

유량계 및 밸브분야 연구동향

박경암*

1. 서 론

2002년도의 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

유량측정 연구는 유량측정 표준 및 기준기급 유량계의 연구와 유량계의 특성 연구, 유량계 개발과 관련된 연구로 분류할 수 있다.

용량이 작은 기체 유량측정 표준기로 피스톤 푸루버가 사용되고 있다. 유리관 내에 밀봉된 피스톤이 이동하면 이동거리와 이동시간을 측정하여 유량을 계산하는 시스템인데 기존에는 광 센서를 사용하여 측정하였는데 레이저 인터페로메터를 사용하여 측정 불확도를 향상시키는 연구결과가 발표되었다⁽¹⁾. 물 유량측정 시스템의 불확도 평가 기법을 발표하였으며 물 유량측정 시스템의 용량을 확장하고 불확도를 향상시키는 연구결과를 얻었다⁽²⁾. ISO guide 25에 따라 불확도를 구체적으로 평가한 이 적용 예는 다른 유량계의 불확도 계산의 표본으로 사용될 수 있으며 유량측정 데이터의

표준에 소급성을 유지하는 데 필요한 자료가 될 것이다.

기체유량 측정의 기준 유량계로 사용되는 소닉노즐은 최대 유동을 측정범위가 입구 측 압력변화 범위 내에서 제한을 받기 때문에 넓은 유동을 범위에서 소닉노즐을 사용하기 위해서는 노즐 목의 구경이 각각 다른 노즐을 다수 사용해야 하는 단점이 있으나, 노즐을 통과하는 질량유량이 노즐 하류 측에서 발생하는 유동교란이나 압력변동에 영향을 받지 않고 일정하게 유지되며 유량계산을 위해서 노즐 상류 측의 온도, 압력만 측정하면 되는 장점이 있다. 또한 용이한 작동과 이동, 높은 효율성과 재현도, 높은 불확도 등으로 소닉노즐은 기체 유량계를 현장에서 직접 교정할 수 있는 소형 기체 유량계 표준 교정시스템에 사용하며, 세계 각국의 표준기관에서 기준기나 각 표준기관이 보유한 시스템의 측정 정확도를 비교하는데 많이 사용하고 있다. 유동용이 작은 범위에서 사용하는 소형 소닉노즐에 관한 ISO 규격이 없으며 유출계수와 노즐이 질식되는 상류 정체압력과 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 소닉노즐의 유동장을 수치해석으로 분석하고 유출계수를 계산하였다. 소닉노즐의 벽면에서 발생하는 복잡한 경계층 유동을 해석하여 유출계수가 레이놀즈 수 및 압력비등의 함수로 얻어질 수 있는 것을 보고하였다. 내부유동에서 발생하는 기체유동의 초크현상을 보다 체계적으로 조사하기 위해, 복합초크의 현상을 수치해석으로 연구하여, 노즐 목에서 유동이 부분적으로 아음속이 된다고 하더라도 실제 유동은 초크할 수 있음을 밝힌 바 있으며, 또 마이크로노즐을 통하는 유동을 수치계산으로 모사한 바 있다⁽³⁾⁻⁽⁷⁾.

천연가스는 한국가스공사에서 액체 상태로 도입하고 이를 기화시켜 도시가스회사에 판매하며, 도시가스회사는 소비자에게 이를 판매하고 있다. 이 유통 경로에서 공급받은 가스 유량과 판매한 가스 유량 사이에는 이상적인 경우에는 차이가 없어야 한다. 그러나 가

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

스 유량측정을 하는 계량기의 허용오차 및 여러 가지 원인으로 발생할 수 있는 측정오차에 기인하여 공급받은 가스 유량과 최종 소비자에 판매한 가스 유량 사이에 차이가 발생한다. 따라서 공급량과 판매량의 차이가 계약서나 규정에서 허용하는 범위 내에 있는 경우는 그 차이를 인정하고 있지만 차이가 범위 밖에 있는 경우에는 그 원인 분석이 필요하며 이에 대한 전망과 현황을 발표하였다⁽⁸⁾.

가스 유량계의 교정 정확도를 향상시키기 위해 실가스인 천연가스로 유량계를 교정할 수 있는 교정 시스템의 설계, 구축 및 운영에 관한 논문이 발표되었다⁽⁹⁾. 게이지 압력을 측정하는 가스 유량계에서 표준 대기압(1.01325 bar)을 사용하는 경우와 실제 대기압을 사용하는 경우에 가스 유량측정에 미치는 영향을 분석하였다⁽¹⁰⁾.

오리피스 유량계는 가장 많이 사용되고 있으며 국제규격이 잘되어 있다. 국내에서는 천연가스를 한국가스공사에서 도시가스회사로 판매할 때 오리피스 유량계가 많이 사용되고 있으며 산업체에서도 많이 사용되고 있다. 이 오리피스 유량계의 유량측정에 와류가 미치는 영향이 크다. 따라서 엘보 하류에서 오리피스로 유량을 측정하는 경우를 3차원 수치해석으로 유량측정 오차를 예측한 결과를 발표하였다^{(11),(12)}.

오리피스 유량계에 대한 연구로서 오리피스의 길이와 직경비, 질량 유량, 상류압력 등에 따른 소음특성을 실험한 결과를 보고하였다⁽¹³⁾. 원자력 발전소에서 압력 차이를 크게 유지하면서 유량을 측정하는 원추형 오리피스 유량계에 관한 연구도 발표되었다⁽¹⁴⁾.

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 전파 시간 측정에 사용된 초음파 센서는 압전 세라믹 PZT를 사용하고 있다. 여러 가지 경우의 유동장에서 다회선 초음파 유량계의 유속분포 적분 방법을 평가하고 불확도 요인을 분석한 결과가 발표하였다^{(15),(16)}. 원자력 발전소에 주 급수 유량측정에 벤투리 유량계가 사용되고 있으나 장기간 사용하면 침전, 부식 등에 따른 유량측

정 오차가 발생하므로 초음파 유량계로 대체하는 경우에 불확도를 비교 평가하였으며 초음파 유량계의 실험을 통하여 원자력 발전소의 효율 향상을 얻을 수 있는 연구결과를 얻었다^{(17),(18)}.

전자기 유량계는 파라데이의 전자기 유도현상 원리를 이용하는 것으로, 유동하는 전도성 유체의 유속과 가해진 자기장에 수직인 방향으로 유속과 자기장의 세기에 비례하여 생성되는 유도기전력으로부터 액체의 평균 유속과 유량을 측정한다. 전자기 유량계는 국내 여러 개의 유량계 업체에서 제작을 하고 있으며 성능 향상을 위한 노력을 하고 있다. 이 유량계를 개발하고 있으면서 측정관의 재질에 따른 여러 가지 신호처리에 미치는 영향을 분석하였다⁽¹⁹⁾.

전자기 유량계를 2상 슬러그 유동측정에 사용하는 기술을 개발하였다. 전류형식은 고주파 삼각파 교류 여자법을 활용하였으며 잡음 제거를 위한 신호처리부도 개발하여 유량측정 불확도를 평가한 결과가 발표되었다^{(20)~(22)}. 기포가 유량측정에 미치는 영향도 분석하였다.

관내 유속분포를 측정하여 유량을 얻으려는 연구는 많이 진행되어 왔다. 산업현장에서 유량을 측정하려는 곳에서 유속분포는 와류, 비대칭 등 여러 가지 영향에 따라 레이놀즈 수에 따른 일정한 속도분포를 갖지 않아 사용되지 않고 있지만 순간적으로 단면의 모든 지점에서 유속을 알고 있으면 유량을 계산할 수 있다. 피도 튜브로 관내 유속분포를 측정하고 유량을 측정하는 연구결과가 발표되었다⁽²³⁾.

3. 밸브

빌딩의 고층화 및 자동화에 맞추어 건축설비에 수동밸브 또는 자력식 밸브 대신에 콘트롤 밸브 많이 사용되고 있다. 감압 밸브와 자동온도 조절밸브의 사용예와 설치 방법을 제시하였다⁽²⁴⁾. 형상기억합금을 이용한 수온 감지식 자동온도조절밸브의 설계자료 및 적용방안에 관한 이론적 실험적 연구를 수행하였다⁽²⁵⁾. 실내온도를 제어하기 위해 멀티형 냉동 시스템의 과열도 관련 알고리즘을 사용한 전자팽창밸브 과열도 제어 알고리즘 성능을 실험한 결과가 발표되었다^{(26)~(28)}.

냉난방에 사용하는 밸브에서 발생하는 소음은 환경공해가 되고 있으며 특히 콘트롤 밸브에서 소음이 크게 발생한다. 콘트롤 밸브의 소음 측정과 관련하여 ISO, IEC등 규격에 주어져 있으며, 밸브 및 배관으로 이루어진 시스템에서 소음 발생에 영향을 주는 인자

및 발생 소음을 예측하는 방법이 제시되어 있으나 현장에서 적용하기에는 너무 복잡하고 이해하기 어렵게 설명되어 있다. 밸브 제조업체에서 간편하게 사용할 수 있는 소음 예측방법을 얻기 위해 콘트롤 밸브의 소음을 잔향실에서 측정하여 IEC 소음평가 절차에 따라 현장에서 예상되는 차압이나 유량이 주어지면 소음을 예측하는 방법을 제시하는 연구가 시도되었다⁽²⁹⁾.

자동차 연료분사기에 고속응답 솔레노이드 밸브가 사용되고 있다. 이 솔레노이드 밸브를 동적 시뮬레이션하고 자기력 및 실제동작을 실험하여 밸브 내부의 와전류, 플린저의 충돌, 발발 특성을 발표하였다⁽³⁰⁾.

버터플라이 밸브는 원형 관내의 유량을 밸브 디스크를 움직여 각도에 따라 제어한다. 디스크의 각도에 따라 유체가 원형 관을 지나는 단면적이 크게 달라짐으로 압력 차이에 의해 유속의 변화가 심하게 되고 밸브 후류는 일정한 유동패턴이 없는 복잡한 난류 형태가 된다. 실험과 수치해석으로 버터플라이 밸브 디스크를 통과하면서 발생하는 유체의 정체점, 박리점, 재순환 영역들을 분석한 결과를 발표하였다⁽³¹⁾.

유압시스템의 압력제어에 사용되는 릴리프 밸브나 감압 밸브의 응답성 및 누설에 따라 소음이 발생하고 제어가 어려운 경우가 있다. 안정성과 응답특성이 우수한 포켓밸브의 출구에 드레인 오리피스에 있는 경우에 이론적 해석과 실험을 통하여 여러 가지 물리인자에 따른 성능평가를 수행하였다⁽³²⁾.

콘트롤 밸브의 특성이 유체기계에 미치는 영향을 분석한 연구가 진행되었다. 무단변속기의 변속비는 압력제어 방식과 유량제어 방식이 있는 데 최근 전자제어방식에서는 대부분 압력제어방식이 채택되고 있다. 무단변속기의 변속비 콘트롤 밸브의 2 종류의 압력제어 방식에 따른 특성을 이론적 해석과 실험을 한 결과 잘 일치하였으며 변속성능을 예측할 수 있는 결과를 얻었다⁽³³⁾. 발전소의 증기 터빈에 유입되는 증기량을 조절하는 콘트롤 밸브의 성능이 터빈에 진동을 유발하여 베어링에 영향을 주게 된다. 밸브의 개도에 따른 유동이 터빈에 가해지는 힘과 터빈 베어링의 이상 진동을 분석하였다⁽³⁴⁾.

원전의 안전관련 기기는 정상 또는 비정상 환경조건과 지진발생과 같은 설계기준 사고에서도 그 기능이 유지될 수 있도록 설계되어야 하며, 또한 이러한 설계조건에 대한 적합성이 검증되어야 한다. 이러한 일련의 입증과정을 각각 내진 검증 및 내환경 검증이라 하고 이 두 과정을 합하여 통상 기기 검증이라 한다. 안

전 관련 기기 중에서 방사능 물질을 긴급 차단할 수 있는 동력 구동밸브의 성능평가는 매우 중요하다. 성능평가 항목으로서 기준 운전성 시험, 정상 열적 노화 시험, 정상 가압 사이클 시험, 정상 방사선 노화 시험, 진동 노화 시험, 내진 모의 시험, 설계 기준에서 방사선 노출 및 환경 시험 등을 요약하여 발표하였다⁽³⁵⁾.

밸브관련 ISO/TC 153의 국제 표준화 회원국은 P-member 16개국 O-member 32개국으로 우리나라는 투표권이 있는 P-member 이다. SC 1, SC 2분과에서 제정한 ISO 규격과 활동 현황을 소개하였다⁽³⁶⁾.

4. 결론

유량측정 표준 시스템의 불확도 평가와 향상에 관한 논문이 발표되었으며 기체 유량측정에 기준기로 사용하는 소닉노즐에 관한 논문이 많이 발표되었다. 천연가스의 소비량 증가에 따라 가스량을 측정하는 분야의 유량측정 정확도 향상 연구가 진행되고 있으며 유동장이 가장 많이 사용되고 있는 오리피스의 특성에 미치는 영향을 분석한 논문이 다수 발표되었다.

전자기술의 발달로 초음파 유량계와 전자기 유량계의 개발과 관련 논문이 발표되었으며 특성실험 결과가 발표되었다. 기포가 전자기 유량계에 미치는 영향도 분석되었다.

냉난방 설비에 사용되는 콘트롤 밸브에 관한 연구가 많이 진행되었다. 온도조절밸브의 제어 알고리즘 및 소음측정, 버터플라이 밸브의 유동장 해석 연구가 발표되었다.

콘트롤 밸브가 유체기계의 성능에 미치는 연구로서 유압 시스템에 사용되는 포켓밸브, 자동차 무단 변속기에 사용되는 압력제어 콘트롤 밸브, 발전소의 주 증기량 조절 밸브 등의 연구가 진행되었으며 원전에 사용되는 동력 구동밸브의 성능평가, ISO 밸브 규격 표준화 연구동향이 발표되었다.

2001년도 보다 많은 연구논문이 발표되었으며⁽³⁷⁾ 2003년에는 산학연의 공동연구가 많이 수행되어 기술개발과 더불어 좋은 연구결과가 발표되기를 기대한다.

참고문헌

- (1) 최해만, 박경암, 2002, “새로운 개념의 피스톤 푸루버 개발 및 불확도 평가”, 2002 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 354~359.

- (2) 이광복, 2002, “물 유량 표준시스템의 불확도 평가”, 유체기계저널, Vol. 5, No. 4, pp. 93~102.
- (3) 김재형, 김희동, 박경암, 2002, “임계노즐 유동에 미치는 노즐 곡률의 영향”, 2002 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 331~336.
- (4) 김재형, 김희동, 박경암, 2002, “디퓨저 확대각이 임계노즐의 임계압력비에 미치는 영향”, 제2회 한국유체공학학술대회 논문집, pp. 131~134.
- (5) 김재형, 정미선, 김희동, 박경암, 2002, “압축성 마이크로 유동에 관한 기초 연구”, 제2회 한국유체공학학술대회 논문집, pp. 143~146.
- (6) 이준희, 우선훈, 김희동, 2002, “축소노즐에서 발생하는 기체유동의 복합 초킹현상에 관한 연구”, 제2회 한국유체공학학술대회 논문집, pp. 147~150.
- (7) 김재형, 김희동, 박경암, 2002, “임계노즐에서 발생하는 비정상유동에 관한 연구”, 2002 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 337~345.
- (8) 박경암, 허재영, 2002, “천연가스 유량측정기술의 현황 및 전망”. 유체기계저널, Vol. 5, No. 4, pp. 85~88.
- (9) 이승준, 허재영, 2002, “천연가스 유량계 교정 시스템의 설계, 구축 및 운영”, 유체기계저널, Vol. 5, No. 1, pp. 62~69.
- (10) 정중태, 하영철, 이철구, 허재영, 2002, “대기업이 가스유량측정에 미치는 영향에 관한 연구”, 2002 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 363~369.
- (11) 김홍민, 김광용, 허재영, 하영철, 2002, “선회로 인한 오리피스 유량계의 계량오차 예측을 위한 삼차원 유동해석”, 제2회 한국유체공학학술대회 논문집, pp. 79~82.
- (12) 윤준용, 성낙훈, 2002, “오리피스 전단에 인접한 90° 엘보와 오리피스간의 거리가 유출계수에 미치는 영향”, 제2회 한국유체공학학술대회 논문집, pp. 357~360.
- (13) 김신주, 정호경, 김경천, 김병순, 2002, “Short tube orifice의 유동 및 소음특성에 관한 연구”, 대한설비공학회 2002 동계학술대회 논문집, pp. 450~455.
- (14) 김연수, 김유곤, 2002, “이단 원추형 오리피스를 지나는 압력장과 유동장에 관한 수치적 연구”, 대한기계학회논문집 B권, Vol. 26, No. 2, pp. 278~287.
- (15) 김주영, 김경진, 박성하, 2002, “대칭 및 비대칭 유동장에서 다회선 초음파 유량계의 유속분포 적분 방법 평가”, 2002 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 370~377.
- (16) 황상윤, 박성하, 박경암, 2002, “간접 교정에 의한 다회선 초음파 유량계 UR-1000 불확도 분석”, 2002 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 378~386.
- (17) 유성식, 박종호, 2002, “웨이블릿 해석과 인공 신경회로망을 이용한 원자력발전소의 급수유량 평가”, 유체기계저널, Vol. 5, No. 4, pp. 47~53.
- (18) 유성식, 서종태, 박종호, 2002, “웨이블릿 해석과 인공 신경회로망을 이용한 원자력발전소의 급수 유량 평가”, 2002 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 346~353.
- (19) 임기원, 김창호, 2002, “전자기유량계의 개발 및 신호 특성에 관한 연구”, 제2회 한국유체공학학술대회 논문집, pp. 361~364.
- (20) 안예찬, 오병도, 김무환, 2002, “환상류 측정용 전류형식 전자기 유량계를 위한 3차원 가상포텐셜 분포의 수치적 계산, 기계의 날 선포 및 2002년도 기계관련 산학연 심포지움(기계학회 편), pp. 2209~2216.
- (21) 차재은, 안예찬, 서경우, 김무환, 2002, “전자기유량계를 이용한 기포 및 슬러그 유동 측정법 연구” 대한기계학회논문집 B권, Vol. 26, No. 11, pp. 1559~1569.
- (22) 차재은, 안예찬, 서경우, 김무환, 2002, “고주파 삼각파 여자법을 사용한 실시간 슬러그 유동 측정용 전자기 유량계”, 대한기계학회논문집 B권, Vol. 26, No. 11, pp. 1570~1577.
- (23) 박상언, 2002, “매끈한 관내 공기유동에서 유량과 속도분포에 관한 실험적 연구”, 유체기계저널, Vol. 5, No. 4, pp. 54~60.
- (24) 김유식, 2002, “콘트롤밸브의 건축설비 응용에”, 대한설비공학회 2002 하계학술대회 논문집, pp. 941~945.
- (25) 이태원, 김용기, 이재홍, 전영길, 2002, “형상기억 합금 이용 자동온도조절밸브의 제어특성에 관한 해석적 연구”, 대한설비공학회 2002 동계학술대회 논문집, pp. 575~580.
- (26) 한도영, 이상원, 2002. “EEV 과열도 제어 알고리즘을 사용한 밀티형 냉방시스템의 실내온도 제어”, 대한설비공학회 2002 동계학술대회 논문집, pp. 357~362.

- (27) 한도영, 이상현, 2002, “퍼지 로직을 사용한 멀티형 히트펌프 전자팽창밸브 과열도 설정 알고리즘”, 대한설비공학회 2002 하계학술대회 논문집, pp. 1247~1252.
- (28) 한도영, 표수완, 2002, “멀티형 히트펌프 전자팽창밸브의 디더 신호를 적용한 과열도 제어”, 설비공학논문집, Vol. 14, No. 11, pp. 948~953.
- (29) 이용봉, 윤병로, 박경암, 이두희, 유선학, 2002, “간향실을 이용한 콘트롤 밸브 소음 예측 방법”, 한국음향학회지, Vol.21, No.8, pp. 703~707.
- (30) 권기태, 한화택, 2002, “비정상 유한요소법을 이용한 고속응답 솔레노이드 밸브의 동적거동해석”, 대한기계학회논문집 B권, Vol. 26, No. 7, pp. 858~965.
- (31) 심요셉, 허형석, 변동근, 서용권, 2002, “원관내 밸브 디스크 회전각의 변화에 따른 유동특성”, 제2회 한국유체공학학술대회 논문집, pp. 75~78.
- (32) 윤소남, 함영복, 최병오, 최영호, 2002, “드레인 오리피스가 있는 포켓밸브의 특성해석”, 기계의 날 선포 및 2002년도 기계관련 산학연 심포지움(기계학회 편), pp. 856~860.
- (33) 류완식, 남주현, 이희라, 김현석, 이진희, 이용준, 김현수, 2002, “압력제어방식 CVT의 변속비 제어 밸브 특성해석”, 기계의 날 선포 및 2002년도 기계관련 산학연 심포지움(한국자동차공학회 편), pp. 434~439.
- (34) 구자량, 김영환, 김두영, 2002, “터빈 control valve 개도에 의한 터빈의 이상 진동”, 기계의 날 선포 및 2002년도 기계관련 산학연 심포지움(기계학회 편), pp. 2546~2549.
- (35) 정경열, 김병덕, 오상훈, 2002, “원자력발전소용 동력구동밸브 구동기의 성능평가 기술동향”, 유체기계저널, Vol. 5, No. 4, pp. 103~110.
- (36) 윤준용, 2002, “밸브 관련 ISO 국제표준화 활동 현황”, 유체기계저널, Vol. 5, No. 4, pp. 89~92.
- (37) 박경암, 2002, “유량계 및 밸브 분야 연구동향”, 유체기계저널, Vol. 5, No. 1, pp. 91~94.