

천연가스 유량측정기술의 현황 및 전망

박경암* · 허재영**

1. 서 론

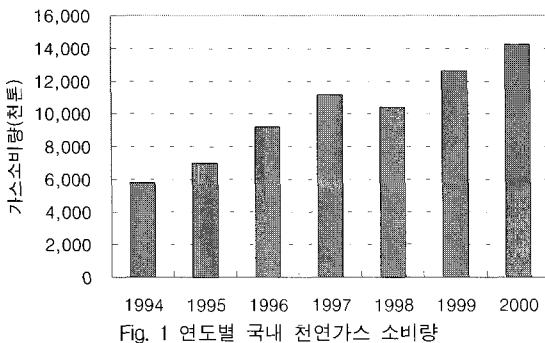
천연가스가 국내에 본격적으로 쓰이기 시작한 것은 1986년부터이며, 초기 몇 년 동안에는 주로 발전용 연료로 쓰기 위해 도입하였고, 그 양은 약 200만톤 정도에 불과하였다. 그러나 1990년대 초반부터 정부의 환경 정책에 힘입어 천연가스 사용량이 Fig. 1과 같이 급증하였으며, 지금은 전체 사용량의 70 %를 가정용, 업무용, 산업용으로 사용하고 있다. 2001년 기준으로 천연가스의 국내 총 사용량은 약 1,400만톤에 이르며 한국가스공사의 매출액 기준으로 이는 약 7조원에 해당한다. 이중 약 5조원 가량이 도시가스회사를 통해서 소비자에게 공급된다.

천연가스는 한국가스공사에서 액체 상태로 도입하고 이를 기화시켜 도시가스회사에 공급하며, 도시가스회사는 소비자에게 이를 판매하고 있다. 이 유통 경로에서 공급받은 가스 유량과 판매한 가스 유량 사이에는 이상적인 경우에는 차이가 없어야 한다. 그러나 가스 유량측정을 하는 계량기의 허용오차 및 여러 가지 원인으로 발생할 수 있는 측정오차에 기인하여 공급받은 가스 유량과 최종 소비자에게 판매한 가스 유량 사이에

차이(미설명 가스, Unaccounted-for gas)가 발생한다. 따라서 공급량과 판매량의 차이가 계약서나 규정에서 허용하는 범위 내에 있는 경우는 그 차이를 인정하고 있지만 차이가 범위 밖에 있는 경우에는 그 원인 분석이 필요하다.

미설명 가스(UAF)는 아래와 같이 정의되며, 실제로 설명 가능한 모든 물량은 공급받은 가스 유량과 판매한 가스 유량에 포함되므로 이 미설명 가스의 양은 원인이 확실하게 밝혀져 있지 않는 계량오차나 검침시점의 차이 등에 기인한다. 1999년 감사원의 산자부 및 가스공사 감사에서 밝혀진 바에 의하면 도시가스회사(수도권)들의 미설명 가스량은 1996년에 47,800,000 m³, 1997년에 63,000,000 m³, 1998년에 102,300,000 m³ 정도로 3년 동안 약 213,100,000 m³가 되고 이는 전체 물량 대비 약 1.3 %에 해당되는 것이다.

외국의 사례를 보면, 미설명 가스 발생은 운영상의 이유(계량, 절도, 누설, 대기압, 파손, 건설 활동 등)와 회계상의 이유(계약상의 이유, 자료입력 오차, 검침 및 요금징수의 주기, 매입출 원장의 관리 미진, 자체소비, 검침의 부정확 등)의 크게 두 가지로 발생한다. 본 특집에서는 미설명가스의 가장 큰 요소인 가스 유량측정에서 발생할 수 있는 요인을 감소시키기 위해서 현재 가스 유량측정 기술의 현황과 앞으로의 전망에 대해서 예측하기로 한다.



* 한국표준과학연구원 유체유동그룹

** 한국가스공사 연구개발원

E-mail : kapark@kriss.re.kr

$$UAF = A - B$$

A = 공급된 가스 유량

→ 가스구매장부 원장에 기재된 월간 가스량

B = 판매한 가스 유량

(가스판매, 라인팩 증가량, 자체소비, 기타)

→ 결산서상 월간 매출량

$$UAF \% = UAF/A \times 100 \%$$

Table 1 일반적인 천연가스 각 성분의 분자량 수치(출처 : GPA 2145)

탄화 수소		비탄화 수소	
성분	분자량	성분	분자량
Methane	16.0430	Nitrogen	28.0135
Ethane	30.0700	Water	18.0153
Propane	44.0970	Hydrogen	2.0159
i-Butane	58.1230	Oxygen	31.9988
n-Butane	58.1230	Helium	4.0026
i-Pentane	72.1500	Hydrogen- Sulfide	34.0820
n-Pentane	72.1500		
n-Hexane	86.1770		

Table 2 천연가스 각 성분의 단위 질량당 고위발열량 수치(출처 : GPA 2145)

성분	단위 질량당 고위발열량 (MJ/kg)
Methane	55.575
Ethane	51.950
Propane	50.368
i-Butane	49.388
n-Butane	49.546
i-Pentane	48.949
n-Pentane	49.045
n-Hexane	48.716
n-Heptane	48.473
n-Octane	48.288

2. 천연가스의 물성치

천연가스의 유량측정이나 유량계 선정에 고려되어야 할 요소는 천연가스의 발열량, 밀도, 점도, 측정상태의 온도, 압력이다. 천연가스의 성분을 측정하면 발열량, 밀도, 점도는 계산할 수 있다.

수입하는 천연가스는 메탄이 주성분인 혼합가스로서 산지별로 그리고 산지에서 처리 과정에 따라서 성분과 각 성분의 조성비가 다르다. Table 1은 천연가스에 일반적으로 포함되는 성분들과 각 성분별 분자량이다. 국내에서 사용되고 있는 천연가스는 주성분인 메탄이 체적비로 약 90%를 차지하고 있고 에탄이 약 8%, 그밖에 프로판, 부탄, 펜탄, 질소, 이산화탄소 등이 섞여 있다. 이 조성비는 수입할 때마다 약간씩 차이가 있으나 대동소이하다. 주성분인 메탄의 분자량이 공기보다 훨씬 작아 천연가스의 가스비중은 약 0.62에서 0.63까지로 공기보다 훨씬 가벼워서 가스 누출 시 바닥에 가라앉지 않고 즉시 대기로 흩어지는 특성을 가지고 있다. 발열량은 10,480 kcal/m³에서 10,700 kcal/m³까지 나올 수 있으나 10,550 kcal/m³ 정도로 거의 일정한 값을 유지한다.

천연가스 자체는 냄새가 없는 특성을 가지고 있으나 가스 누설을 알기 위해서 인체에는 무해하지만 독한 냄새가 나는 황 화합물을 인위적으로 극미량 섞어 주고 있으며 이를 부취제라고 한다. 천연가스에는 부취제 이외에 이물질이 섞일 수 있어 유량 측정시에 간혹 문제가 될 수 있는데 이들 이물질들은 원래부터 천연가스에 포함된 것은 아니고 배관 설비에 유입되었던 이물질이나 배관 설비 내부에서 떨어져 나온 탄소화합물이나 금속 산화물들이다. 배관 설비 곳곳에 필터나 스트레이너가 있어 상당량이 걸러지게 되어 있으나 미세한 미립자들 중 일부가 통과되어 섞여 있다. 흔히

천연가스 발열량이라고 하는 것은 고위발열량을 의미하는데 천연가스가 연소될 때 열로 방출되는 총량을 말하고 이 총량에서 연소생성물인 물이 증기가 되면서 가져가는 열량이 빠진 값을 저위발열량이라고 한다. Table 2는 천연가스를 이상기체로 보았을 때 각 성분의 단위 질량당 고위발열량이다. 따라서 이 표에 수록된 값을 이용하여 천연가스의 고위발열량을 계산할 때에는 실제 기체로의 환산이 필요하다.

현재 천연가스의 성분의 변화에 관계없이 가스 밀도(가스비중)를 일정한 값으로 사용하고 있어 유량측정의 오차요인이 되고 있다. 또한 천연가스의 점도에도 영향을 미치기 때문에 오리피스 유출계수나 터빈 유량계의 K-factor의 레이블즈 수가 틀려서 오차요인이 될 수 있다. 가스성분에 따라 가스 발열량이 달라지면 소비자는 현재 가스 유량으로 가스를 구매하지만 실제로 구입한 열량이 다르게 된다.

3. 천연가스 유량측정용 가스유량계

오리피스 유량계는 오랫동안 가장 폭넓게 사용되어 왔던 유량계이므로 설계, 제작, 운영 등에 관련된 자료가 풍부하고 신뢰도가 높으며, 또한 누구에게나 잘 알려져 있는 유량계이기 때문에 사용 자체에 대해 시비나 분쟁의 소지가 없는 유량계이다.

한국가스공사의 계량설비는 초기에는 오리피스 유량계를 사용하였으며 최근에는 터빈 유량계를 설치하고 있다. 대부분의 계량설비에는 오리피스 유량계가 설치되어 있다. 오리피스 계량설비는 Fig. 2와 같으며 유량측정에 사용되는 계측기는 차압전송기, 압력전송기, 온도전송기이다. 이들 전송기 신호는 모두 4~20mA의 아날로그 신호이며, 고정밀 셉트 저항을 거쳐 전압으로 변환된 후 유량컴퓨터의 아날로그 입력보드로 입력된다.

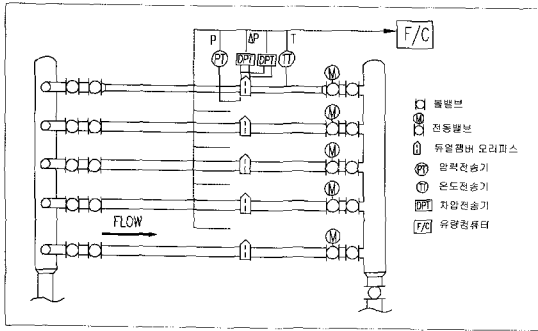


Fig. 2. Orifice metering station

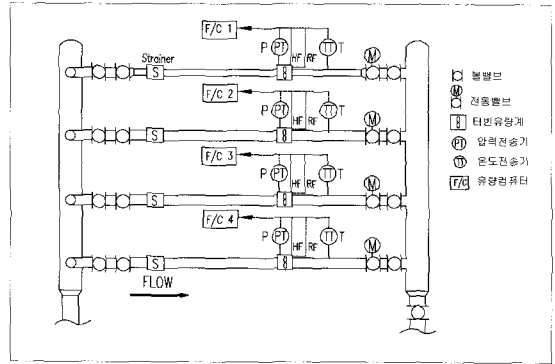


Fig. 3 Turbine meter metering station

오리피스 유량계의 유량측정 국제규격인 ISO 5167 이 개정되면서 많은 사항이 수정되었다. 그 중에서 오리피스 앞에 요구되는 직관부 길이가 크게 늘어나 이 요구사항을 만족하기 어려운 경우가 발생할 수 있다.

정밀 가공 기술이 발달하면서 각광을 받기 시작한 유량계가 터빈 유량계이다. 터빈 유량계는 내부 구조가 복잡하고 구동 부위가 있어서 가공 기술이 정밀하지 못했던 과거에는 오리피스 유량계에 필적하는 정밀도를 가질 수 없었다. 그러나 오리피스 유량계의 정밀도에 필적하는 정밀도가 생기면서 터빈 유량계가 선호되기 시작하였는데 이것은 터빈 유량계가 오리피스 유량계의 매우 취약한 단점을 보완해 주기 때문이다. 오리피스 유량계는 측정비가 3에서 4 : 1 정도로 측정범위가 가장 작은 유량계중 하나이며 또 유량계중 가장 긴 직관부 길이가 필요한 유량계이다. 이에 비해 터빈 유량계는 압력에 따라 달라지지만 최소한 20 : 1 이상의 측정비를 가지며 오리피스 유량계 직관부 길이의 1/3 밖에 안되는 직관부 길이만을 필요로 한다. 국내에서 천연가스의 고압 대유량 측정용으로 사용되기 시작한 것은 불과 몇 년 전부터이며, 연중 계량 물량 변화가 많고 넓은 부지를 가질 수 없는 지역에서는 현재 터빈 유량계만을 설치하고 있다. 터빈 유량계의 최대 단점은 유체에 스웰이 있으면 오차가 매우 커진다는 것이고, 이를 피하기 위해 터빈 유량계 설치 시에는 반드시 유동안정기를 설치하거나 그렇게 하지 못하는 경우에는 ISO에서 규정하는 교란테스트를 받아 결과에 대한 인정을 받은 유량계만을 사용해야 한다.

한국가스공사의 터빈 계량설비(Fig. 3)에서 유량측정에 사용되는 계측기는 압력전송기, 온도전송기 그리고 터빈 출력신호인 펄스이다. 오리피스 유량계와 달리 압력, 온도는 HART(Bell 202 FSK) 통신을 이용하여 유량컴퓨터에 디지털로 전송한다. 터빈출력신호는 보통

2개인데 하나는 유량계산에 쓰이는 HF(High Frequency) 이고 다른 하나는 HF를 감시하기 위한 LF 이다. HF는 전류 펄스 신호이고, LF는 전압(점점 타입) 펄스이며 이 두 신호는 AMP를 통하여 구형파로 바뀐 뒤 유량컴퓨터로 입력된다. 유량컴퓨터는 라인별로 1 개씩 있으며, 모니터용 유량컴퓨터에서 라인별 총 공급량을 계산한다.

볼텍스 유량계는 일본에서 제작되어 주로 일본에서 많이 사용되고 있는 유량계이다. 이 볼텍스 유량계는 측정 원리상 측정비가 20 : 1 이상으로 매우 크고 오리피스 유량계와 같이 구동 부위가 없다는 장점을 가지고 있다. 그러나 측정 원리가 유체 내에 있는 고체 물체 뒤에 형성되는 칼만 볼텍스에서 압력 변화를 측정하여 유량을 유추하는 방식이기 때문에 유체 내부에 압력의 맥동이 있는 경우에는 극심한 오차를 보일 수 있다는 점에 주의해야 한다. 국내에서는 천연가스의 고압 대유량 측정용으로 사용되고 있지 않다.

다회선 초음파 유량계는 아주 최근에 그 정밀도와 안정성이 점차 확인되고 인정되면서 사용 영역을 넓혀가고 있는 가장 확실한 차세대 유량계로 주목받고 있는 유량계이다. 다회선 초음파 유량계는 오리피스 유량계, 터빈 유량계, 볼텍스 유량계 등이 가지고 있는 장점을 그대로 살리면서 동시에 이들 유량계들이 각기 가지고 있는 단점들을 모두 보완하고 있는 유량계로 인정받고 있다. 뿐만 아니라 기존의 어떤 유량계도 피할 수 없었던 오염물에 의한 오차로부터 자유로워졌다는 장점까지 갖춘 유량계이다. 약 5년 전부터 유럽과 북미 등지에서 현장에서 실제로 사용되고 있는 유량계들과 직렬로 연결하여 비교 검토하여 그 정밀도와 안정성을 확인하였고, 그 결과가 알려지면서 아주 최근부터 점차적으로 사용되고 있는 중이다. 다회선 초음파 유량계의 최대 단점은 가격이 기존의 유량계보다 2

배에서 3배 이상 비싸다는 사실이다. 이러한 비싼 가격은 점차 나아질 것으로 보이나 당분간 기존 유량계들의 가격대로 낮아지지는 않을 것으로 보이며, 만약 가격이 충분히 낮아지게 되면 전체 고압 대유량 시장을 석권할 수도 있을 것으로 보인다. 국내에서는 아직 천연가스의 고압 대유량 측정용으로 사용되지 않고 있으나 그 사용에 대해 적극적으로 검토가 이루어지고 있는 중이다.

천연가스의 소매 거래용으로 사용되고 있는 유량계는 터빈 유량계, 볼텍스 유량계, 막식 유량계 등이다. 공급 물량이 큰 산업체용으로 가장 많이 쓰이고 있는 유량계는 터빈 유량계이며 볼텍스 유량계가 일부 쓰이고 있다.

국내에서 천연가스를 거래할 때 기준온도는 0℃이며 기준압력은 1.013 bar이다. 산업용 터빈 유량계의 측정 상태에서 가스 유량을 기준상태로 환산하기 위해서 온도 및 압력 보상장치(volume corrector)를 Fig. 4와 같이 설치하여 사용하고 있는 곳이 대부분이다. 산업체에서 터빈 유량계, 온도 및 압력 보상장치를 교정하지 않고 사용하고 있는 경우가 많으며 국내 검증 기준도 없다. 산업체 규모는 아니지만 비교적 유량이 큰 업무용으로는 중형 막식 유량계가 사용되고 있고 유량이 적은 가정용으로는 소형 막식 유량계가 사용되고 있다. 각 가정의 가스 소비량은 산업체에 비하여 작지만 약 860만 개가 설치되어 있으며 가스 소비량은 천연가스의 65% 정도를 사용하고 있다.

국내 가스유량계의 규격으로는 가정용 가스 미터에 관한 KS B 5327가 유일한 규격이며 가스 압력이 1000 mmH₂O 이하이고, 그 사용 최대 유량이 5.5 m³/h 이하인 가스 부피의 측정에 사용하는 유량계로서 막(diaphragm)이 내장된 유량계에 적용한다. 유량계가 가스 유량을 감지할 수 있는 시동 유량과 지정된 한 개의 유동율에서 오차가 ±2% 이내의 조건을 만족시키면 된다.

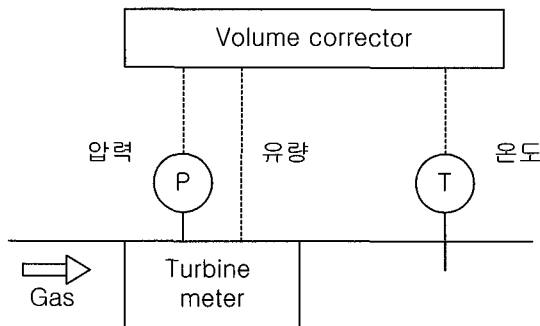


Fig. 4 Volume corrector

가스미터에 관한 국제 규격으로는 OIML R 6, OIML R 31, OIML R 32, ISO 관련 규격이 있다. 이 국제규격에서는 가스미터의 유동을 범위에 따라 2구간으로 나누어 허용오차를 주고 있으며 오차시험도 7개의 유동율에서 하도록 되어있다.

천연가스의 소매 거래 시에는 압력이 절대압력으로 1에서 2기압 정도로 저압이기 때문에 대개의 경우 압측계수가 고려되지 않으며 경우에 따라 실측에 의한 온도나 압력 보정을 하지 않는 경우도 종종 있으며 막식 유량계에서는 온도 및 압력 보정을 하지 않는다. 온도 압력 보상장치가 고가이기 때문에 가정용 막식 가스미터에는 설치하기가 어렵다.

물량이 대규모가 아니기 때문에 모니터링, 기록, 통신 등과 관련된 일체의 장비가 붙어 있지 않으며 한 달에 1번 있는 검침은 유량계에 장착된 지시부에서 확인한다. 최근에 가정용 막식 유량계의 검침에 대한 문제점이 많아지면서 원격 검침과 전산 통지 등과 같은 방법에 대해 검토가 진행되고 있다.

4. 결론

한국가스공사 계량설비에서 많이 사용되고 있는 오리피스 유량계는 요구되는 직관부 길이 및 사용범위가 작아 터빈 유량계로 바뀌어지고 있다. 초음파 유량계의 사용 가능성에 대해서 현장 실험 및 연구가 진행 중이다.

산업용으로는 터빈 유량계가 많이 사용되고 있으며 앞으로도 계속 사용될 것 같다. 업무용으로는 터빈 유량계와 중형 막식 가스미터가 사용되고 있으며 가정용으로는 막식 가스미터가 계속 사용될 것이다.

천연가스의 수입처가 다변화되고 러시아로부터 파이프라인으로 수입되는 경우를 고려하면 현재 판매되고 있는 가스 유량에서 가스 열량단위로 거래가 되어야 할 것이다. 이와 같은 상황을 준비하고 가스 유량 측정에 들어가는 가스 밀도(가스비중), 점도의 정확한 계산을 위해서 천연가스의 성분 분석이 필요하다.

유량계 및 유량측정에 필요한 압력, 차압, 온도계의 주기적인 교정이 필요하며 교정 데이터가 유량계산에 사용되어야 한다. 이를 위한 제도적인 장치가 필요하다.

막식 가스미터의 온도, 압력을 보상하기 위해서 기준이 되는 지역에 따라 가스온도와 가스 압력을 설정할 필요가 있으며 저렴하게 가스 온도를 보상할 수 있는 장치의 개발이 필요하다.