

오리피스 플레이트 역방향 설치시의 오리피스 유량계 유량측정 오차

안승희, 허재영

한국가스공사 연구개발원 현장기술지원센터

Mesurement Error of an Orifice Flow Meter with a Plate in Reversed Orientation

Seung-Hee An, Jae-Young Her

Technical Consulting and Support Center, R & D Division, Korea Gas Corporation

1. 서론

오리피스 유량계는 가운데 구멍이 뚫려 있는 판(오리피스 플레이트)이 배관 내에 배관의 축과 수직으로 끼워져 있는 형상으로 되어 있다. 유체가 이 구멍을 통과하면서 유체 속도는 빨라지고 압력은 낮아지게 되며, 유량이 커질수록 유체속도는 빨라지고 압력은 더 큰 폭으로 낮아진다. 따라서 압력이 낮아지는 정도를 계측하게 되면 유량이 어느 정도 되는지를 유추할 수 있다. 이것이 오리피스 유량계의 측정원리이다. 천연가스 산업에서 사용되는 오리피스 유량계는 공급 안정을 보장하기 위해 유량계 점검 중에도 공급은 계속 되도록 고안된 것을 사용한다[그림 1]. 이 오리피스 유량계는 오리피스 플레이트를 탈착하고 배관 내부로 운반을 해주는 운반판이 있는데 오리피스 플레이트는 원형의 고무 또는 라텍스 재질의 테에 끼워져 운반판에 장착된다. 오리피스 플레이트는 상류측면의 오리피스 부위가 정교한 직각으로 제작되어 있고 하류측면은 경사각을 가지고 있는 것을 일반적으로 사용한다. 이 오리피스 플레이트를 운반판에 장착할 때 상하류측면이 뒤바뀔 수 있는 개연성이 존재한다.

한국가스공사(KOGAS)는 도시가스사와 한전에 천연가스를 공급하고 있으며 그 공급물량을 오리피스 유량계와 터빈유량계를 사용하여 정산하고 있다. 주 거래용 유량계로 오리피스 유량계를 사용하고 있고, 전국적으로 사용되고 있는 오리피스 유계의 수는 250 여개에 이른다. 계절별로 천연가스 공급물량이 큰 차이를 보이고 있는 관계로 공급물량에 따라 이를 미리 예측하여 오리피스 직경이 다른 오리피스 플레이트로 교체하는 작업이 연중 수시로 이루어지고 있다. 따라서 한번도 보고된 적이 없으나 작업자의 부주의에 의한 오리피스 플레이트 역방향(REVERSE) 설치의 가능성은 상존한다. 실제로 국외 보고서[1,2]에 따르면 오리피스 플레이트의 하류측면이 가끔 유량계 상류 방향으로 설치되어 미계량이 유발되는 사례가 보고되거나 관찰되었으며, 보고가 되지는 않았으나 실제로 이런 일이 발생한 사례는 더 많을 것으로 보고 있다.

그래서 한국가스공사는 오리피스 플레이트를 역방향으로 설치하였을 때, 측정오차가 어느 정도 되는지 체계적으로 조사할 필요가 있었으며, 그 결과를 근거로 대책을 마련코자 연구에 착수하였다.

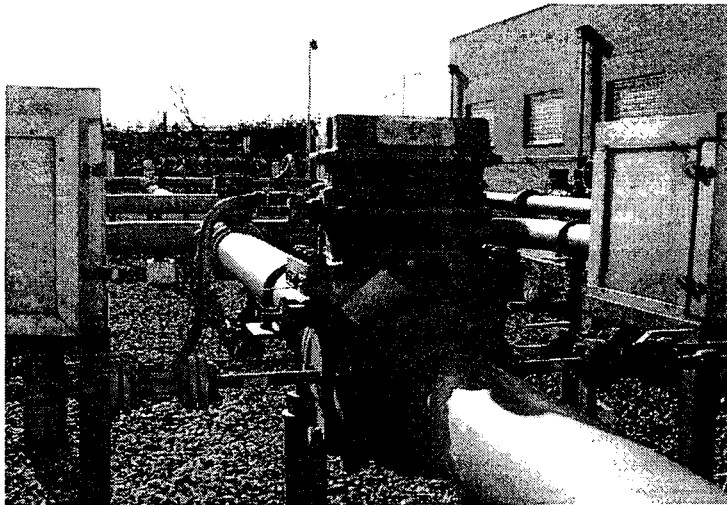


그림 1. 유량계 점검 중에도 공급은 계속 되도록 고안된 오리피스 유량계

2. 실험 설비 및 실험 방법

2.1 실험 설비

실험은 한국가스공사의 중동 공급관리소에 구축되어 있는 유량계 현장 비교 실험 설비[3]에서 수행되었다. 실험설비 개략도[그림 2.]에서 보는 바와 같이 본 실험 설비는 98년도 기 수행되었던 연구과제[3]에서 구축된 것으로, 다음과 같이 크게 4개 부위로 나눌 수 있으며 실험 라인은 6" 배관으로 구성되었다.

- 가. 구동 부위
- 나. 실험 부위
- 다. 기준유량계 부위
- 라. 설비제어부위

구동 부위는 공급관리소의 정압실 측면에 구축되었고, 16" 전동밸브 1대, 8" 전동밸브 2대로 구성되어 있다. 전동밸브(16" 전동밸브, 8" 전동밸브)들은 설비제어 부위의 전원에서 전원공급을 받아 구동이 되도록 하였고, 특히 16" 전동밸브는 유량조절 밸브로써, 설비제어부위의 컨트롤 판넬 개폐 버튼이 동작될 때에만 작동되도록 설치되었다. 16" 전동밸브 개구 크기는 상기 버튼 조작에 의하여 조절되고, 개구 크기에 따라 유량계 현장 비교 실험 설비로 공급되는 유량이 조절된다. 또한 유량 및 16" 전동밸브 개구 크기가 설비제어부위의 유량 컴퓨터 모니터 상에서 감시되도록 하였다.

실험 부위는 오리피스 유량계(1대), 전송기기류(온도계, 압력계, 차압계 등) 및 밸브 등으로 구성되었다. 오리피스 유량계는 6" 이고, 직관부의 상류측 길이는 17D이며 하류측 길이는 7D이다. 온도측정은 오리피스 유량계 하류측 방향으로 6D 떨어진 곳에서 이루어졌다.

기준유량계 부위는 실험부위의 터빈 유량계와 동일한 사양의 유량계 1대를 기준기로 사용하였으나 관내유동이 유량계 상류측에서 정류가 되도록 충분히 긴 직관부의 길이로 구성하였고 유량계 상류측 5D 지점에 별도의 유동안정기를 설치하였으며, 온도는 유량계의 하류측 방향으로 4D 지점에서 측정되었다.

설비제어부위는 유량컴퓨터 시스템, 유량컨트롤시스템 및 전원장치시스템 등으로 구성되었고 모든 실험을 통제하고 있다.

그림 2.의 파선 안에 나타나 있는 두 개의 실험부위 중 본 연구와 관련된 부분

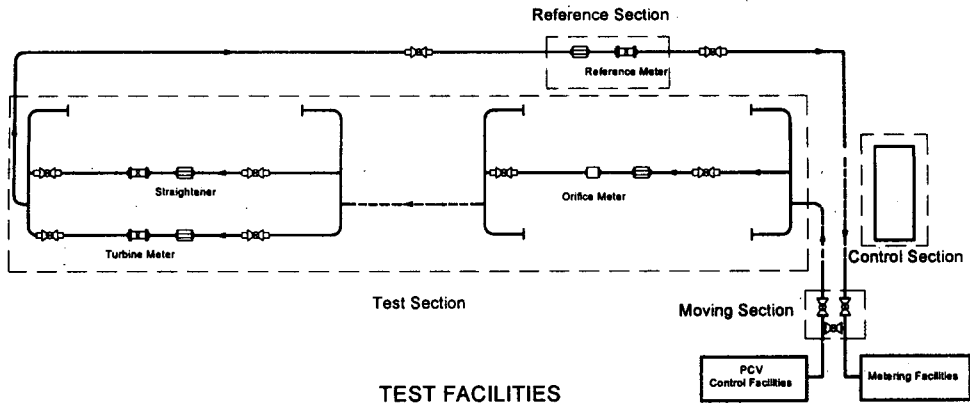


그림 2. 실험 설비 개략도

은 오른쪽의 것이며 왼쪽의 터빈 유량계 설치 부분은 본 연구와 무관한 부위이다.

2.2 실험방법

실험은 관 직경비(β , 오리피스 직경에 대한 배관 직경의 비) 0.3, 0.5, 0.7에서 수행되었다. 실험순서는 오리피스 플레이트의 정방향(FORWARD) 실험을 먼저 실시하였으며, 실험이 완료되면 오리피스 플레이트를 역방향으로 바꾸어 실험을 실시하였다. 정방향 및 역방향 실험이 모두 완료되면 다른 관직경비의 오리피스 플레이트로 교환하여 실험을 계속 진행하였다. 실험 설비로 공급되는 천연가스 유량은 $0.1Q_{max}$ 부터 $0.56Q_{max}$ [표 1]까지이고, $0.1Q_{max}$ 씩 유량을 증가시키면서 수행하였으며 실험시간은 각각의 유량에서 15 ~ 20분이었다. 여기서 Q_{max} 는 기준 유량계의 최대 유량(절대압 950kPa, 실유량 $1,600 \text{ m}^3/\text{h}$) $15,200 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 을 표

시한 것이다.

표 1. 실험 유량 및 관직경비

유 량 (Nm ³ /h)	관직경비
0.1Q _{max} = 1,500	0.3
0.2Q _{max} = 3,040	
0.3Q _{max} = 4,560	0.5
0.4Q _{max} = 6,080	
0.5Q _{max} = 7,600	0.7
0.56Q _{max} = 8,512	

공급된 천연가스의 압력은 절대압으로 950kPa이고, 실험에 사용된 천연가스는 실험 설비를 통과해서 중동 공급관리소의 계량라인으로 공급된다.

3. 실험 결과 및 분석

그림 3.은 관직경비(β) 0.3에서 실험한 결과를 나타낸 것으로, 정방향 시험 경우는 유량을 0.1과 0.2Q_{max}에서 실험을 하였으며, 그림에서 보는 바와 같이 오차가(1 - 오리피스 유량계에서 측정된 유량/ 기준기에서 측정된 유량 * 100) (+) 방향으로 크게 벗어나지 않았으나 차이를 조금 보이는 것은 유동안정기 설치에 따른 현상으로 보고 있다. 역방향 실험 경우는 0.3Q_{max}까지 실험을 한 것으로써 실험결과가 앞선 실험 결과와 다르게 나타난 것을 알 수 있었다. 즉, 역방향 실험 결과가 정방향 실험 결과와 다르게 (-) 방향으로 오차를 보였고 그 오차 크기가 생각했던 것보다 큰 수치로 나타났다. 오차의 크기는 최대 -15.88% 이었다. 유량이 증가할 때 오차의 변화는 유량의 증가와 거의 무관하게 보였다. 그림 4.는 관직경비(β) 0.5에서 0.4Q_{max}까지 실험한 결과를 나타낸 것으로, 정방향 설치 경우, 그림 3.과 같이 (+) 오차를 보였으나 약간 큰 수치를 보인 것은 같은 유량일 때 걸리는 차압이 다르기 때문이고, 이것은 차압계의 특성(전 측정 범위 중 20% 이하일 때 오차가 꽤 큰 것으로 알려져 있음)과 상관 관계가 있는 것으로

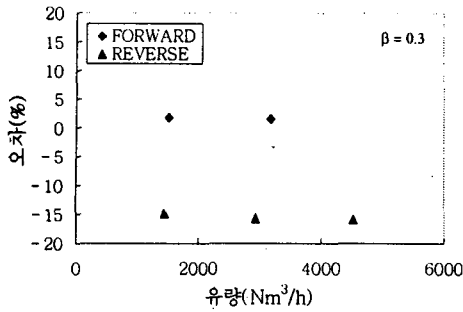


그림 3. 오리피스 플레이트 설치방향에 따른 측정오차($\beta=0.3$)

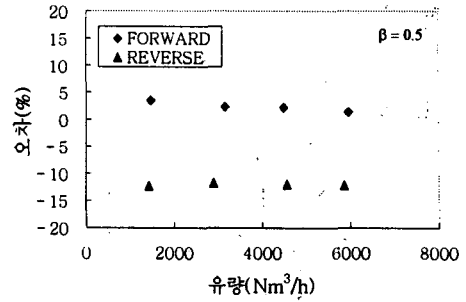


그림 4. 오리피스 플레이트 설치방향에 따른 측정오차($\beta=0.5$)

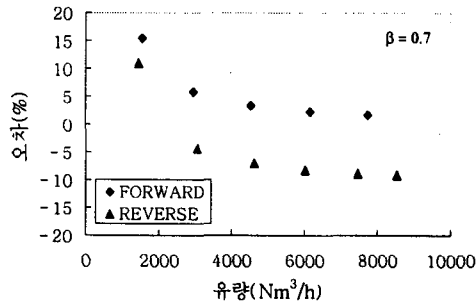


그림 5. 오리피스 플레이트 설치방향에 따른 측정오차($\beta=0.7$)

보이며 차압이 같을 때 오차가 거의 비슷하다는 것을 알 수 있었다. 역방향 설치 경우, 오차가 최대 -12.13%로써 관직경비 0.3에서의 오차보다 다소 줄어드는 현상을 보였으나, 유량의 증가는 오차의 변화에 어떤 영향도 주지 못하였다. 마지막으로, 그림 5는 관직경비(β) 0.7에서 0.56Qmax까지 실험한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 유량이 증가함에 따라 오차가 (-) 방향으로 감소하고 있다는 것을 알 수 있었다. 이것은 관직경비 0.5에서 설명한 것과 같이 차압계의 특성 때문에 발생한 것으로 생각된다. 역방향 실험에서, 유량이 0.56Qmax일 때 오차가 최대 -9.11%까지 나타났으며 관직경비 3가지 중에서 가장 작은 수치를 보였다. 지금까지 각각의 관직경비 실험 결과를 검토해 보았듯이

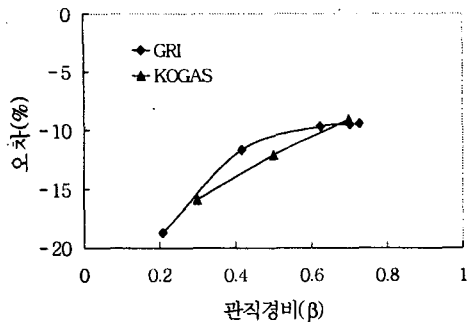


그림 6. 역방향 설치조건에서 GRI와 한국가스공사의 실험 결과 비교

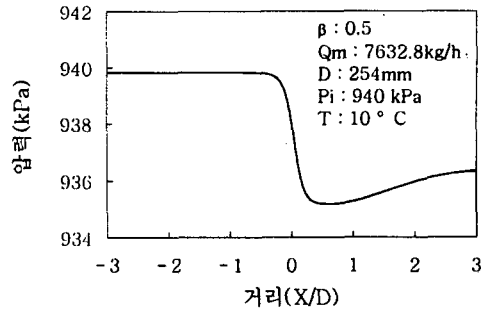


그림 7. 오리피스 플레이트의 상하류측 3D에서 압력변화

오차가 유량에 대하여 거의 반응을 보이지 않았으나 관직경비에 대하여 상당히 민감한 것으로 나타났다.

그림 6.은 국의 실험(GRI) 결과와 한국가스공사에서 실험한 결과를 도표로 나타낸 것이다. GRI 실험 결과, 관직경비가 0.42가 될 때까지 오차가 급격하게 감소하다가 이점을 지나면 완만하게 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 한국가스공사 실험 결과는 관직경비가 증가할 때 오차가 비례적으로 증가한다는 것을 보여주고 있다. 0.3과 0.7의 관직경비 경우, GRI 및 한국가스공사 실험 결과치가 거의 비슷하였고 0.5에서 약간의 차이를 보이고 있는 것은 실험 설비 및 실험 조건이 다르기 때문이다. 그러나 실험 결과를 전반적으로 살펴보면 공통점이 존재한다. 즉, 관직경비가 증가할 때 오차가 줄어들고 있다는 것이다.

다음 그림 7.은 오리피스 플레이트가 FORWARD 방향으로 설치된 오리피스 유량계 내 유동을 시뮬레이션 한 결과로써, 오리피스 플레이트의 상하류측 3D에서 배관 중심의 정압 분포를 나타낸 것이다. Q_m 은 질량 유량이고, P_i 는 배관 입구의 압력을 가리키며, T 는 공급되는 천연가스의 온도를 나타낸 것이다. X 는 오리피스 플레이트를 기점(0 표시 지점)으로 배관의 상하류측 거리를 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 압력이 계속 감소하다가 오리피스 플레이트에 이르러서는 급속히 감소하는 경향을 보여주고 있으며, 베나콘트랙타(Venacontracta) 부분을 통과 직후 회복되고 있음을 보여주고 있다. 이것은 오리피스 플레이트 주변의 압력 변화를 보여주는 전형적인 그림이다. 이 그림에서는 언급이 없지만 역방향으로 오리피스 플레이트를 설치할 경우 압력 변화가 상

기와 다르게 일어나는데, 오리피스 플레이트의 상류측에선 정방향 때와 같은 압력변화가 있으나 하류측에선 베나콘트렉타가 오리피스 플레이트에 더욱 가까이 형성되고 오리피스 플레이트를 통과한 유체는 오리피스 플레이트에 더 가까운 곳에서 팽창이 시작되기 때문에 압력회복이 훨씬 빨리 이루어진다. 따라서 측정되는 차압이 훨씬 작아지는 것이고 (-) 오차를 유발하게 된 것이다.

4. 결론

오리피스 플레이트의 역방향 설치와 관련하여 한국가스공사 및 GRI의 실험을 종합적으로 검토한 결과 다음과 같이 결론을 도출할 수 있었다.

- 첫째, 관직경비에 상관없이, 매우 큰 (-) 오차가 유발되었다.
- 둘째, 관직경비가 작은 것일수록, 보다 큰 (-) 오차가 유발되었다.
- 셋째, 유량의 경우는 오차에 대하여 민감한 영향을 주지 못하였다.

참고문헌

- [1] "Orifice Meter Error With Reversed Beveled Plates", JAMES N. WITTE, Superintendent, Field Measure Services, Tennessee Gas Pipeline Company, 97-OP-062.
- [2] 18th North Sea Flow Measurement Workshop 2000, "Correction of Reading from an Orifice Plate Installed in Reverse Orientation", G J Brown, M J Reader-Harris and J J Gibson, National Engineering Laboratory, UK and G J Stobie, Phillips Petroleum Co. UK Ltd.
- [3] "유량계 현장 비교 실험 연구", 한국가스공사 연구개발원, 1998. 8.