



오리피스 유량계의 유동헌팅 원인과 배관경과의 상관관계에 대한 배관망해석 연구

†신창훈

한국가스공사 연구개발원
(2010년 8월 18일 접수, 2011년 2월 25일 수정, 2011년 2월 25일 채택)

A Pipeline Network Analysis on the Source and the Relation with Pipe Diameter of the Flow Hunting in a Orifice Meter

†Chang Hoon Shin

R&D Division, Korea Gas Corporation (KOGAS), Ansan 426-790, Korea
(Received August 18, 2010; Revised February 25 2011; Accepted February 25, 2011)

요 약

일반적으로 유동헌팅현상은 대부분의 오리피스 유량계에서 관찰되나 유동헌팅의 크기는 각 계량 시스템에 따라 다르다. 이에, 실제 배관계통에서 배관경과 유동의 불안정성, 유동헌팅율간의 영향을 조사하고자 유량계 관경과 유량계 전후단 배관의 직경을 변경하면서 이에 따른 유동의 특성 변화와 헌팅율과의 관계에 대하여 1차원 배관망해석 모델을 구축하고 해석을 수행하였다. 결과적으로, 유량계 배관경과 전후단 배관경의 변화에 따른 차압변화량과 유동헌팅율의 영향을 분석하고 그 상관관계를 규명하였다.

Abstract - Generally, the flow hunting is observed in almost all of the orifice meters but the intensity of the flow hunting is different at each metering system. In order to investigate the relations between pipe diameter and the flow instability or the flow hunting in a real metering system, a one-dimensional pipeline network model was built and analyzed for the examination of flow characteristics and relations to the flow hunting, changing diameters of the meter and the pipes before and after the meter. Finally, the effects of pressure-difference variation and flow hunting following to the variations of the diameters of the meter and the pipes before and after the meter were investigated and the relations were examined as well.

Key words : orifice meter, flow hunting, pressure difference

1. 서 론

천연가스의 계량은 고속 고압의 기체를 계량하는 특성상 계량의 정확도 유지가 쉽지 않다. 특히 수요와 공급의 급격한 변화와 유량계 주변 배관시스템 내 유체기계의 작동에 따른 유동 변화에 직접적인 영향을 받을 가능성이 크다. 실제 천연가스 계량과 관련하여, 이러한 유동의 불안정성(변동성)은 유동

헌팅(Hunting, 난조)현상으로 나타나며, 직·간접적으로 계량오차를 유발하는 것으로 알려져 있어, 일반적으로 유동 헌팅율을 $\pm 0.5\%$ 범위 이내에서 관리하는 노력이 요구되고 있다. 또한, 유동 헌팅율은 유동의 불안정성을 계량하는 지표로써 사용되고 있으며, 이를 검토하여 계량오차의 경향을 간접적으로 추정하거나, 가늠하는데 사용하고 있다[1,2]

유동헌팅현상은 대부분의 오리피스 유량계에서 관찰되나 유동헌팅의 강도는 각 계량 시스템에 따라 다르다. 실제로 계측된 결과를 보면 대부분의 정압

†주저자:chshin@kogas.re.kr

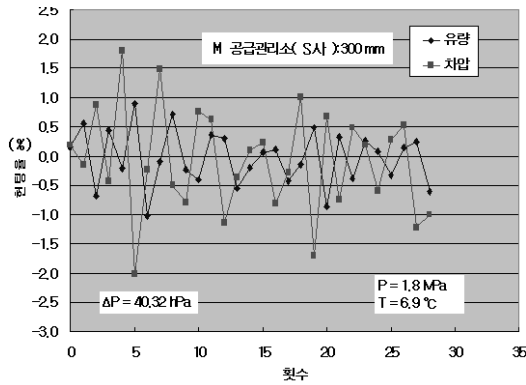


Fig. 1 Flow hunting at M - station

시스템 관리소에서는 유동 현상율이 ± 0.5% 이하로 관리되는 양호한 결과를 보이고 있으나, Fig. 1과 같이 일부 관리소에서는 유량과 압력의 현상율 모두가 관리기준인 ± 0.5%를 벗어나는 경우가 있음을 볼 수 있다. 이때, 이러한 유동 현상율 차이가 발생하는 원인에 대한 규명, 유동현상율이 유동 불안정성 또는 계량오차의 지표로서 적절함에 대한 검토가 요구된다[3,4].

이에, 본 연구에서는 유동현상 관계식의 근본적인 의미를 검토하고, 현상율과의 관련인자를 도출하고자 현상 관계식의 검토를 우선 시행하였다. 이후, 실제 배관계통에서 배관경과 유동의 불안정성, 유동현상율간의 영향을 조사하고자 유량계 관경과 유량계 전후단 배관의 직경, 즉 유량 변동과 압력 전파에 가장 직접적인 영향을 미칠 수 있는 유량계 전단과 후단 배관의 직경을 변경하면서 이에 따른 유동 특성 변화와 현상율과의 관계에 대하여 1차원 배관망해석 모델을 구축하고 해석을 수행하였다.

II. 유량 현상 관계식 검토

천연가스 계량에서 일반적으로 사용되는 오리피스 유량계의 유량현상 관계식은 식(1)과 같고, 압력 현상 관계식은 식(2)와 같다[5]. 일반적으로 유량은 손실계수, 밀도, 조도 등의 함수이고, 손실계수의 결정에도 부가적인 많은 인자들이 요구되어, 유량현상에 관련되는 직·간접적인 영향 인자의 수가 많아 유량현상 관계식을 통한 직접적인 규명은 난해하다. 또한 실제 유동에서 유량의 변화나 불안정성을 지배하는 가장 근본적인 인자는 압력변화이며, 유량 역시 근본적으로는 압력의 함수이므로, 궁극적으로 유량현상의 영향은 압력현상의 검토 결과와 연관되어질 수 있다.

따라서 본 연구에서는 유동의 부가적인 인자보다는 압력변동에 따른 근본적인 유동현상 현상의 검토에 집중하기 위하여, 전후방 압력 변화 특성을 통하여 유동 불안정성을 조사하는 식(2)의 압력 현상식을 본 연구의 유동현상 특성 검토를 위한 기본식으로 하였다. 여기서, 오리피스 전후방 압력 태핑(Pressure Tapping)의 위치는 ISO-5167-1을 준용하여, 전후방 D-D/2 탭을 적용하였다. 즉, 기호 'a'는 오리피스 전단면(Upstream Face)에서 전방 8"(1D)로 하였고 기호 'b', 즉 후방 압력 태핑의 위치는 후방 4"(0.5D) 지점으로 하였다[6,7]. 또한 기호 '1'은 어떤 기준시점을 의미하고, 기호 '2'는 기준시점으로부터 일정시간간격이 경과한 후의 경과시점을 의미한다.

$$H_Q' = \frac{(Q_a - Q_b)_1 - (Q_a - Q_b)_2}{(Q_a - Q_b)_1} \times 100 \quad (1)$$

$$= \frac{\Delta Q_1 - \Delta Q_2}{\Delta Q_1} \times 100$$

$$H_P' = \frac{(P_a - P_b)_1 - (P_a - P_b)_2}{(P_a - P_b)_1} \times 100 \quad (2)$$

$$= \frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{\Delta P_1} \times 100$$

$$H_P' = 1 - \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \times 100 \quad (3)$$

$$= f\left(\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}\right)$$

$$H_P' = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(1 - \frac{\frac{\Delta P_2}{\Delta x}}{\frac{\Delta P_1}{\Delta x}} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$= \left(1 - \frac{P_2'}{P_1'} \right) \times 100$$

$$= f\left(\frac{P_2'}{P_1'}\right)$$

$$H_P' = \frac{(P_a - P_b)_1 - (P_a - P_b)_2}{(P_a - P_b)_1} \times 100 \quad (5)$$

$$= \frac{(P_2 - P_1)_b - (P_2 - P_1)_a}{(P_a - P_b)_1} \times 100$$

$$= \frac{\delta P_b - \delta P_a}{\Delta P_1} \times 100$$

$$= f(\delta P_b - \delta P_a, \frac{1}{\Delta P_1})$$

우선 식(2)를 살펴보면, 압력헌팅은 근본적으로 어떤 기준시점 '1'에서의 기준차압(기저차압, ΔP_1)에 대한 경과시점 '2'에서의 차압변화량($\Delta P_1 - \Delta P_2$)의 비를 표현한 것이다. 이를 식(3)과 같이 다시 정리하면, 압력헌팅은 결과적으로 기준시점과 경과시점에서의 차압비($\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}$)의 함수가 되는 것을 알 수 있다. 식(3)에서 차압항 분모와 분자에 Δx 를 나누고, Δx 가 무한히 작아지는 것을 가정하면, 식(4)의 결과를 얻을 수 있다.

식(4)는 결과적으로 압력헌팅이 '0'인 경우, 즉 일정한 유량이 균일하게 흐르는 경우, 기준시점의 압력변화와 경과시점의 압력변화가 같아져야 함을, 즉 $P_1' = P_2'$ 임을 의미하는 것이다. 이는 시간의 경과에 무관하게 오리피스 전후방 차압변화가 일정하게 유지되는 경우 압력헌팅이 '0' 즉, 안정된 유동상태로 평가되는 것을 의미하는 것이다. 따라서 현장에서 일반적으로 사용되는 압력헌팅식은 유동 불안정성(변동성)을 간접적으로 표시하는 관계식으로 적절한 것으로 판단되며, 이러한 유동불안정성은 계량 오차와 연계되므로, 압력헌팅의 관리를 통한 계량 오차의 추적과 관리는 적절한 방법이라 사료된다.

오리피스 전후방의 각 계측 지점에서의 압력의 영향과 기준압력의 영향에 대한 검토를 위하여 위 식(2)는 다시 식(5)와 같이 변형이 가능하다. 앞선 식(2)에서, 압력헌팅은 차압비($\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}$)의 함수임을 이미 확인하였고, 식(5)를 통하여, 압력헌팅은 오리피스 전후방 압력의 시간변화량($\delta P_b - \delta P_a$)에 비례하고 기준차압(ΔP_1)에 반비례하는 관계를 가짐을 확인할 수 있다.

결과적으로 압력헌팅, 오리피스를 통과하는 유동의 불안정성은 근본적으로 차압비의 함수이며, 오리피스 전후방 압력의 시간변화량에 비례하고 기준차압에 반비례하는 관계를 가짐을 확인하였다.

이에 본 연구에서는 이러한 관계식 검토 결과를 확인하고 유량 변동과 압력 전파에 가장 직접적인 영향을 미칠 수 있는 유량계 전단과 후단 배관의 직경과 유량계 자체의 직경을 변경하면서 이에 따른 유동의 특성 변화와 헌팅효과와의 관계에 대하여 1차원 배관망해석 모델을 구축하고 해석을 수행하여 그 상관관계를 조사하고자 하였다.

III. 정압기 - 유량계 시스템 배관망 해석

3.1. 배관망 해석 모델링

본 연구에서는 유량계 관경의 영향과 유량계 전

후단 배관의 직경에 따른 유동 특성 변화와 헌팅효과와의 관계에 대하여 조사하고자 1차원 배관망해석 모델을 구축하였다.

Fig. 2는 정압기로부터 오리피스 유량계에 이르는 배관계통의 분석을 위하여 구축된 Flow-Master 2 SW (Software) 기반의 배관망 해석 모델이다. 우측 하단 부분이 오리피스 유량계가 장착되어 있는 계량라인을 모델링한 것이다. 이러한 배관계통의 구성은 우리공사의 가장 일반적인 정압기-계량기 시스템을 모델로 한 것이며, 전후단 배관경의 설정은 실제 현장에 적용가능한 배관경 중 대표적 등급으로 선택하였다.

Table 1은 본 연구에서 가정된 네 가지 해석대상을 정리한 것으로, 전방의 정압밸브는 8"(203.2 mm)로 고정하였고, 계량기는 관경 8"(203.2 mm)와 12"(304.8 mm) 두 모델을 기준으로, 계량기 전후단의 배관경이 각각 20"(508 mm), 30"(762 mm)로 변경되는 경우를 설정하였다. 이 때, 전방의 압력변동(불안정성) 모사는 작동 중인 정압기의 밸브 개도(높이)가 0.2 초 동안 1% 열리고 닫히는 것으로 가정하였고, 유동조건은 입구 압력이 60 bar, 출구 유량은 약 10 kg/s로 유지되는 경우로 가정하였다.

이상에서 구축된 1차원 배관망모델의 해석을 통하여, 후방 계량배관에서의 압력변화와 헌팅 특성 및 각 배관경과의 상관관계를 조사하고자 관련된 해석을 수행하였다.

Table 1. 4 Cases classified by diameters

	전단배관경	계량배관경	후단배관경
① 기준모델	30"	8"	20"
② 계량확대	30"	12"	20"
③ 후단확대	30"	8"	30"
④ 전단축소	20"	8"	20"

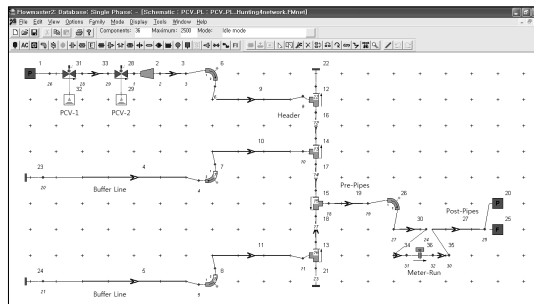


Fig. 2. PCV - orifice meter pipeline analysis model

3.2. 차압변화량 해석 결과

Fig. 3(a)는 기준모델인 계량배관경이 8" 인 Case ①에서의 차압의 변화, 즉 입구 압력변동에 따라 발생하는 오리피스 전후방 압력차(차압)의 변화량 ($\Delta P_1 - \Delta P_2$)을 도시한 것이고 Fig. 3(b)는 계량배관경을 12"로 확대한 경우에 대한 차압의 변화를 도시한 것이다. Fig. 3(c)는 후단 배관경을 30"로 확대한 모델이고, Fig. 3(d)는 전단 배관경을 역으로 20"로 축소한 경우에 대한 차압의 변화를 도시한 것이다.

Fig. 3(b)에서, 3(a)의 기준 모델에서 차압변화량의 최대 크기는 약 0.00035 Pa 로 나타나던 것이 단순히 계량배관경을 12"로 확대함에 따라 차압 변화가 약 0.0002 Pa 정도로 낮아지고 있음을 볼 수 있다. 이것은 체적유량이 단면적과 속도의 함수로 관계됨을 감안할 때, 관경(단면적)의 확대는 속도의 감소로 연계되어, 순간적인 유량(압력)의 변동에 따른 영향이 보다 큰 관경에서 상대적으로 작은 속도변화, 또는 압력변화로 귀결됨에 따른 것으로 생각된다. 결과적으로, 동일한 전방 압력변동에 대하여 계량배관경의 확대는 차압변화량을 감소시키는, 즉 반비례 관계를 가짐을 확인하였다.

Fig. 3(c) 와 (d)에서, 각각 후방 배관경을 30" 확대

한 경우, 차압의 변동은 기준 조건에 비하여 거의 발생하고 있지 않다. 즉, 후단 관경의 변화는 전방의 차압변화에 큰 영향을 주지 못하고 있음을 확인할 수 있다. 전방 배관경을 20"로 축소한 경우에는 차압변화량이 약 0.0004 Pa 로 약간 상승하였음을 볼 수 있다. 비록 그 양이 크지는 않으나 전방 관경의 축소에 따른 전방 배관 단면적 감소에 따라 전달되는 유동변화, 즉 차압변화량이 상대적으로 증가되는 경향을 보임을 알 수 있다.

3.3. 압력현상을 해석 결과

Fig. 4는 각 경우에 대한 압력의 현상을 변화를 나타낸 것이다. Fig. 4(b)는 계량배관경을 12"로 확대한 경우에 대한 현상의 변화이다. 기준모델에서 발생하는 현상의 최대값은 약 0.012 % 정도이다.

이에 비하여 단순히 계량배관을 50%, 즉 12"로 확대한 경우 발생하는 현상은 무려 0.03 % 로 약 2.5 배가 증가되고 있음을 볼 수 있다. 이는 앞 절의 차압변화량 해석에서 관찰된, 관경의 확대에 따른 차압변화량의 감소 결과에도 불구하고, 완전히 상반된 결과이다.

이것은 앞의 현상식 검토 결과 중, 기준차압에 반

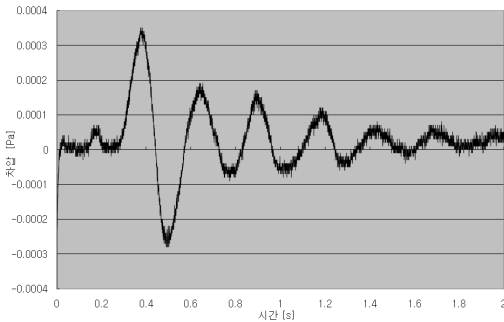


Fig. 3(a) Pressure-difference in Case①

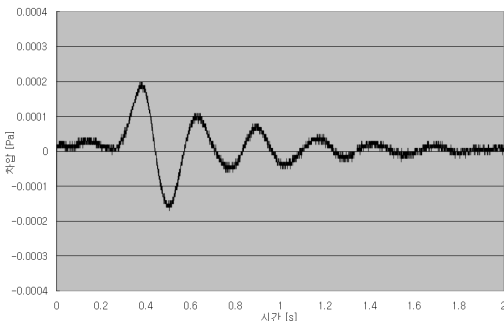


Fig. 3(b) Pressure-difference in Case②

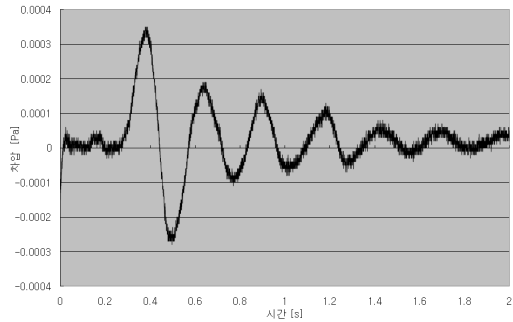


Fig. 3(c) Pressure-difference in Case③

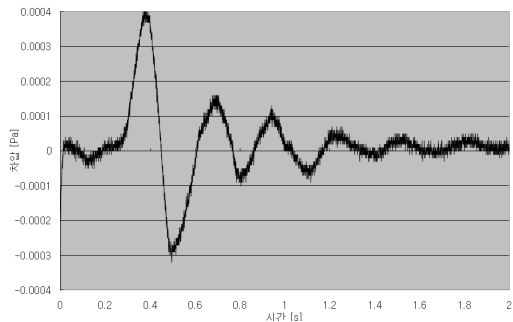


Fig. 3(d) Pressure-difference in Case④

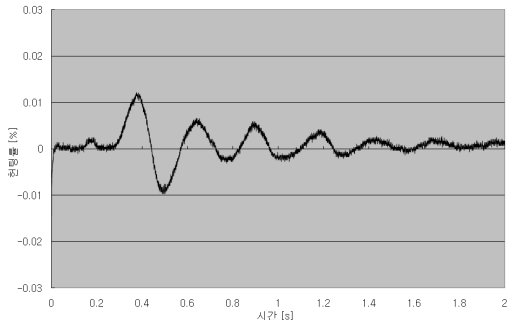


Fig. 4(a) Hunting rate in Case ①

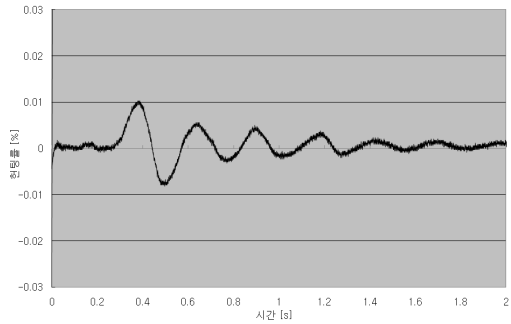


Fig. 4(c) Hunting rate in Case ③

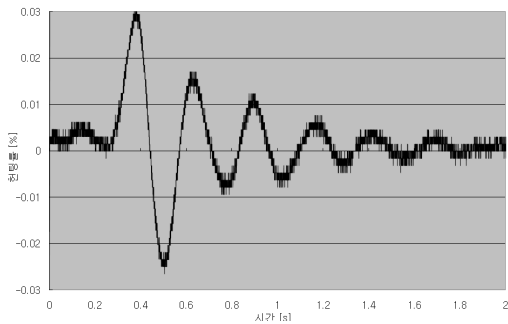


Fig. 4(b) Hunting rate in Case ②

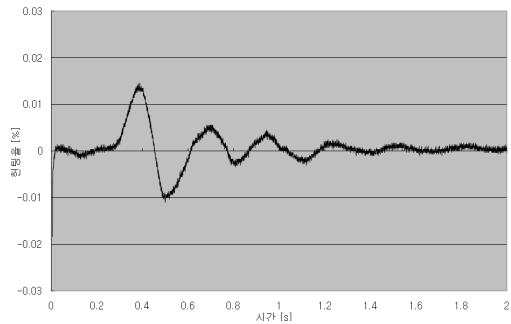


Fig. 4(d) Hunting rate in Case ④

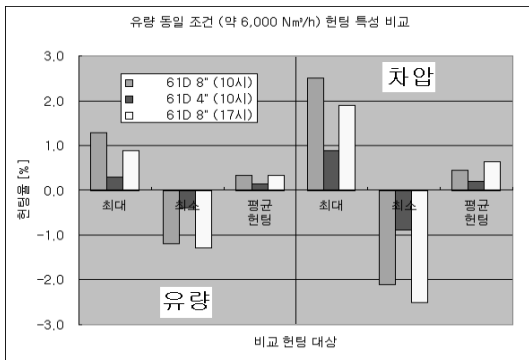


Fig. 5. Hunting rate at M-PR station

비례하는 관계에 기인된 것으로 생각된다. 즉, 유량계 환경의 확대는 동일한 유량에 대하여 유량계 배관계에 상대적으로 작은 기준차압을 발생시키며, 이러한 영향이 앞 절의 차압변화량의 감소보다 훨씬 커짐에 따라 압력헌팅율은 증가되는 결과를 산출한 것이다. 결과적으로, 앞 절에서 차압의 변화량은 계량배관환경의 확대에 반비례하는 것에 반하여, 압력의 헌팅율은 이와 달리 계량배관환경에 비례하는 특성을

보여주고 있다. 이는 동일한 유동조건에서 배관경이 큰 오리피스 유량계가 보다 큰 압력 헌팅율을 보일 수 있는 가능성이 있음을 확인하는 결과이다.

Fig. 5는 이러한 가능성의 확인을 위해, M 정압관 리스의 계량 시스템에서 동일한 약 6000 Nm³/h의 유량이 흐르는 4" 배관(10시)과 8" 배관(10시와 17시 두 경우)을 비교 실험한 결과이다. 그림에서 8"에 비하여 4"의 경우에 뚜렷한 유량과 압력 헌팅율의 감소가 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이는 앞의 계량배관경이 유동헌팅율과 비례관계를 가짐을 실제 현장 자료로 확인하는 결과이다. Fig. 4(c)에서, 후단 배관의 확대에 따라 약간의 헌팅 감소가 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 후방배관환경의 확대에 따라 유동이 다소 안정되는 경향을 보이는 것에 따른 것으로 사료된다.

Fig. 4(d)에서는 전단 배관의 축소에 따라서 다소의 헌팅 증가가 발생하고 있음을 알 수 있다. 이는 앞의 차압 변화량 검토에서와 마찬가지로 전방 환경의 축소에 따른 전방 배관 단면적 감소에 따라 전달되는 유동의 변화량이 상대적으로 증가되는 경향을 보이는 결과이다. 결과적으로 전후단 배관경은 모두 헌팅과 반비례관계를 보여주고 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 유동현상 관계식의 근본적인 의미를 검토하고, 현상율과의 관련인자를 도출하고자 현상 관계식의 검토를 시행하였다. 이후, 실제 배관계통에서 배관경과 유동의 불안정성, 유동현상율 간의 영향을 조사하고자 유량계 관경과 유량계 전후단 배관의 직경을 변경하면서 이에 따른 유동의 특성 변화와 현상율과의 관계에 대하여 1차원 배관망 해석 모델을 구축, 해석을 수행하였다. 이를 통하여 다음 결론을 도출하였다.

- (1) 압력현상, 오리피스를 통과하는 유동의 불안정성은 근본적으로 차압비의 함수이며, 오리피스 전후방 압력의 시간변화량에 비례하고 기준차압에 반비례하는 관계를 가짐을 확인하였다.
- (2) 일반적으로 사용되는 압력현상식은 유동 불안정성을 간접적으로 표시하는 관계식으로 적절하며, 유동불안정성은 계량오차와 연계되므로, 압력현상의 관리를 통한 계량오차의 추적과 관리는 적절한 방법이라 사료된다.
- (3) 차압의 변화량은 계량배관경의 확대에 반비례하는 것에 반하여, 압력의 현상율은 이와 달리 계량배관경에 비례하는 특성을 보여주었다. 이는 동일한 유동조건에서 배관경이 큰 오리피스 유량계가 보다 큰 현상율을 보일 수 있는 가능성이 있음을 확인하는 결과이다.
- (4) 후단 관경의 변화는 전방의 차압변화에 큰 영향을 주지 못하나 전방 관경의 축소는 전방 배관 단면적 감소에 따라 전달되는 유동 변화, 즉 차압변화량이 상대적으로 증가되는 경향을 보였다.
- (5) 전후단 배관의 변경에 따라 양은 미소하나 약

간의 현상율을 변화가 발생하였다. 결과적으로 전후단 배관경은 모두 현상율과 반비례하는 관계를 보여 주었다.

사용기호

- f : 함수
- H' : 현상(난조)율 [%]
- P : 압력 [bar]
- Q : 체적유량 [Stm^3/h]
- x : 거리(공간좌표)

참고문헌

- [1] 안승희, 허재영, “계량설비 설치조건에 따른 계량 정확도 비교 실험 연구“, 한국가스공사 연구개발원 연구보고서, (1999)
- [2] 안승희, 허재영, “유량계 현장 비교 실험 연구“, 한국가스공사 연구개발원 연구보고서, (1998)
- [3] 안승희, 정종태, 신창훈, 동재현, “유량현상이 계량 오차에 미치는 영향“, 한국가스공사 연구개발원 연구보고서, (2005)
- [4] 안승희, 허재영, “천연가스 유량계의 현장 운영 시에 발생하는 문제점 중 유량현상에 관한 소개“, *KSME*, 제9권 제3호 73-79, (2006)
- [5] 신창훈, 안승희, 정종태, 허재영, 김우식, “오리피스 유량계의 유량현상 원인배경과 특성에 관한 해석적 연구“, *KSME*, 추계학술대회 논문집, 247-252, (2005)
- [6] ISO, Measurement of Fluid Flow by Means of Pressure Differential Devices, ISO 5167-1, (1991)
- [7] AGA, Orifice Metering of Natural Gas, A.G.A Report No. 3, (1991)