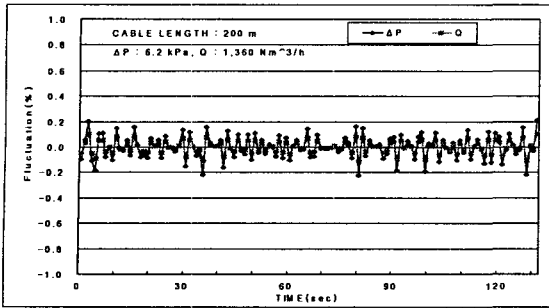


Fig. 21 The fluctuation according to the cable length (200 m)

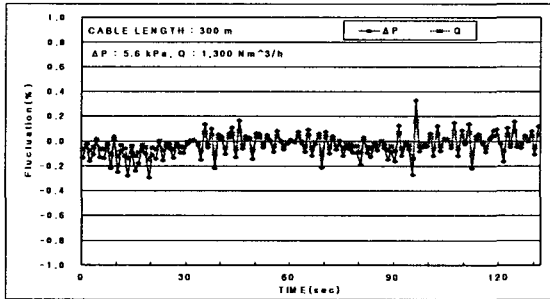


Fig. 22 The fluctuation according to the cable length (300 m)

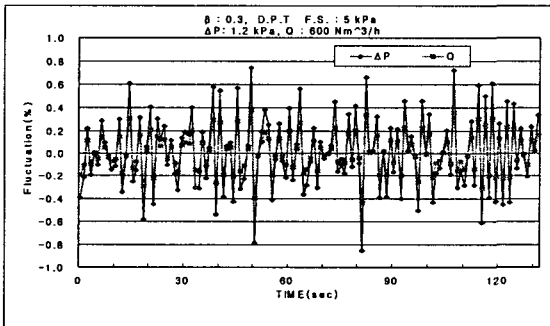


Fig. 23 The fluctuation according to differential pressure range (LOW D. P. T : F. S 20 %)

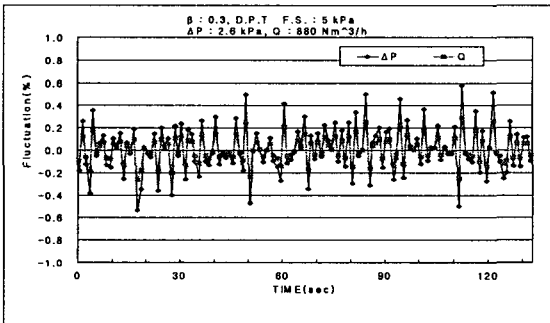


Fig. 24 The fluctuation according to differential pressure range (LOW D. P. T : F. S 50 %)

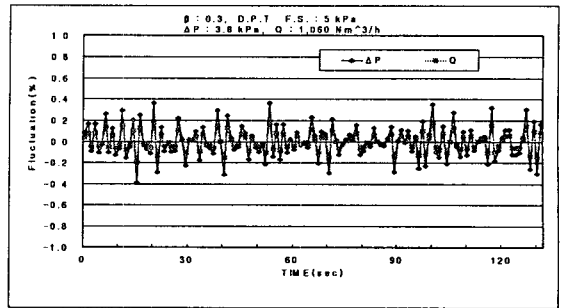


Fig. 25 The fluctuation according to differential pressure range (LOW D. P. T : F. S 80 %)

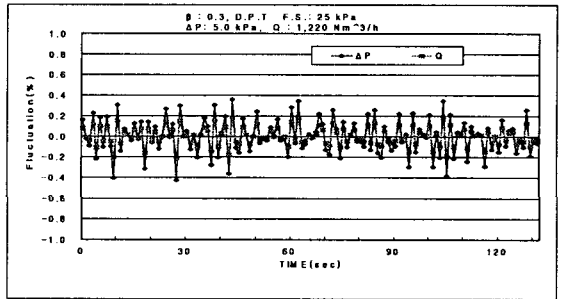


Fig. 26 The fluctuation according to differential pressure range (HIGH D. P. T : F. S 20 %)

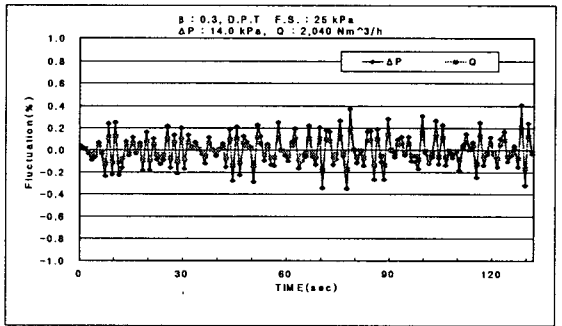


Fig. 27 The fluctuation according to differential pressure range (HIGH D. P. T : F. S 50 %)

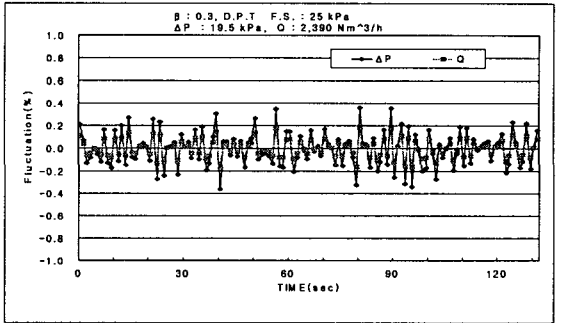


Fig. 28 The fluctuation according to differential pressure range (HIGH D. P. T : F. S 80 %)

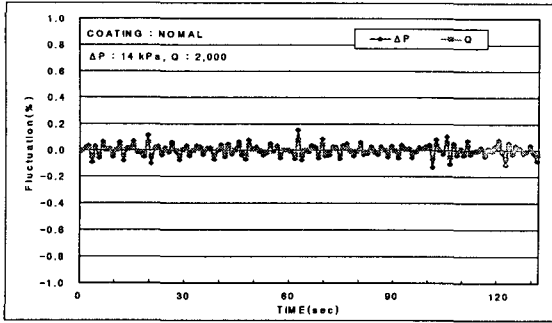


Fig. 29 The fluctuation according to the damage of coating (NORMAL : NO DAMAGE)

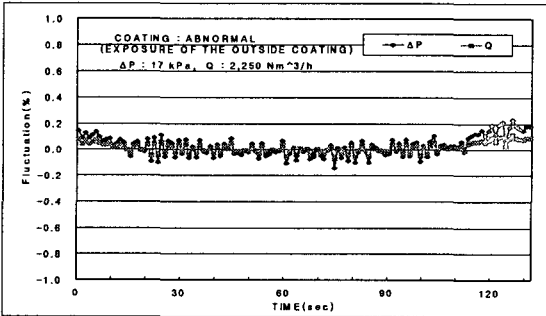


Fig. 30 The fluctuation according to the damage of coating (ABNORMAL : DAMAGE OUTSIDE COATING)

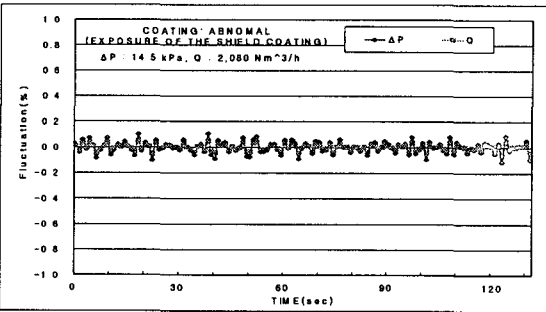


Fig. 31 The fluctuation according to the damage of coating (ABNORMAL : DAMAGE SHIELD COATING)

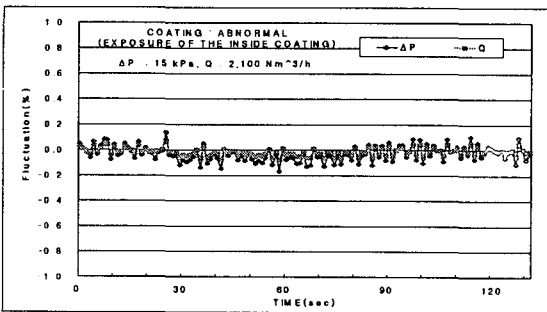


Fig. 32 The fluctuation according to the damage of coating (ABNORMAL : DAMAGE INSIDE COATING)

현팅 결과, 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

4. 결론

공급관리소에서 발생하는 유량 현팅의 원인을 조사하기 위해서 광범위하게 조사되어야 할 것으로 판단되나 조사 분량이 많아 크게 계량설비 구조, 차압 측정 범위, 신호전송선의 길이 및 신호전송선의 피복 상태로 압축해서 연구하였고 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 유량 현팅은 일부 공급관리소 계량 설비 설치 조건이 기준에 미치지 못할 때 발생한다.
- 2) 계량 설비 헤더 확대 후의 유량 현팅이 확대 전보다 감소하였다.
- 3) 신호전송선의 길이(30 m, 100 m, 200 m, 300 m)에 따른 유량 현팅 차이는 거의 없었다.
- 4) Low 차압계는 High 차압계보다 미압을 측정하는 관계로 차압변화에 민감하여 유량 현팅이 크게 발생되었고, High 차압계에선, 유량 현팅 차이를 거의 볼 수 없었다.
- 5) 신호전송선의 피복 상태 실험 결과, 유량 현팅 차이는 거의 보이지 않았다.

참고문헌

- (1) ISO 5167-1, 1991, "Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices".
- (2) A.G.A Report No. 3, 1991, "Orifice Metering of Natural Gas".
- (3) 한국가스공사, 2003, "천연가스용 계량 설비 기술 기준".
- (4) SUSAN E. McMANUS, BLAINE R.BATEMAN, JAMES A.BRENNAN, ISaura VASQUEZ PANTOJA, DOUGLAS MANN, "The Decay of Swirling Gas Flow in Long Pipe", 85-DT-54.
- (5) 한국가스공사, 1998, "유량계 현장 비교 실험 연구".