

## 유량 측정 표준 현황

박경암\* · 최해만\*

### 1. 서 론

유량의 측정은 흐르는 유체의 체적이나 질량을 측정하는 것으로 정지된 유체의 양을 측정하는 것과 구별이 된다. 유량 표준은 이러한 흐르는 양을 측정할 값의 정확한 정도를 아는데 비교의 기준이 되는 것이고 또 기준이 되는 값을 측정하는데 필요한 장치나 장비를 포함하는 것으로 다소 포괄적으로 설명될 수 있다.

위의 설명이 비교적 개념적이나 실제 우리의 생활 주변에서 쉽게 접할 수 있는 유량계를 예로 들면 쉽게 이해가 될 수 있다. 가정에서 사용하는 수도미터나 가스미터는 한달 동안 사용량에 따라 요금을 지불하게 되는데 물이나 가스를 사용하는 가정에서는 될 수 있으면 적게 요금을 지불하려고 하고 이를 판매한 측에서는 많이 징수하려고 하는 것이 일반적이 속성이다. 그런데 모든 계측기와 마찬가지로 유량계에도 측정오차가 존재하며 이럴 때 양측의 요금에 관한 시비가 발생한다. 이러한 시비를 가리기 위해서는 유량계의 정확도를 판별해야 하는데 이때 수도미터기나 가스미터기를 유량 측정 표준장치에 설치하여 교정하면 알 수 있다.

수도나 가스의 요금이 각각의 가정에서는 미미할지 모르나 이를 판매하는 측은 유량계의 오차로 인해 엄청난 손해나 부당한 이익을 취할 수도 있다. 특히 가격이 비싼 석유화학공업의 원료를 거래하는 경우 보통 공장간 50 mm 또는 70 mm 정도의 파이프를 통해 직거래를 하고 있는데 연간 거래 규모가 수백억원에 이르고 있다. 이때 공장간에 설치된 유량계가 거래의 기준이 되는데 역시 수요자와 공급자 사이에 시비가 있게 된다. 이럴 때도 마찬가지로 표준장치의 유량 표준값과 비교하여 시비를 가릴 수 있다. 최근 환경문제와 관련하여 공업용수나 농업용수의 중요성이 급격히 증대되고 있는데 공급과 사용을 두고 지방자치단체간에 분쟁이 일기도 한다. 이러한 경향은 산업이 고도화

될수록 증가될 것으로 예상된다.

위의 예에서 살펴보았듯이 유량 측정 표준 장치는 유량계의 지시값의 참값 여부를 알 수 있으며 그러한 참값 여부가 경제적인 효과는 물론이거니와 사회적으로도 중요한 의미를 지닌다. 뒤에서 자세히 언급하겠지만 표준장치는 측정 유체에 따라 액체 및 기체를 측정하는 장치로 나뉘며 압축성 유체인 기체의 경우 장치의 특성상 상압기체와 고압기체로 나눌 수 있다. 각각의 장치는 측정원리는 같으나 유체의 성질에 따라 구성하는 부분이 조금씩 다르다.

한편 표준장치는 유량계의 정확도를 확인하는 장치이나 표준장치 자체도 불확도(정확도와 반대되는 개념)를 가지게 되므로 이것을 정확하게 평가하고 또 최소화하는 것이 장치의 제작 및 운용에 못지 않게 중요하다. 표준장치 자체의 정확도는 한번 평가한 후 그것을 유지하기 위해서는 계속적인 노력이 요구된다. 더욱이 정확도를 향상시키기 위해서는 중량 측정장치인 저울과 기준탱크 및 보조적인 측정장치인 온도계, 압력계, 습도계 등을 주기적으로 정확도를 검증 또는 향상 시켜야 한다.

즉 유량 표준장치의 정확도는 앞서 말한 구성요소들의 정확도가 합해져 표시된다. 따라서 구성요소의 정확도는 각각 질량, 시간, 온도, 압력, 습도 표준으로부터 소급성을 갖게 되므로 결국 이러한 각각의 표준으로부터 유량의 표준이 유래된다고 말할 수 있다.

### 2. 유량측정 표준시스템

표준장치에서 유량의 측정은 기본적으로 유체를 유동시키면서 유량측정을 하므로 유동을 발생시키는 장치로서 펌프, 저장탱크, 시험관로, 통과한 유체를 수집하여 부피나 중량을 측정하는 장치로 구분할 수 있다. 또 일반적으로 유체는 온도, 압력, 습도 등의 영향으로 부피가 줄어들거나 늘어나거나 하므로 이러한 물리량도 측정하여 부피의 변화를 보정해야 한다. 따라서 표준장치는 전술한 기본적인 장치의 구성요소와 보조적

\* 한국표준과학연구원 유체유동그룹  
E-mail : kapark@kriss.re.kr

인 측정장치를 포함하여 총칭하는 것이다.

유체유동그룹에서는 유량, 유속 및 점도의 국가표준 유지 향상에 관한 연구를 수행하고 있으며 아울러 이와 관련된 측정기술의 확립, 측정 기기 핵심부품의 개발 및 응용연구를 병행하고 있다. 또한 표준보급을 위한 대외업무로는 유량, 유속, 점도분야의 각종 측정 기기 교정 및 시험검사를 수행하고 있다. 그리고 정기적으로 관련분야의 실무자 교육과 전반적인 기술자문을 실시하고 있다.

유체유동그룹에서 보유하고 있는 액체유량 측정표준시스템으로는 물을 시험유체로 사용하는 중량식 교정시설 4조(최대용량:400m<sup>3</sup>/h, 정확도:2×10<sup>-3</sup>) 및 기름을 사용하는 중량식 교정시설(최대용량:60m<sup>3</sup>/h, 정확도:1×10<sup>-3</sup>)이 설치되어 있어 각종 적산량 또는 유동률 측정용 액체 유량계의 교정 및 시험검사에 활용되고 있다. 특히 기름을 사용하는 중량식 교정시설은 급격히 증가하는 사회적 요구에 부응하여 용량을 확장 최대용량이 250m<sup>3</sup>/h, 정확도 2×10<sup>-3</sup>을 목표로 하여 개발하고 있다. 또 개수로 표준시스템(최대용량:400m<sup>3</sup>/h, 정확도:2×10<sup>-3</sup>)은 각종 개수로 유량계의 특성실험과 설치조건에 따른 영향 등의 규명에 사용되고 있다.

그림 1은 액체유량 측정 표준시스템의 개략도이다. 이 액체유량 측정 표준시스템은 원심펌프를 사용하여 실험유체를 저장탱크로부터 약 20m 높이에 설치된 정압유지 탱크로 보낸 후 다시 시험관로에 설치된 유량계를 정상상태로 통과한 후 수집탱크로 수집된다. 유량은 시험관로 하류측에 설치된 공기압으로 조절되는 밸브를 사용하여 조절한다. 또 실험과정에서의 유동율은 수집탱크에 수집된 물의 질량과 수집시간을 측정하여 결정하였다.

기체유량 표준 시스템으로는 벨형 푸루버(최대용량:36m<sup>3</sup>/h)와 수은 밀봉식 피스톤 푸루버(최대용량:0.6m<sup>3</sup>/h)를 보유하고 있어 각종 기체유량계의 교정 및 시험검사에 활용되고 있다.

그림 2의 벨형 푸루버는 정교한 원통실린더로 상부는 밀폐되어 있고 하부는 개방되어 물 또는 기름에 잠겨있다. 즉 중 모양의 실린더가 내부의 압력이 증가하면 위쪽으로 감소하면 아래쪽으로 이동한다. 이 실린더가 이동하는 양만큼 기체가 수집이 되거나 방출된다. 이때 수집 또는 방출된 양을 알기 위해서 실린더 외부에 자가 부착되어 있다. 즉 실린더 면적은 미리 교정되어 있으므로 이동된 거리만 곱하면 부피를 알 수 있게 된다. 물론 자를 부착할 때는 원통실린더 자체의

정밀한 측정과정을 거쳐야 한다. 또 원통실린더 내부의 압력을 조절하기 위해서 카운터 밸런스로 분동이 설치되어 있다. 외부와 내부의 실린더 사이에는 기름이나 물을 채워 기밀을 유지하고 실린더가 위아래로 움직일 수 있도록 한다. 물을 사용하는 경우에 실린더 내부에서 증발이 일어나 습도의 변화를 가져올 수 있고 기름인 경우는 점도가 높아서 내부 실린더 내벽에 점착되어 실린더의 부피를 변화시킬 수 있다. 따라서 점도가 낮고 증발이 적은 오일 선택이 중요하다.

그림 3의 수은 밀봉식 피스톤 푸루버는 정교한 유리관 내부를 수은으로 밀봉된 피스톤이 이동하면서 기준이 되는 부피를 정한다. 수은은 응집력이 큰 액체이기 때문에 피스톤에 홈을 만들어 수은을 채우면 피스톤과 실린더 사이에 기밀을 유지할 수 있고 마찰도 줄일수 있는 이점이 있다. 즉 피스톤은 수직으로 설치되어 있고 실린더 아래쪽으로부터 기체가 유입되면 그 압력으로 피스톤을 위쪽으로 밀어 올리게 된다. 피스톤이 이동하면서 외부의 자에 부착된 감지스위치가 피스톤의 이동순간을 측정하게 된다. 즉 정해진 부피를 통과하는 시간을 측정하여 유동율을 알 수 있다. 또 실린더가 크기에 따라 5종류의 컬럼이 있어 유동율에 따라 선택할 수 있으며 자에 부착된 감지스위치를 이동

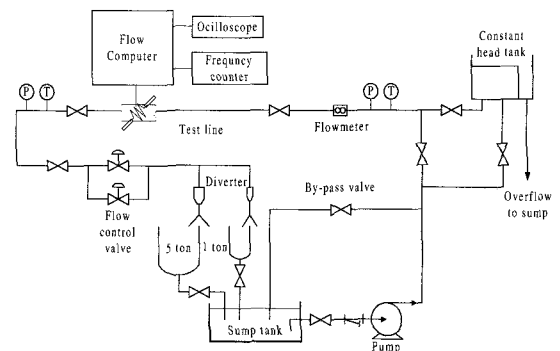


그림 1 액체유량 표준시스템

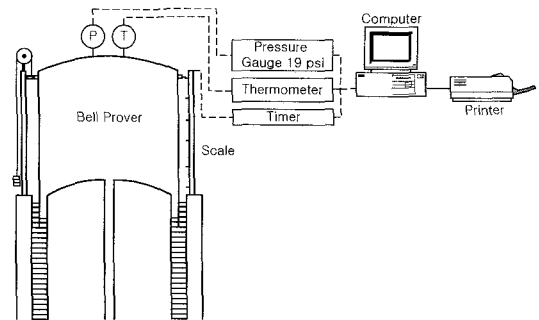


그림 2 벨형 푸루버

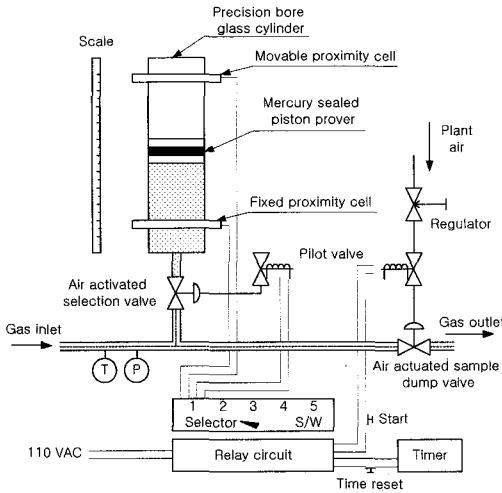


그림 3 피스톤 푸루버

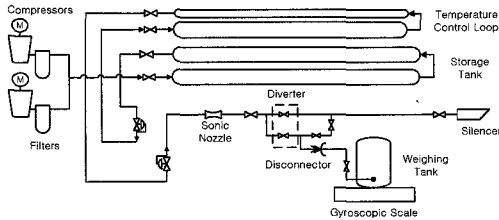


그림 4 고압 기체 유량 표준시스템

시키면서 적절한 양을 수집할 수 있도록 할 수 있다. 측정의 결과는 유량계와 수은 밀봉식 피스톤 푸루버의 온도와 압력을 측정하여 보정한 후 상호 비교한다.

한편 소닉노즐이나 기체용 터빈미터 등과 같이 고압기체 유량측정에 사용되는 유량계는 실제로 사용되는 압력에서 교정하여 사용하지 않으면 요구되는 정확도 수준을 만족할 수 없기 때문에 유체유동연구실에서는 최대용량 10,000 Nm<sup>3</sup>/h, 최대시험압력 40기압의 고압가스 유량측정 표준 시스템을 구비하고 있으며 시스템의 측정정확도는 ±0.2%이다. 그리고 유속측정 표준시스템으로는 풍동(최대유속:18%) 및 3차원 LDV(Laser Doppler Velocimeter)를 보유하고 있으며 1% 이하의 저유속 범위에서의 유속측정 실험을 위하여 활차 시스템을 구비하고 있다. 시험 가능한 유속 측정범위는 0.04~19.8%이고 측정 정확도는 ±0.5%이다.

한국표준과학연구원에 제작 설치된 고압가스유량 표준시스템은 그림 4와 같이 최대 10000 Nm<sup>3</sup>/h의 안정된 유동을 발생할 수 있는 충분한 용량의 공기 공급원을 확보하기 위해 50 HP 고압압축기 2대로 공기를 70

기압으로 압축하여 20m<sup>3</sup>의 저장용 압력용기에 저장한다. 이때 저장되는 압축공기는 공기중에 포함되어 있는 수분, 기름, 그리고 직경 5μm 이상의 고체입자를 제거하기 위해 특수 정화기를 거친다.

고압저장용기의 압축공기는 2단계에 걸쳐 실험 압력까지 압력이 조정된 후 시험관로로 유입되어 정상상태의 유동을 발생한다. 그러나 급격한 압력 강하는 공기온도 조절을 어렵게 하므로 1단계 압력조절밸브와 2단계 압력조절밸브 사이에 온도 조절을 위한 온도조절용 저장탱크(7m<sup>3</sup>)를 설치하였다.

기준기인 음속노즐의 교정은 압축된 공기를 유동전환밸브에서 공기의 흐름을 바꾸어 수집탱크에 수집한 후 수집시간과 수집된 공기의 질량을 정확히 측정하면 표준 유동율이 결정된다. 공기수집의 시작과 끝은 유압으로 작동하는 유동전환밸브 2개를 순차적으로 열고 닫아 공기의 유동방향을 바꾸어 줌으로 결정된다. 이때 수집시간은 밸브동작에 따라 작동하도록 장치된 타이머로 측정한다.

중량측정방법에 의해 교정된 기준기 음속노즐은 소형 터빈 미터, 초음파 유량계, 와 유량계 등의 교정에 이용된다. 이들 유량계를 설치하기 위한 시험관로의 길이는 약 9m로 하였는데 그 이유는 각종 유량계에 대하여 ISO 등 국제 규격에서 권장하는 길이 이상의 직관부를 유량계 상류측에 확보하여 유량계 교정오차를 최소화하기 위함이다.

유량측정 및 유량계 교정의 신뢰도 향상을 위해서 국내적으로는 전자유량계와 터빈유량계 분야의 국가공인시험기관(KOLAS)으로 지정받아 시험 결과의 국제적인 상호인정 체제에 대비하고 있다. 국제적으로는 대만의 CMS와 중국의 SIPAI와 오리피스 패키지를 매개로 하여 액체유량표준시스템을 상호 비교하였다. 측정결과는 액체유량측정 정확도의 국제적인 신인도를 높일 것으로 기대되고 있다. 점도측정 표준시스템으로는 두 종류의 표준점도계(Cannin Master Viscometers 15조 및 Ubbelohde Master Viscometers 10조)와 고정밀 항온조를 보유하고 있으며 1~105 mPa.s 범위의 점도측정 표준(정확도:2×10<sup>-3</sup>)이 확립되고 있다. 본 시스템은 한국공업규격에서 규정된 10종류의 점도표준액(KS2.5~KS2000)의 제조, 검증에 활용되고 있으며 제조된 점도표준액을 사용하여 세관형 점도계, 회전형 점도계를 비롯한 각종 산업체의 점도 측정기기의 교정 및 시험검사를 실시하고 있다. 그리고 비뉴턴유체 등과 같은 유체들의 유변학적 성질들도 측정할 수 있는 레오미터(Fluids Spectrometer)를 확보하고 있다.

## 유량 측정 표준 현황

표 1 유체유량 분야 정밀 정확도 수준

분 야	국제수준 및 현황	국내수준 및 현황
액 체 유 량	54,000 m <sup>3</sup> /h 범위 : ±0.2%	400 m <sup>3</sup> /h 범위 : ±0.2%
기 체 유 량	60 m <sup>3</sup> /h 범위 : ±0.2%	36 m <sup>3</sup> /h 범위 : ±0.2%
고압기체유량	30,000 m <sup>3</sup> /h 범위 : ±0.2%	10,000 m <sup>3</sup> /h 범위 : ±0.2%
유 속	100 m/s 범위 : ±0.2%	18 m/s 범위 : ±0.2%
점 도	100,000 mPa.s 범위 : ±0.2%	100,000 mPa.s 범위 : ±0.2%

\*기체유량 측정범위는 Normal State를 기준으로 표시한 것임

현재 유체유동그룹이 확립하고 있는 상기 5개 측정 분야의 정밀정확도 수준을 국제수준과 비교하면 표 1 과 같다.

### 3. 소급성

산업체나 연구실 등에서 사용하고 있는 유량계는 교정 검사기관의 유량측정 시스템이나 한국표준과학연구원의 유량측정 표준 시스템에서 교정된 기준유량계를 사용하여 교정하거나 직접 교정하여 사용하여야 국가 기본단위에 소급성을 그림 5와 같이 유지할 수 있다. 이러한 소급성을 유지하지 않으면 유량측정 정확도를 평가 할 수가 없다.

교정검사 기관의 유량측정 표준 시스템은 한국표준과학연구원의 유량측정 표준 시스템에 소급성을 유지하여야 한다. 이를 위해 각 교정검사 기관과 한국표준과학연구원은 주기적으로 순회평가를 하거나 교정검사기관의 사후관리를 2년마다 하고 있으며 기체 유량 측정에서 기준 유량계인 소닉노즐을 한국표준과학연구원에서 2년마다 교정하여 사용하는 경우가 많다.

한국표준과학연구원의 유량 측정 시스템의 구성 요소인 질량 혹은 부피측정 장치는 길이, 질량에 표준의 소급성을 유지하고 있으며 수집시간 측정 장치는 시간 표준에, 배관내의 유체 온도, 압력 측정장치는 온도, 압력표준에 소급성을 유지하고 있다.

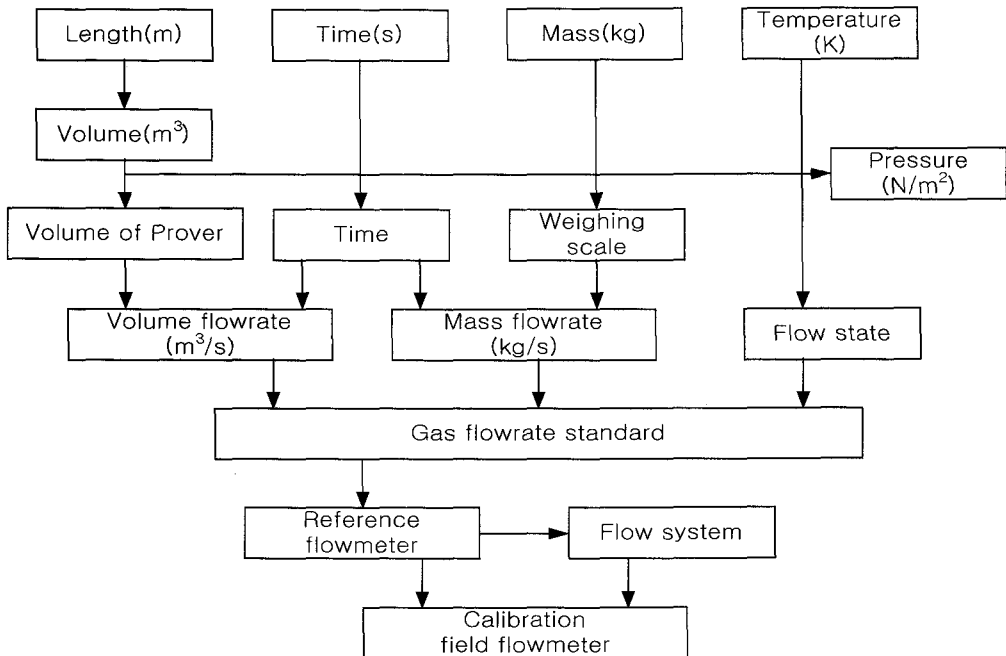


그림 5 유량측정의 소급성 체계

이렇게 유량측정 표준의 소급성을 유지하고 있어도 표준시스템의 계통오차는 알 수가 없으므로 각국의 표준기관들과 국제비교를 통하여 유량측정 표준 시스템의 확장 불확도를 확인하고 있다. 지금까지 영국 NEL, 독일 PTB, 미국 NIST, 일본 NRLM, 대만 CMS, 인도 FCRI 등 표준기관과 미국 SwRI, 미국 CEESI, 캐나다 NOVA 등 연구기관의 유량측정 시스템과 국제비교를 수행하여 왔다.

현재 각국의 표준기관들의 국제비교의 신뢰도를 높이고, 또한 국내 교정검사 기관의 측정 정확도를 향상시키기 위해 한국표준과학연구원과 교정검사 기관들은 ISO/IEC 17025에 따라 품질보증제도의 시행을 준비하고 있다.

#### 4. 결 론

유량 표준장치의 정확도 평가는 보다 전문성이 요구되는 작업으로 측정 유체에 따라 조금씩 다르나 근본 원리는 같다고 볼 수 있다. 또 각국의 유량 표준장치는 유량계를 매개로 하여 상호비교하며 정확도를 확인하고, 또 향상시키려는 노력을 하고 있다. 국가 표준기관인 한국표준과학연구소의 유량 표준장치는 측정범위나 유체에 따라 조금씩 다르지만 불확도가  $\pm 0.1 \sim \pm 0.2\%$  이내를 유지하고 있으며 유량측정 영역의 확장 및 정확도 향상을 위한 연구를 하고 있다.