

유량계 및 밸브 분야 연구동향

박경암*

1. 서 론

2001년도의 유량계 및 밸브분야의 국내에서 발표된 주요 연구동향을 요약하여 소개한다. 이 분야의 연구는 제조업체에서 제품을 개발하는 경우와 제품의 성능 파악을 위해 연구기관이나 대학에 연구를 의뢰한 경우의 논문이 많으며 연구기관에서 유량측정 오차를 감축하기 위한 연구도 일부 수행되었다. 연구결과가 국내에 발표되지 않은 경우와 제조업체에서 독자적으로 개발하는 경우에 논문이 발표되지 않아 여기에 소개되지 않는다.

유량계 및 밸브의 세부분야에 있어서 연구 및 기술 개발이 폭넓게 이루어지고 있으며, 새로운 연구성과가 논문집 및 학술행사를 통하여 꾸준히 발표되어 향후 관련부분 기술발전의 전망을 밝게 하고 있다.

2. 유량계

천연가스 소비량의 증가에 따라 가스 유량계의 교정 정확도를 향상시키기 위해 실 가스인 천연가스로 유량계를 교정할 수 있는 교정 시스템의 설계·구축 및 운영에 관한 논문이 발표되었다.⁽¹⁾ 천연가스를 한국 가스공사에서 도시가스회사로 판매할 때 오리피스 유량계가 많이 사용되고 있다. 이 오리피스 유량계의 유량측정을 수치해석으로 2차원에서 계산하고 예측하였으며 앞으로 보완하면 유속분포 및 현장 사용조건에 따른 유량측정 오차 예측에 사용될 수 있는 연구결과가 될 것이다.⁽²⁾

반도체 제조공정에서 가스 유량 제어와 원자력 발전소의 누설 가스 유량측정 및 환경 계측기기의 가스 유량 측정에 대량으로 열량형 질량 유량계(thermal mass flowmeter, TMF)가 사용되고 있다. TMF의 측정 정확

도는 제조회사에 따라 다르지만 일반형은 약 $\pm 2\%$ 이고 정밀형은 $\pm 1\%$ 이내이다. 일반적으로 TMF는 제조회사에서 사용 기체와 사용 압력에 맞추어 생산되고 있으며 만약 실제 사용 기체가 제조 당시의 기체와 다른 경우에는 공기의 정압 비열을 기준으로 정압 비열비를 이용하여 계산된 보정 계수를 사용하도록 권장하고 있다. 그러나 정압 비열비를 사용할 경우에는 약 2~3%의 유량 측정 오차가 추가로 발생할 수 있다. 이 오차를 규명하기 위해 사용 압력이 1MPa이고, 사용 기체가 질소로 설정된 TMF를 공기, 알곤 및 질소로 기체 종류를 변화시키면서 비열 변화에 따른 유량측정 실험을 수행하여, 두 기체의 정압 비열비를 사용하여 측정된 유량 값을 보정하여 사용하면 유량 측정 불확도 $\pm 3.5\%$ 이내인 결과를 발표하였다.⁽³⁾

기체유량 측정의 기준 유량계로 사용되는 소닉 노즐은 최대 유동율 측정범위가 입구측 압력변화 범위 내에서 제한을 받기 때문에 넓은 유동율 범위에서 소닉 노즐을 사용하기 위해서는 노즐 목의 구경이 각각 다른 노즐을 다수 사용해야 하는 단점이 있으나, 노즐을 통과하는 질량유량이 노즐 하류측에서 발생하는 유동교란이나 압력변동에 영향을 받지 않고 일정하게 유지되며 유량계산을 위해서 노즐 상류측의 온도 압력만 측정하면 되는 장점이 있다. 또한 용이한 작동과 이동, 높은 효율성과 재현도, 높은 불확도 등으로 소닉 노즐은 기체 유량계를 현장에서 직접 교정할 수 있는 소형 기체 유량계 표준 교정시스템에 사용하며, 세계 각국의 표준기관에서 기준이나 각 표준기관이 보유한 시스템의 측정 정확도를 비교하는데 많이 사용하고 있다. 이 소닉 노즐의 특성실험에서 발생하는 불확도를 ISO guide 25에 따라 불확도를 구체적으로 평가한 연구가 진행되었다.⁽⁴⁾ 이 적용 예는 다른 유량계의 불확도 계산의 표본으로 사용될 수 있으며, 유량측정 데이터의 표준에 소급성을 유지하는 데 필요한 자료가 될 것이다.

유동율이 작은 범위에서 사용하는 소형 소닉 노즐에 관한 ISO 규격이 없으며 유출계수와 노즐이 질식되는

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

상류 정제압력과 하류 압력비(임계압력비)는 레이놀즈수가 10^5 보다 작은 경우에 다른 특성을 갖는 다는 것이 알려져 있다. 사용 유체가 질소, 아르곤, 산소 등의 불활성기체인 경우 소닉 노즐의 유동장을 수치해석적으로 분석하고 유출계수를 계산하였다. 소닉 노즐의 벽면에서 발생하는 복잡한 경계층 유동을 해석하여 유출계수가 레이놀즈수 및 압력비 등의 함수로 얻어질 수 있다는 것을 보고하였다. 내부유동에서 발생하는 기체 유동의 초크현상을 보다 체계적으로 조사하기 위해, 복합 초크의 현상을 수치해석적으로 연구하여, 노즐 목에서 유동이 부분적으로 아음속이 된다고 하더라도 실제 유동은 초크할 수 있음을 밝힌바 있으며, 또 마이크로 노즐을 통한 유동을 수치계산적으로 모사한 바 있다.⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾

초음파 유량계는 전자기술의 증가에 따라 유량측정 정확도 및 가격 경쟁력이 있어 유량계 시장 점유율이 급격히 증가하고 있다. 초음파 유량계는 초음파 센서가 관 밖에 설치되는 경우와 관 내부에 설치되는 경우로 분류할 수 있고, 센서가 1쌍인 경우와 다수인 경우로 분류된다. 국내에서는 센서가 관 내부에 설치되고 센서의 수가 다수인 경우에 국내 유량계 회사에서 액체용 제품을 개발하였으며, 기체용 초음파 유량계도 개발 중에 있다. 국내의 유량계회사에서 초음파 유량계의 개발을 시도하고 있는 업체들도 있다. 초음파 전파시간 측정에 사용된 초음파 센서는 압전 세라믹 PZT를 사용하였으며, 접합층의 두께가 초음파의 반파장이고, 사용 유체가 물인 경우에 초음파 센서의 내구성 향상에 관한 이론적 특성파악과 실험을 통하여 센서의 특성 향상의 연구결과를 얻었다.⁽⁸⁾

산업 현장에서 유량측정에 피토 튜브는 별로 사용되지 않는다. 그 이유는 피토 튜브는 진동의 영향을 받고, 견고하지 않으며, 유량측정을 위해서는 이송장치가 필요하므로, 피토 튜브의 원리를 이용한 multi-point 저손실 유량계가 많이 사용되고 있다. 외국 유량계회사에서 원통 형상, 다이아몬드 형상, 탄환 형상 등 몇 가지 형상의 multi-point 저손실 유량계를 판매하고 있다. 외국 유량계회사에서 제작하는 형상은 특허가 되어 있어 독자적인 설계를 위한 기초연구의 일환으로 다이아몬드와 탄환형상을 조합하여 동압의 분포와 배압을 측정하여 배관형상에 따른 유속분포의 영향이 시뮬레이션에 미치는 영향을 분석하는 연구가 수행되었다.⁽⁹⁾

철강산업에서는 약 1600 °C의 용강(molten steel)을 처리하는 공정이 많은데, 이러한 공정에서 온도가 높

기 때문에 기존의 유속측정 기법은 사용하기가 어렵다. 용강의 자유표면의 속도 측정장치는 용강의 자유표면에 실린더를 담그고 유동특성을 측정함으로써 자유표면 아래의 유동속도를 환산할 수 있다. 두 가지의 측정방법이 있는데, 하나는 실린더에 걸리는 항력을 측정하는 방법이고, 다른 하나는 실린더 후류의 와생성 주파수를 측정하는 것이다. 그런데 이러한 실린더의 일부를 자유표면에 담그는 경우의 실린더 주변의 유동은 실린더 형상이나 주변 유동상황에 따라 유속계의 보정에 필요한 데이터를 문헌에서 직접 인용하기는 어렵다. 포항제철의 공정을 모사한 수모델 실험을 통하여 보정 관계식을 구하는 연구가 수행되었다.⁽¹⁰⁾

3. 벨브

벨브에서 발생하는 소음은 환경공해가 되고 있으며, 특히 콘트롤 벨브에서 소음이 크게 발생한다. 콘트롤 벨브의 소음 측정과 관련하여 ISO, IEC 등의 규격에 주어지고 있으며, 벨브 및 배관으로 이루어진 시스템에서 소음 발생에 영향을 주는 인자 및 발생 소음을 예측하는 방법이 제시되어 있으나, 현장에서 적용하기에는 너무 복잡하고 이해하기 어렵게 설명되어 있다. 따라서 벨브 제조업체에서 간편하게 사용할 수 있는 소음 예측방법을 얻기 위해 콘트롤 벨브의 소음을 잔향실에서 측정하여 IEC 소음평가 절차에 따라 현장에서 예상되는 차압이나 유량이 주어지면 소음을 예측하는 방법을 제시하는 연구가 시도되었다.⁽¹¹⁾

지진이나 건축물의 붕괴 등에 따른 가스배관의 파열이나 가스의 누출은 대형사고로 이어져 많은 인명 및 재산의 피해를 가져오기도 한다. 지진이 많이 발생하는 국가에서는 법적으로 차단 벨브를 설치하게 되어 있으나, 국내에서는 누출 경보기에 차단 벨브가 연결되어 있으며 볼 벨브를 모터로 잠그게 되어 있다. 긴급차단용 안전벨브는 국내에서는 사용되고 있지 않으며, 선진국에서 사용되고 있는 차단벨브 또한 전기적 힘에 의한 작동 방식으로 전원 공급이 차단되는 경우 그 기능을 제대로 발휘할 수 없는 단점이 있다. 그래서 전원 공급이 없이 작동할 수 있는 차단벨브가 개발되고 있다. 이 개발 중인 긴급차단용 자동 안전벨브의 성능에 대한 실험 데이터와 수치해석 자료를 제공함으로써 개발에 유용한 정보를 제공하고, 보다 우수한 형상 및 구조를 제시하였다.⁽¹²⁾

원자로의 냉각재 상실사고 발생 시 초기에는 파단

부를 통해 방출된 냉각제를 보충하기 위해 대 유량의 냉각제를 공급하고, 일정 기간 이후에는 비교적 소 유량의 냉각수를 공급할 수 있는 기능이 필요하다. 이 기능을 갖춘 안전주입탱크(SIT: Safety Injection Tank)인 축압기(accumulator) 또는 안전주입탱크 등의 내부에 Fluidic Valve와 같은 유체기구 등을 설치함으로써 운전원의 추가적인 조치 없이 피동적으로 요구 상황에 따라 필요로 하는 만큼 유량공급을 조절할 수 있다. Fluidic Valve 내부의 유동특성을 실험과 수치해석으로 분석하여 Fluidic Valve 설계에 필요한 자료를 발표하였다.^{(13),(14)}

온도가 서로 다른 유체를 두 개의 배관을 통해 공급하여 하나의 배관으로 유입시키는 경우, 각 유체 유입량을 조절하여 온도 및 물성을 일정하게 유지하는 역할은 매우 중요한 공정 조건이 된다. TCV(Temperature Control Valve)는 한쪽 배관에 공급되는 유량 변동이 발생하여도 유체 유입구의 크기를 조절하여 2차 측의 출구 유체 조성 비율을 일정하게 유지하는 밸브이다. 따라서, TCV를 배관의 중간에 설치할 경우 별도의 조작이 필요 없이 2차 측의 유체 조성 비율을 일정하게 하여 유체 공급을 가능하게 한다. 이러한 압력 평형식 온도 조절 밸브를 설계하는데 있어서 피스톤의 직경과 냉·온수구의 비가 설계인자로서 중요한 역할을 한다. 수치해석으로 TCV 밸브 내부 압력 및 유동을 분석하여 설계인자들 사이의 상호 연관성을 발표하였다.⁽¹⁵⁾

밸브 전후단 사이에 압력차이가 크게 일어나는 경우에 교축점에서의 압력이 유체의 포화 증기압보다 낮아지게 되면 기포가 발생하는 공동형상(cavitation)이 일어나고, 압력회복이 지연될 경우 후레싱(flushing) 현상이 발생한다. 이러한 현상이 발생되면 밸브에 심각한 손상을 입히게 된다. 압력차가 크게 발생하는 글로브 밸브에서 3차원 수치해석을 통해 유동장을 분석하고 유량계수를 구하여 실험 데이터와 비교한 결과가 발표되었다.⁽¹⁶⁾

4. 결 론

천연가스의 소비량 증가에 따라 가스량을 측정하는 분야의 유량측정 정확도 향상 연구가 진행되고 있으며, 반조체 공정에 많이 사용되고 있는 열량형 질량 유량계의 성능에 관련된 연구가 수행되었다. 가스 유량측정에 기준으로 사용되는 소닉 노즐 중에서 특히 소형 소닉 노즐의 특성에 관한 실험 및 수치해석 연구

가 활발히 진행되었다.

산업체에서 개발중인 유량계 및 밸브의 특성에 관한 연구결과가 발표되었으며, 새로운 개념의 가스 긴급차단 안전 밸브 등이 개발되어 성능평가 논문이 발표되었으며, 환경공해를 고려한 밸브의 소음예측 연구도 수행되었다. 산학연의 공동연구가 많이 수행되어 기술개발과 더불어 좋은 연구결과가 발표되기를 기대한다.

참고문헌

- (1) 이승준, 이강진, 정종대, 하영철, 안승희, 허재영, 2001, "천연가스 유량계 교정 시스템의 설계 구축 및 운영", 2001 유체기계 연구개발 발표회 논문집 /유체기계공업학회, pp. 389~394.
- (2) 김홍민, 김광용, 허재영, 하영철, 2001, "CFD를 이용한 오리피스 유량계의 차압계산", 2001 유체기계연구개발발표회논문집/유체기계공업학회, pp. 400~403.
- (3) 최용문, 박경암, 윤복현, 장석, 최해만, 이생희, 2001, "열량형 질량 유량계의 성능평가" 대한기계학회 2001년도 추계학술대회논문집 E, pp. 595~600.
- (4) 최해만, 박경암, 최용문, 2001, "소닉노즐의 유량 측정 불확도 평가", 대한기계학회논문집 B권, 제25권, 제12호, pp. 1898~1904.
- (5) 김준희, 우선훈, 김희동, 2001, "마이크로 임계노즐의 CFD 예측", 대한기계학회 추계발표논문집(B), pp. 652~657.
- (6) 정미선, 김현섭, 김희동, 2001, "초음속 마이크로 제트 유동에 관한 기초적 연구", 대한기계학회 추계발표논문집(B), pp. 622~627.
- (7) 이준희, 김희동, 박종호, 2001, "기체유동에서 발생하는 복합초킹(Compound choking) 현상에 대한 기초적 연구", 한국추진공학회 추계학술발표회 논문집, pp. 41~42.
- (8) 현병국, 황상윤, 안용관, 박성하, 2001, "초음파 유량계에 사용되는 초음파 진동자 특성향상에 관한 연구", 2001 유체기계연구개발발표회논문집/유체기계공업학회, pp. 394~399.
- (9) 임재명, 윤복현, 박경암, 2001, "다점 피토크 유량계의 특성에 관한 연구", 유체기계저널, 제4권, 제2호, pp. 35~43.
- (10) 김인철, 조명중, 김상준, 이상준, 2001, "자유수면에 세워진 원주 주위의 유동특성을 이용한 자유

- 표면 유속계의 개발”, 대한기계학회 2001년도 추계학술대회 논문집 E, pp. 607~612.
- (11) 이용봉, 윤병로, 권휴상, 박경암, 유선학, 2001, “밸브의 소음측정 방법”, 2001 유체기계연구개발발표회 논문집/유체기계공업학회, pp. 433~438.
- (12) 송희용, 박경암, 고성호, 2001, “긴급차단용 안전밸브의 성능해석”, 2001 유체기계연구개발발표회 논문집/유체기계공업학회, pp. 413~418.
- (13) 유성연, 지명석, 김기형, 김만웅, 2001, “Fluidic valve의 유동특성에 관한 연구”, 2001 유체기계연구개발발표회논문집/유체기계공업학회, pp. 425~432.
- (14) 조봉현, 배운영, 박종균, 유성연, 2001, “2단 유량 제어 Fluidic Device의 특성에 관한 연구”, 유체기계저널, 제4권, 제3호, pp. 53~61.
- (15) 김태안, 김윤제, 2001, “압력평행식 온도조절밸브의 유동특성 연구”, 2001 유체기계연구개발발표회 논문집/유체기계공업학회, pp. 419~424.
- (16) 윤준용, 변성준, 양재모, 이도형, 2001. “고차압 제어용 글로브 밸브 트림 내부의 3차원 유동장 해석”, 유체기계저널, 제4권, 제3호, pp. 14~2.