◎ 특 집

국내 천연가스 유량계 운영 현황

허재영*

1. 서 론

천연가스는 메탄이 주성분인 혼합가스로 기존의 화석 연료보다 안전성, 환경 친화성, 사용상의 편리성 측면에서 강한 강점을 가지고 있어 국내에서 뿐 아니라 외국에서도 가장 선호도가 높은 1차 에너지원으로 알려져 있다. 국내에서 사용되고 있는 천연가스는 인도네시아, 말레이시아, 오만, 카타르 등지에서 전량 수입되며 영하 162℃의 액체 상태로 LNG(Liquified Natural Gas) 선박에 의해 전량 운송되어 평택과 인천 두 군데에 있는 생산기지에서 하역되고 기화된 후 배관으로 전국에 흩어져 있는 소비처까지 수송된다. 천연가스가 국내에 도입되어 사용되기 시작한 것은 1986년으로 그 사용 역사가 길지 않다. 초기에는 그 사용량이 약 200만톤 정도이었으나 정부의 환경 정책과 천연가스 사용의 선호에 힘입어 1990년 이후 급속도로 천연가스 소비량이 증가하였으며 1999년에 1,300만톤에 육박했고 2000년에는 1,400만톤을 초과할 것으로 전망된다. 1,400만톤의 천연가스 물량은 도매 가격을 기준으로 할 때 약 5조원 가량이 되는 것으로 이 물량이 가스유량계에 의존하여 거래가 되므로 천연가스 사용량이 급속도로 증가하는 것과 같이 유량계의 중요성 또한 급격히 증가하고 있는 실정이다.

국내 천연가스 산업 구조는 액체 상태로 도입되고 도매 부문과 소매 부문으로 이원화되어 공급된다는 것이 특징이며 도입과 도매 부문은 한국가스공사가 맡고 있고 소매 부문은 전국에 흩어져 있는 30 여개의 도시가스사가 맡고 있다. 한국가스공사는 10 여개의 발전소에 직공급하는 동시에 각 도시가스사에 도매를 하고 도시가스사는 공장, 영업소, 아파트 단지내 난방기, 가정 등지에 소매를 하고 있다. 이러한 천연가스 산업 구조로 인해 도입에서 최종 수요처까지 천연가스가 가는 중간에 3차례의 계량이 이루어진다. 도입시의 계량은 LNG 선박 탱크내에 설치되어 있는 레벨 게이지 및 기타 측정 시스템으로 하역 전후의 탱크내 보유량 차이를 측정하므로써 이루어지고 발전소 직공급시와 도시가스사 공급시에는 고압대유량의 가스유량계로, 도시가스사가 최종 수요처에 공급할 때에는 저압소유량의 가스유량계로 각각 계량케 된다. 여기서는 주로 고압대유량의 천연가스 유량계의 사용 현황에 대해 알아보고자 한다.

* 한국가스공사
E-mail : jyher@kogas.re.kr

2. 천연가스의 성질

천연가스는 주성분인 메탄이 체적비로 약 90%를 차지하고 있고 에탄이 약 8%, 그밖에 프로판, 부탄, 펜탄, 질소, 이산화탄소 등이 미소량씩 섞여 있는 혼합가스이다. 이 조성비는 산지별로 약간씩 차이가 있으나 대동소이하며 가스비중이 약 0.62에서 0.63까지로 공기보다 훨씬 가벼워 가스 누출시 바닥에 가라앉지 않고 즉시 대기로 흩어지는 특성을 가지고 있다. 발열량은 10,480 kcal/m^3에서 10,700 kcal/m^3까지 나올 수 있으나 10550 kcal/m^3 정도로 거의 일정한 값을 유지한다.

천연가스 자체는 냄새가 없는 특성을 가지고 있으나 가스 누설시 누설 인지를 위해 인체에는 무해하지만 독한 냄새가 나는 황화합물을 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 설비시에 유입되었던 이물질이나 배관 설비 내부에서 떨어져 나온 탄소화합물이나 금속 산화물들이다. 배관 설비 곳곳에 필터나 스트레이너가 있어 상당량이 걸러지게 되어 있으나 미세한 미립자들중 일부가 통과되어 섞여 있다.

3. 사용 유량계의 종류

고압대유량용으로 사용되던 천연가스 유량계는 오리피스 유량계이다. 이 유량계는 지난 100년 동안 천연가스 산업에서 가장 널리 사용되어 오던 유량계로

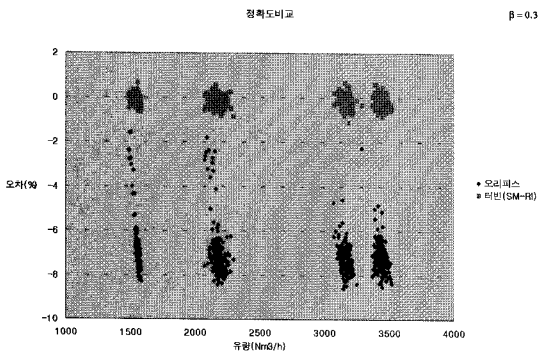

그림 1 직관부 길이가 충분치 않을 때 오리피스 유량계와 터빈 유량계의 오차를 실험한 결과 사례

최근까지 우리 나라뿐 아니라 유럽이나 미국에서도 가장 많이 사용했던 유량계이다. 오리피스 유량계의 최대 장점은 구조 및 원리가 간단하고 구동 부위가 없으며 정확도에 대한 신뢰도도 높으면서 가격이 저렴하며 또 가장 오래 널리 사용되던 유량계이므로 축적 기술자료가 많다는 장점을 가지고 있다. 그러나 오리피스 유량계는 결정적으로 긴 직관부 길이가 필요하여 넓은 사용 부지를 요구하며 유량 측정비가 3:1에서 4:1 정도로 유량계중 가장 작다는 단점을 가지고 있다. 그림 1은 직관부 길이가 충분치 않을 때 오리피스 유량계와 터빈 유량계의 오차를 실험한 결과중 하나이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 직관부 길이가 짧으면 조건에 따라 오리피스 유량계의 오차가 심각하게 날 수 있다. 천연가스 설비는 설비와 울타리까지의 이격거리가 법적으로 정해져 있기 때문에 설비가 차지하는 면적만 문제가 되는 것이 아니고 그 이상 몇 배에 해당하는 부지가 더 필요하게 되므로 부지의 값이 비싼 지역에서는 쉽게 취부될 수 있는 문제가 아니다. 유량 측정비는 일년 내내 유량이 크게 변하지 않는 발전소와 같은 경우에는 크게 문제가 되지 않으나 도시가스사 공급시에는 크게 문제가 될 수 있다. 실제로 현장에서 사용되고 있는 오리피스 유량계는 듀얼 챔버(Dual Chamber) 방식의 유량계(그림 2 참조)로 천연가스의 공급 중단 없이 관내에 삽입되어 있는 오리피스 판을 꺼내거나 삽입할 수 있도록 고안되어 있다.

한편 복잡한 구조를 가지고 있을 뿐만 아니라 구동 부위가 있어 마모에 의한 특성 변화를 감수해야만 했고 이때문에 그동안 저압용으로 쓰이거나 아니면 높은 정밀도를 요구치 않는 공정용으로 많이 쓰이던 터빈 유량계가 최근 들어 정밀 가공 기술이 발달하면서 오리피스

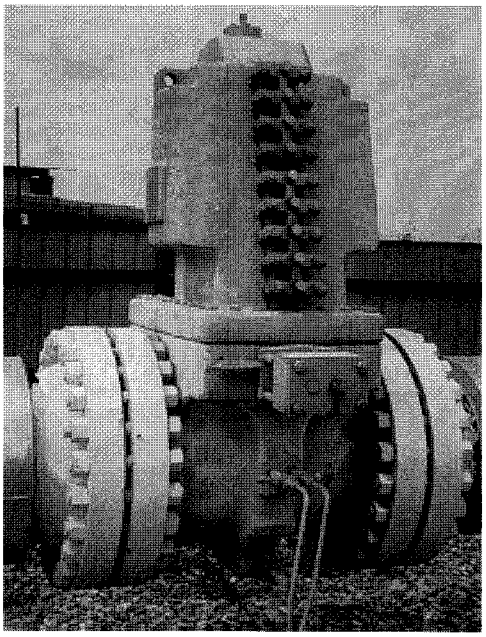

그림 2 듀얼 챔버 방식의 오리피스 유량계

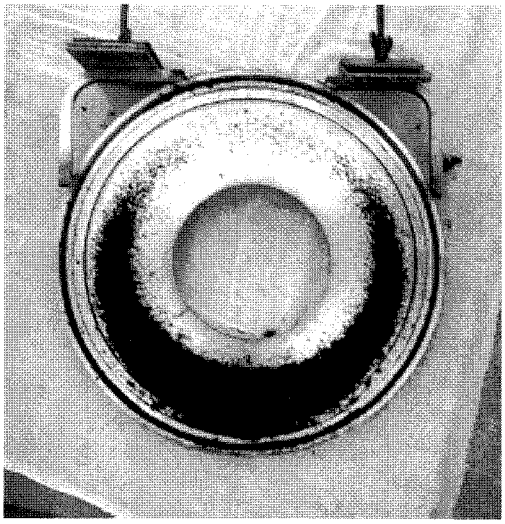

그림 3 오리피스 판에 오염물이 부착된 사례

유량계에 필적하거나 혹은 더 나은 정밀도를 갖기 시작하였다. 터빈 유량계는 오리피스 유량계가 가지고 있는 두가지 중요한 단점을 해결해 줄 수 있기 때문에 일정 수준의 정밀도를 갖기 시작한 10여년 전부터 각광을 받기 시작하여 지금은 전세계적으로 오리피스 유량계만큼 고압대유량용으로 널리 사용되고 있다. 오리

피스 유량계의 경우 구조가 단순하여 모든 제작 조건이 표준규격서에 명기가 되어 있으므로 표준규격서에 따라 제작 설치된 경우 유량계에 대한 교정검사는 하지 않는다. 터빈 유량계는 구동 부위를 가지고 있고 구조도 비교적 복잡하여 제작사별로 다 다르기 때문에 정기적으로 교정검사를 하는 것이 일반적이다. 일반적으로 천연가스에 오염물이 포함되어 있으면 유량 측정에 장애가 생기는데 오리피스 유량계(그림 3 참조)나 터빈 유량계 모두 이러한 장애로부터 피할 수 없는 단점을 가지고 있다.

현재 국내에서 천연가스 고압대유량용으로 사용되고 있는 종류는 위에서 설명한 오리피스 유량계와 터빈 유량계 두종류 뿐이다. 약 4, 5년 전부터 다경로 초음파 유량계(Multi-Path Ultra-Sonic Flowmeter)라는 가스 유량계가 검토되기 시작하여 지금은 외국에서 조금씩 쓰이고 있다. 이 유량계는 현재까지 확인되기로는 오리피스 유량계나 터빈 유량계가 각각 가지고 있던 단점들을 모두 보완하면서 오염물에 강점을 가지고 있어 천연가스의 유량 측정으로는 거의 완벽한 유량계로 부상하고 있다. 국내에서 아직 채택되지 않은 이유는 검토가 충분히 이루어지지 않았기 때문이기도 하지만 가격이 기존 유량계에 비해 3배 정도로 고가이기 때문이기도 하다.

4. 유량계 운영 현황

현재 한국가스공사에 유량 측정 설비가 구축되어 운영되고 있는 공급관리소는 70여 군데 정도이고 공급관리소별로 유량 측정 설비를 2세트 이상 보유하고 있는 곳도 있어 전체 유량 측정 설비의 개수는 90개 정도이다. 각 유량 측정 설비는 2라인 이상 5라인 이하의 라인 수를 가지고 있어 총 라인 수는 약 300라인 정도이다. 현재 서해권과 일부 남부권 그리고 강원권 등이 일부 구간이 완공되면 공급을 개시하면서 나머지 구간을 계속 건설 중에 있기 때문에 정확한 통계를 뽑기는 불가능하다. '98년 이전에는 오리피스 유량계를 주 유량계로 쓰고 일부 공급관리소에서 미소 유량만 터빈 유량계로 측정했었으나 '98년부터 도시가스 공급용은 모두 터빈 유량계로 설치해 왔다. 그래서 현재는 모든 발전소 공급용은 오리피스 유량계, 도시가스 공급용은 일부는 오리피스 유량계가, 나머지 일부는 터빈 유량계가 사용되고 있다.

오리피스 유량 측정 설비는 유량계 자체와, 차압전송기, 압력전송기, 온도전송기, 실밀도계, 가스분석기, 유량컴퓨터 등으로 구성되어 있고(그림 4 참조) 모든

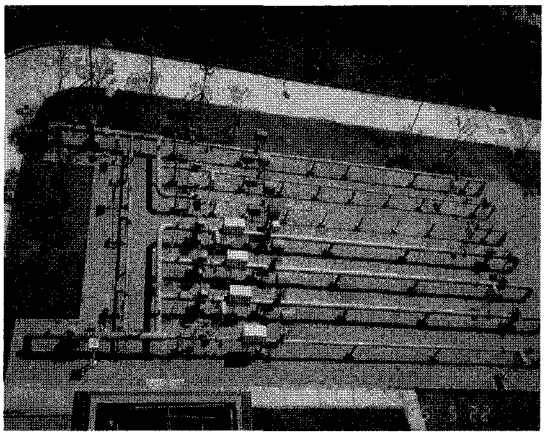

그림 4 오리피스 유량 측정 설비 사례

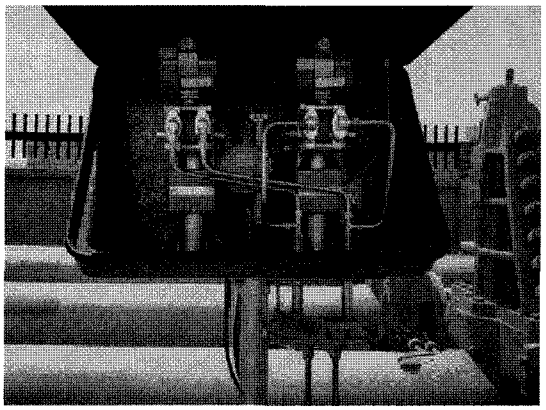

그림 5 두 개가 설치된 차압전송기

측정기에서 나오는 신호는 유량컴퓨터에 입력되어 유량 계산케 되어 있다. 차압전송기의 경우 유량측정비를 키우기 위해 최대 차압이 다른 두 개가 사용된다(그림 5. 참조). 터빈 유량 측정 설비는 유량계 자체와, 펄스전송기, 압력전송기, 온도전송기, 유량컴퓨터 등으로 구성되어 있고 마찬가지로 유량컴퓨터에서 유량 계산케 되어 있다. 각 라인의 직경은 100 mm부터 600 mm까지 있으며 발전소 공급용은 대개 계기압력 27 기압, 도시가스 공급용은 계기압력 8.5 기압으로 운용된다. 모든 설비의 제작 조건이나 설치 조건은 ISO 혹은 AGA 의 표준규격서 혹은 권고서를 따르고 있다.

5. 유량 측정 설비의 오차 관리

유량 측정 설비는 천연가스를 거래하는 용도로 사용하기 때문에 기술이 허용하는 최고의 정밀도를 요구

하며 대개의 경우 설비 오차 ±1.0%로 설계한다. 설비 오차에는 유량계 자체의 오차, 차압전송기, 압력전송기, 온도전송기 등의 오차, 밀도 계산 오차 등이 모두 감안되어 계산된다. 오리피스 유량계의 경우 유량계 자체의 오차는 ±0.7% 이내의 제작 및 설치 조건을 사용하며 각종 전송기류의 오차는 ±0.1% 이내의 것을 사용한다. 한 개의 유량 측정 설비는 연중 수없이 많은 조건에서 사용되므로 특정 조건에서만 사용할 때 발생할 수 있는 편향 오차가 나타날 수 있는 확률은 매우 적으며 만약 이러한 편향 오차가 지속적으로 나타나는 경우에는 특별한 요인이 있는 것으로 간주되어 집중 분석된다. 이러한 경우의 대표적인 사례중 하나가 오염물 부착인데 오염물 부착은 마이너스의 편향오차를 초래하며 이를 방지하기 위해 주기적으로 배관 및 오리피스 판을 세척해 준다. 또 다른 하나의 사례가 짧은 직관부 길이인데 대개 현장의 설비 배관 구조는 복잡하기 때문에 스월의 발생 가능성이 크며 이 스월 역시 마이너스의 편향오차를 가져오기 때문에 직관부 길이를 늘리거나 이것이 여의치 않을 경우 다른 유량계로 교체해 준다. 터빈 유량계는 유량계 자체의 오차가 ±0.5%인 것으로 사용한다.

앞에서 밝힌 바와 같이 오리피스 유량계의 교정검사는 하지 않으며 터빈 유량계의 경우 3년에 한번씩 정기 교정검사를 받게 되어 있는데 '98년부터 설치하였기 때문에 아직 한번도 정기 교정검사가 이루어진 바 없다. 그러나 터빈 유량계 구매시에 국외의 신뢰할 만한 기관에서 교정검사를 받아 그 성적서를 첨부하여 납품받았으며 2001년도부터는 현재 부천의 중동 공급관리소에 짓고 있는 한국가스공사의 교정검사 설비에서 교정검사를 받게 된다. 각종 전송기류와 오리피스 판에 대해서는 1년에 한번 정기적으로 교정검사를 받게 되어 있고 이 교정검사는 한국가스공사 연구개발원의 국가 교정검사 기관에서 수행하고 있다.

각 설비별 오차가 얼마나 되는 지를 추적하는 것은 가능한 일이 아니나 각 회사별로는 천연가스를 받을 때와 공급할 때 유량 측정을 하기 때문에 그 회사가 보유하고 있는 설비 전체에서 유입(Input)과 유출(Output) 차이를 추적하는 것은 가능하다. 또 발전소에서는 발전 효율을 항상 관리하기 때문에 또한 이것이 가능하다. 대개의 경우 유출이 유입보다 적게 나타나는 것이 일반적이기 때문에 이 유입과 유출의 차이를 미계량이라 하며 외국에서는 UAF(Un-Accounted For Gas)라고 칭한다. 이 미계량을 얼마나 적게 유지하는 가는 유량 측정 설비의 유지와 관리에 투자를 얼마나 하는 가에 달려 있다. 거대한 양을 국외에서 도입하여 이를 국내에서 일부 소비하고 상당량을 다른 국가에 수출하는 네덜란드와 같은 나라에서는 유량 측정의 중요성이 증폭되어 있기 때문에 유량 측정에 투자를 많이 하고 있고 이 때문에 세계에서 가장 유량 측정 기술이 발달한 나라중 하나로 인정받고 있다.

6. 유량 계산

유량 계산과 관련된 모든 계산은 유량컴퓨터 내에서 이루어지며 가스분석기로 발열량과 기준밀도 혹은 가스 비중을 계산하는 경우에만 가스분석기의 인테그레이터에서 계산한다. 오리피스 유량계의 경우 유량계산식은 다소 복잡한 편이며 ISO 5167-1 (1991)에 수록되어 있는 계산식을 이용한다. 실밀도의 계산은 AGA Report No.8에 수록되어 있는 식을 이용하며 이 실밀도 계산식의 오차는 ±0.1% 이내이다. 한국가스공사가 발전소와 거래할 때에는 공급 총 발열량으로 정산하기 때문에 발열량 계산까지 해야 하며 발열량 계산은 GPA 2172(1994)에 수록된 식을 이용한다. 유량 계산, 실밀도 계산, 발열량 계산 등에 사용되는 천연가스 각 성분의 물성은 GPA 2145(1993)에 수록되어 있는 것을 이용한다. 표준규격서는 비정기적으로 개정이 되기 때문에 개정이 될 때마다 새로운 개정판으로 수정하게 되어 있다. 그러나 모든 설비가 외산이듯이 유량컴퓨터도 외산이고 대개 국내에는 제작사의 기술자가 나와 있지 않으므로 수정하는데 많은 시간이 걸린다. 이 때문에 중요치 않은 사항은 개정하지 않으며 설비의 증설시나 교체시에 일괄적으로 처리하는 경우도 있다. 유량컴퓨터에 내장되는 유량계산 프로그램이 올바르게 입력되어 있는지는 설치 후 시운전시에 정밀하게 검사하며 이것은 가스분석기의 인테그레이터도 마찬가지이다. 또 1년에 1회씩 쌍방 입회하에 정기 검사토록 되어 있다. 초기 검사시에 프로그램 오류가 발견되어 조치되는 경우도 있으나 대개 공장 출하시에 제작사에서 확인이 되기 때문에 그런 경우는 미미하며 정기 검사시에 오류가 발생하는 경우는 지금까지는 없었으나 유량계 관리자의 고의에 의한 오류 발생의 개연성을 없애기 위해 철저하게 시행하고 있다.

기준밀도 혹은 가스비중은 천연가스의 조성에 따라

정해지는 수치로 기준밀도계로 실측하거나 가스분석기의 인테그레이터에서 계산된다. 일반적으로 기준밀도계는 매우 민감한 계측기로 그 운영이 대단히 어려우며 이러한 이유로 최근에서는 우리 나라뿐 아니라 외국에서도 그 사용을 기피하고 있다. 가스분석기는 조성을 실시간으로 계속 분석하는 것이 아니고 수분에서 수십분에 한번씩 하는 것이므로 조성이 수시로 변화하는 설비에서는 사용할 수 없다. 그러나 천연가스 공급설비에서 이런 일이 일어날 수 있는 확률이 크지 않기 때문에 실시간 측정에 준한다고 볼 수 있다. 가스분석기의 경우 한가지 표준 가스로 여러대의 가스분석기 분석결과를 비교하는 정기적인 일치시험과 수시로 시행하는 자체 교정검사로 그 정밀도를 유지해 주고 있고 기준밀도계보다 비교적 안정된 측정을 하기 때문에 최근 들어 기준밀도 계산에서 선호되고 있는 실정이다.

한편 실밀도 수치를 얻는 방법에도 실밀도계로 실측하는 방법과 기준밀도값과 압력, 온도로부터 계산하는 방법의 두가지가 있을 수 있는데 과거에는 계산 방법이 고압에서는 정밀도가 떨어지는 관계로 실측하는 방법을 선호하였으나 1985년에 AGA Report No.8에서 정밀하게 계산할 수 있는 식이 소개가 되고 이 식이 보다 발전하여 1992년에 전면 개정된 후로는 상당한 고압에서도 ±0.1 % 이내에서 실밀도계산이 가능해져 현재는 기준밀도를 이용한 계산 방법이 선호되고 있다.

7. 결 론

국내 고압대유량 측정설비는 거의 세계 최고의 최신 설비들이다. 이렇게 된 것은 물론 거의 모든 설비가 최근 수년간에 구축된 것들이기 때문이며 국외에서 10년 혹은 20년 이상 된 설비들과 비교하면 육안으로도 그 우수성이 식별될 수 있는 정도이다. 설비 운영 기술도 그사이 십수년 동안 축적이 되어 상당한 기술 축적이 이루어진 상태이다. 미계량 원인 분석도 십여년 동안 노하우가 축적되어 설비 진단이 자체적으로 가능한 정도로 상당한 진척이 이루어졌다고 볼 수 있다. 아직까지 전혀 진척이 안되고 있는 부분이 설비의 국산화이다. 현재 고압대유량 측정 설비에서 국산화율은 거의 제로에 가까우며 간단한 보수나 간단한 전산 설비 혹은 패널 등의 저부가 가치 상품만 국내 조달되고 있는 실정에 있다. 유량계나 각종 전송기류 혹은 가스분석기 등 고가이면서 고부가 가치의 품목들은 전량 국외에서 수입하여 사용하고 있다. 이들 품목들은 대부분 이미 국외 기업들이 선점하고 있어 그 기술의 우위성이 몇단계 위에 있는 것이 사실이다. 그러나 전송기류들을 중심으로 이미 국내에서 자생하고 있는 업체에서 분발해 주고 가스회사나 대학, 연구소등과 합심하여 초기에는 가격 경쟁력으로 시작하여 경쟁력을 키워 나간다면 설비의 해외 의존을 탈피하는 것이 불가능하지만은 않을 것이다.