

## 국내 유량 측정 기술 현황 및 전망

지대성\*

### 1. 서 론

사회 활동에서 각종 여론 조사는 사회 여러 분야의 동향을 알아보고 또한 이에 대처하는 방안을 강구하는 가장 중요한 역할을 담당한다고 볼 수 있다. 이와 마찬가지로 과학기술 분야에서 측정 또는 계측기기는 사회 활동의 각종 여론 조사와 같은 역할을 담당한다고 볼 수 있다. 측정이라는 과학 기술 활동을 통하여 각종 공장, 플랜트, 발전소 등 중요 시설의 정상 운전 여부, 이상 유무, 고장 진단 등의 업무를 수행하며, 이를 토대로 이에 대한 대책을 강구한다고 볼 수 있다. 이와 같이 측정기기는 과학 기술 활동의 기초로 볼 수 있다.

측정기기는 전자 전기, 의료, 기계, 화학, 반도체, 농업, 우주항공, 식품, 자동차, 석유화학 등 사용되지 않는 분야는 없다. 측정 분야로는 길이, 질량, 온도, 압력, 유량, 레벨, 방사선, 각종 물성 등 100개 분야가 넘는다. 이중에서도 각종 공장, 플랜트, 발전소 등에서 가장 많이 측정되고 있는 분야는 온도, 압력, 유량, 레벨 등의 4 분야로 볼 수 있다. 여기에서는 위의 4 분야 중 유량 측정 기술 동향에 대하여 살펴보고자 한다.

특히 유량 측정은 주로 상거래, 재고 파악, 공정의 감시, 원가 조사 등에 많이 사용되며, 따라서 각 공장 및 현장에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 또한 유량 측정은 상거래용으로도 많이 이용되므로 정확도에 대한 요구가 높은 편이며, 이에 못지 않게 신뢰도에 대한 요구도 매우 높다고 볼 수 있다. 따라서 유량 측정기기는 측정 원리 및 측정기기의 변경을 꺼려하는 등 매우 보수적인 측정 분야로 받아들여지고 있는 실정이다. 이러한 이유로 새로운 원리 또는 새로운 유량 측정기기의 도입 및 사용이 매우 어렵다는 것도 사실이다.

그러나 과학 기술의 발전과 함께 꾸준히 새로운 기술에 대한 연구 개발도 계속되고 있으며, 새로운 기

술의 정확도 및 신뢰성에 대한 검증만 마치고, 또한 국가 규격 및 국제 규격이 구비되며, 현장에서의 실증 시험만 성공적으로 완료한다면 새로운 측정 기술이 현장에 도입될 수도 있을 것으로 생각된다. 그러나 이렇게 새로운 기술이 현장에 도입되기까지 소요되는 시간이 매우 많이 소요되므로 기존 유량계 기술에 정확도를 제고시키고, 측정기기의 신뢰도 향상 및 운전성 향상을 도모하는 방향으로 나가는 것이 당분간의 추세로 볼 수 있을 것으로 생각된다.

현재는 기존의 유량계 기술이 전자 및 컴퓨터 기술의 혁신적인 발전으로 많은 발전 및 개선이 이루어져 기존의 유량계 기술과 함께 산업 현장에 많이 적용되고 있으나, 유체의 유동 현상에 대한 근본적인 의문점 및 문제점은 해결되지 않고 그대로 남아 있는 실정이다. 따라서 유량계 기술에 대한 산업계의 요구를 충족시키기 위해서는 전산 유체 역학을 포함한 컴퓨터 모델링 등을 이용하여 유체 역학에 관련된 연구를 통하여 유량 측정 정확도 향상과 신뢰도 향상이 이루어져야 한다고 생각된다. 또한 유량 측정 정확도 향상을 위해서는 유체 역학에 대한 연구와 함께 유량 측정 표준과 유량계 교정검사 기술이 동시에 발전되어야 한다.

본 원고에서는 유량계 발전 동향과, 앞으로 유량계 발전 전망에 대한 이해를 높이기 위하여 현재 가장 많이 사용되고 있는 유량계 기술의 각론 및 응용, 향후 전망 및 기술 동향, 유량계 시장 및 유량계 측정 정확도 향상에 대한 연구 개발 전망 등에 대하여 기술하고자 한다.

### 2. 각종 유량계에 대한 고찰

유량계는 유량을 측정하고자 하는 목적(상거래용, 공정 감시용, 원가 산출 등), 유량을 측정하고자 하는 유체의 종류(기체, 액체, 증기, 2상 유체, 3상 유체 등), 요구되는 유량 측정 정확도 등에 따라 매우 많은 종류가 존재한다. 여기에서는 가장 많이 사용되는 아래의 몇 가지 유량계에 대하여 알아보려고 한다.

\* (주)하이트론 기술연구소장 공학박사

- o 차압 유량계(differential pressure flow meter)  
(오리피스, Venturi tube, 유동 노즐, 원추형, segmental wedge 등)
- o 선형 유량계(linear flow meter)  
(전자 유량계, 초음파 유량계, 터빈 유량계, 와류 유량계, 용적 유량계)
- o 질량 유량계(mass flow meter)  
(Coriolis 질량 유량계, Thermal mass 질량 유량계 등)

## 2.1 차압 유량계

차압 유량계는 유량계 중 가장 역사가 길고 가장 많이 사용되고 있는 유량계로서 개발 초기에는 잠시 각광을 받았으나 이 후 반드시 같이 사용되어야 하는 차압계가 기계식이고, 정확도도 떨어지며, 차압 측정 범위도 그리 넓지 않으며, 또한 다른 종류의 유량계가 개발되면서 차압 유량계의 사용이 그다지 많지는 않았다. 그러나 과학 기술의 발달과 함께 정확하고 넓은 범위에 걸쳐 차압을 측정할 수 있으며, 전기적인 신호를 출력하는 스마트형 차압계가 저렴한 가격으로 공급되기 시작하면서 차압 유량계의 사용은 급격히 증가하였다. 차압 유량계는 유량계 중에서 꽃이라고 할 수 있을 정도로 많은 인기를 얻고 있다. 아래에 차압 유량계의 장단점을 간단하게 설명하고 있다.

- o 구조가 간단하고 가동부가 없어 고장이 없고 보수유지가 용이하다.
- o 많은 양의 측정 데이터가 축적되어 있고 국내 및 국제 규격이 잘 정비되어 있으므로 규격 및 설치 조건만 잘 따르면 상대적으로 정확한 유량 측정이 가능하다.
- o 가격이 다른 유량계에 비하여 저렴한 편이다.
- o 유량 측정 범위가 좁은 편이다.
- o 기체, 액체, 증기 등 거의 모든 유체의 유량 측정이 가능하다.
- o 유량 측정 정확도가 배관의 설치, 형태, 직관부, 유체의 유동 상태에 따라 많이 좌우된다.
- o 관의 노후화, 마모, 부식 등에 의한 영향이 크다.
- o 대구경 관로에서의 유량 측정에 특히 유리하다.
- o 압력 손실이 다른 유량계에 비하여 높으므로 운전비가 많이 소요된다.
- o 이물질 및 고체 입자가 함유된 유체의 경우 차압 측정관이 막힐 우려가 있다.

## 2.2 선형 유량계

유량계의 출력 신호 값과 측정된 유량 값 사이의 관계가 선형적인 관계를 가지기 때문에 선형 유량계로 불리며, 이 범주에 속하는 유량계로는 전자 유량계(electromagnetic flow meter), 터빈 유량계(turbine flow meter), 와류 유량계(vortex flow meter), 초음파 유량계(ultrasonic flow meter), 용적 유량계(positive displacement flow meter, PD flow meter) 등이 있다.

### 2.2.1 전자 유량계

전자 유량계는 물, 물 계통의 액체, 또는 전기 전도도가 일정한 값 이상을 가진 액체의 유량을 측정할 수 있다. 최소 유속은 0.3 m/s 이상이면 측정이 가능하나, 이 값은 제조업체에 따라 다르며, 유량 측정 범위는 보통 10:1 정도이다. 현재 소형화가 급격히 이루어지고 있으며, 라이너가 반드시 필요하다는 가장 치명적인 단점을 해결한 라이너가 없는 전자 유량계도 최근 개발되어 판매되고 있다. 또한 전기적인 잡음이 많은 배관의 경우에도 사용이 불가능하였으나, 최근 이에 대한 문제점을 해결한 전자 유량계도 판매 중이다. 아래에 전자 유량계의 장단점을 나열하였다.

- o 유량 측정에 유체의 압력, 온도, 밀도, 점도 등 유체의 물성 영향이 없다.
- o 구동부가 없으므로 설치가 간단하고, 압력 손실이 없다.
- o 출력 신호와 유량 값 사이의 관계가 선형적이므로 유량 측정 범위가 넓다.
- o 유속 분포의 영향이 적은 편이다.
- o 취급이 어려운 오페수, 고체 함유 액체, 비뉴턴 액체, 부식성 유체의 유량 측정에 적합하다.
- o 측정 대상 유체는 일정한 값 이상의 전기 전도도를 가져야 한다.
- o 기체의 유량 측정이 불가능하다.
- o 유량 측정 정확도가  $\pm 0.5\%$  이내로 매우 정확한 편이다.
- o 라이너로 인한 불량률이 높은 편이다.
- o 전기적인 잡음이 많은 경우 측정 오차가 매우 크거나 측정이 불가능하다.

### 2.2.2 터빈 유량계

터빈 유량계는 회전부의 회전수가 유량에 선형적으로 비례하는 원리를 이용한 것으로 깨끗한 유체의 유

량을 넓은 유량 측정 범위에서  $\pm 0.2 - 1.0\%$  정도의 높은 정확도로 측정 가능하다. 따라서 이 유량계는 상거래용으로도 많이 사용되는 편이며, 액체 상태의 원료나 유체를 혼합, 분류하는 공정 제어 목적이나, 석유류, 천연 가스 등 고가 유체의 측정에 광범위하게 이용되고 있다. 깨끗하지 않은 유체, 이물질이 함유된 유체의 유량 측정에 사용하는 경우, 회전부에 영향을 미칠 우려가 높으므로 적합하지 않다.

### 2.2.3 와류 유량계

와류 유량계의 원리로는, 유체의 유동 방향에 수직으로 설치된 물체 위로 유체가 흐르면, 이 물체의 후단에 와류가 발생한다. 이 와류의 발생 빈도는 유량과 선형적인 관계를 가지며, 이 와류의 발생 주파수를 측정함으로써 유량을 측정하는 것이다. 이 와류 유량계의 장단점은 아래와 같다.

- 유량 측정 범위가 넓은 편이다.
- 유량 측정 정확도는  $\pm 0.5 - 1.0\%$ 로 높은 편이다.
- 기체와 액체 등 대부분의 유량 측정에 적합하나, 이물질이 함유된 경우에는 적합하지 않다.
- 구동부가 없어 수명이 길며, 압력 손실도 매우 낮은 편이다.
- 유체 온도, 압력, 점도 등의 물성에 큰 영향을 받지 않는 편이다.

### 2.2.4 초음파 유량계

초음파 유량계는 1920년대에 처음 개발되었으며, 이 후 전자 공학의 발달과 함께 많은 기술적인 진보가 있었다. 현재는 유량 측정의 간편성으로 인하여 사용되는 경우가 많다. 초음파 유량계에는 측정 방법에 따라 건식 및 습식, 회선 수에 따라 1회선 및 다회선, 사용 용도에 따라 고정 설치형, 이동 측정형, 측정 원리에 따라 시간차 법, 주파수차 법, 도플러 방법, cross correlation 방법 등으로 분류할 수 있다. 초음파 유량계의 유량 측정 정확도는 1회선의 경우  $\pm 2 - 10\%$ 로 그다지 정확하지는 않다. 다회선의 경우 정확도는  $\pm 1 - 3\%$  정도이다. 그러나 초음파 유량계는 건식의 경우 배관을 절단하지 않고 또한 이동형으로 간편하게 유량을 측정할 수 있다는 결정적인 장점 때문에 사용이 증가하고 있는 편이다. 아래에 초음파 유량계의 장단점을 나열하였다.

- 유량 측정 오차는  $\pm 1 - 5\%$  정도로 그다지 정확하

지는 않다.

- 시간차 측정 법 및 주파수 차 측정 법은 주로 깨끗한 유체의 유량 측정에 많이 이용되며, 도플러 법은 부유 물질이 많은 유체의 유량 측정에 적합하나, 부유 물질의 농도, 분포에 따라 정확도가 영향을 많이 받는다.
- 건식의 경우 설치가 용이하나, 정확도는 그다지 좋지 않다.
- 습식의 경우 설치는 용이하지 않으나 정확도는 좋은 편이다.
- 충분한 길이의 직관부가 요구되며, 만관 상태로 흘러야 한다.
- 1회선과 다회선이 있으며, 높은 정확도를 요구하는 경우 다회선이 좋다.
- 가격은 다른 유량계에 비하여 높은 편이다.

### 2.2.5 용적 유량계

용적 유량계는 일정한 부피의 유체를 기계적인 방법을 이용하여 한쪽에서 다른 쪽으로 이동시키는 방법으로, 가동부의 회전수를 측정하고 이 측정된 회전수에 일정한 부피를 곱하여 줌으로서 유량을 측정하는 방식이다. 용적 유량계의 종류는 매우 다양하게 많으며, 정확도는 유량계 중 가장 높아  $\pm 0.1\%$  정도이다. 단지가동부가 있어 수명이 길지 않으며, 가격이 높고, 이물질이 많은 유체의 경우에는 적합하지 않다.

## 2.3 질량 유량계

지금까지는 유량 측정에 부피 유량을 측정하는 것이 보통이었으나, 과학 기술의 발전과 측정하여야 할 유체의 종류도 다양해짐에 따라 온도, 압력 등의 영향을 무시할 수 있고, 또한 온도 및 압력 변화에 따른 복잡한 보정 절차가 필요 없는 질량 유량계의 사용이 증가할 것으로 예상된다.

질량 유량계는 온도 및 압력 변화에 따라 변하는 부피 유량을 측정하지 않고 질량 유량을 직접 측정하므로 기존에 필요한 온도계 및 압력계를 설치할 필요가 없어 더욱 더 각광을 받을 것으로 예상된다. 질량 유량계에는 Coriolis 질량 유량계 및 열전달 질량 유량계의 두 가지 종류가 있으며, Coriolis 질량 유량계는 주로 액체의 질량 유량 측정에 적합하며, 열전달 질량 유량계는 주로 기체의 유량 측정에 적합하다. 질량 유량계는 연속 화학 공정에서 반응 물질의 유량을 직접

조절하거나 에너지 유체의 상거래시 유체의 에너지 가치를 판단하는데 매우 효과적이다. 특히 열전달 질량 유량계는 공기 및 다른 기체의 질량 유량 측정에 매우 경제적이며, 효과적이다.

Coriolis 질량 유량계는 현재 세계에서 약 20개 이상의 회사에서 개발하여 상품화하였으며, 측정 대상 유체의 온도, 압력, 점도, 밀도 등 물성의 영향을 받지 않으면서 질량 유량을 정밀하고 연속적으로 측정할 수 있는 매우 높은 품질의 유량계로 유량 측정 정확도는  $\pm 0.2\%$  정도이다. 단지 단점으로는 가격이 높고, 압력 손실이 높다는 것이다.

열전달 질량 유량계는 반도체 산업, 항공 우주 산업 등에서 기체의 미소 질량 유량 측정 제어에 많이 이용되는 소형과, 원자력 산업, 공기 조화 장치 등에서 공기의 대용량 질량 유량 측정에 많이 이용되는 대형이 있다. 이러한 종류의 질량 유량계를 생산하는 회사는 소형의 경우 10여 개 회사에 이르나, 대형의 경우는 2-3개회사 정도밖에 되지 않는다.

#### 4. 유량계의 향후 전망

유량계는 최근 IMF로 인하여 성장률이 정지하였다가 다시 성장세로 들어섰다고 볼 수 있다. 2000년대에는 별다른 문제점만 없다면 대략 5% 정도의 성장율을 보일 것으로 예상된다. 다만 유량계 시장은 매우 보수적인 이유로 새로운 유량계 기술이 현장에 적용되기까지는 매우 긴 시간이 소요될 것으로 생각된다.

현재 유량계 중 차압계가 차지하는 비율은 약 30% 정도이며, 전자 유량계 및 질량 유량계가 약 10% 이상, 다른 유량계는 약 5-10% 정도를 차지하고 있다. 차압 유량계가 차지하는 비율은 2000년대 들어와서도 큰 변화는 없을 것으로 예상되며, 전자 유량계, 질량 유량계는 적용이 증가될 것으로 예상된다. 다만 초음파 유량계는 현재 약 10% 정도의 시장을 점유하고 있으나,

초음파 유량계는 점점 더 적용이 감소할 것으로 예상된다. 전자 유량계는 정확도 때문에, 질량 유량계는 온도 및 압력을 측정할 필요가 없다는 장점 때문에 적용이 점점 더 확대될 것으로 전망된다.

현재 사용되고 있는 유량계의 측정 정확도 향상을 위해서는 각종 유량계가 가지고 있는 근본적인 문제점을 해결하여야 한다. 즉 유량계 내부 유동에 관련된 영역에서의 유동에 대한 철저한 분석이 있어야 한다는 것이다. 이를 위하여 현재 과학 기술계에서 연구가 활발하게 진행되고 있는 유동장의 컴퓨터 모델링이나, 실험 방법인 LDV(laser doppler velocimetry), PIV(particle image velocimetry), PTV(particle tracking velocimetry), LSV(laser speckle velocimetry), CT(computerized tomography) 등이 완벽하게 개발되어 현장 유량계 기술에 적용되어야 유량계의 정확도가 한층 더 진보될 것으로 예상된다.

#### 5. 결 론

유량계 시장이 매우 보수적이라는 특수성으로 인하여 기존 유량계 시장은 2000년 대 이후에도 이 골격을 그대로 유지할 것으로 생각된다. 그러나 과학 기술의 발전으로 유량계는 그 나름대로 꾸준한 진보는 할 것으로 생각된다. 그러나, 유량계에서는 질량 유량계 및 전자 유량계 점유율은 증가할 것으로 생각된다.

과학 기술의 발전으로 유량계 기술의 발전은 꾸준히 지속될 것이다. 전혀 새로운 원리에 의한 제품의 등장은 당분간 어려울 것으로 생각된다. 그러나 유량 측정 정확도 및 신뢰성 향상을 위한 새로운 기술 개발은 지속될 것으로 예상된다. 또한 현재는 많은 유량계가 아날로그 방식의 전자 회로를 채택하고 있으나, 이는 micro-processor 방식의 디지털 방식으로 전환될 것으로 예상된다.