

유량계 및 밸브분야 연구동향

박 경 암*

1. 서 론

2003년도의 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 푸름버가 사용되고 있다. 유리관 내에 밀봉된 피스톤이 이동하면 이동거리와 이동시간을 측정하여 유량을 계산하는 시스템인데 기존에는 광 센서를 사용하여 측정하였는데 레이저 인터페로미터를 사용하여 측정 불확도를 향상시키는 연구결과가 발표되었다⁽¹⁾. 기름 유량측정 시스템의 불확도 평가 기법을 발표하였으며 기름 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 소닉노즐의 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. 최대 유동을 측정범위가 입구 측 압력변화 범위 내에서 제한을 받기 때문에 넓은 유동을 범위에서 소닉노즐을 사용하기 위해서는 노즐 목의 구경이 각각 다른 노즐을 다수 사용하거나 노즐 목 직경을 변화시켜야 한다. 가변형 노즐에 관한 연구 사례는 거의 전무한 상태에서 기초연구가 수행되어 소닉노즐의 응용범위를 확대할 수 있는 계기가 되고 있다^(3,4). 매우 작은 소닉노즐의 형상은 가공이 어려우며 제작이 간단한 오리피스에서 임계 유동에 관한 연구도 수행되었다⁽⁵⁾.

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 가스 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 거래량이 커서 작은 차이가 미치는 경제적 효과는 크므로 정확한 측정을 위한 연구가 계속 진행되고 있다.

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

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 오리피스 유량을 측정하는 경우를 3차원 수치해석으로 유량측정 오차를 예측한 결과를 발표하였다⁽⁶⁾. 오리피스 유량계에서 차압을 측정할 때 케이지라인의 누설이 차압측정과 가스량 측정에 미치는 영향을 연구하였다⁽⁷⁾. 도시가스회사에서 소비자에게 판매하는 내용량 가스 유량측정에 사용되는 터빈 유량계는 질량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이 터빈 유량계의 국내 개발에 필요한 기초 연구로서 수치해석 결과가 발표되었다⁽⁸⁾.

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 사용하고 있다. 여러 가지 경우의 유동장에서 다회선 초음파 유량계의 유속분포 적분 방법을 평가하고 불확도 요인을 분석한 결과가 발표하였다^(9,10,11). 원자력 발전소에 주 급수 유량측정에 벤투리 유량계가 사용되고 있으나 장기간 사용하면 침전, 부식 등에 따른 유량측정 오차가 발생하므로 초음파 유량계로 대처하는 경우에 불확도를 비교 평가하였으며 초음파 유량계의 실험을 통하여 원자력 발전소의 효율 향상을 얻을 수 있는 연구결과를 얻었다⁽¹²⁾.

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⁽¹³⁾. 전자기 유량계를 2상 슬

러그 유동측정에 사용하는 기술을 개발하였다. 전류형식은 고주파 삼각파 교류 여자법을 활용하였으며 잡음 제거를 위한 신호처리부도 개발하여 유량측정 불확도를 평가한 결과가 발표되었다⁽¹⁴⁾. 기포가 유량측정에 미치는 영향도 분석하였다.

원자로에서 유량계를 설치할 수 없는 경우에 간접적인 방법에 의한 유량측정 방법연구⁽¹⁵⁾, 발전용 보일러의 과열방지를 위한 오리피스 연구⁽¹⁶⁾, 모세관에서 냉매의 유량예측 연구⁽¹⁷⁾ 등도 수행되었다.

질량 유량을 직접 측정하는 것이 부피 유량을 측정하는 것 보다 장점이 많다. 반도체 공정에 많이 사용되는 열량형 질량 유량계의 유량변화에 대한 응답속도에 관한 연구가 발표되었다⁽¹⁸⁾. 액체 유량측정에 사용되고 있으며 국내 개발이 진행되고 있는 코리올리스 질량 유량계의 특성에 관한 연구도 수행되었다⁽¹⁹⁾.

3. 벨브

빌딩의 고층화 및 자동화에 맞추어 건축설비에 수동벨브 또는 자력식 벨브 대신에 콘트롤 벨브 많이 사용되고 있다. 자동 정유량 벨브의 스프링 길이, 유로형상의 영향에 관한 실험적 연구를 수행하였다⁽²⁰⁾. 실내온도를 제어하기 위해 밀티형 냉동 시스템의 과열도 관련 알고리즘을 사용한 전자팽창밸브 과열도 제어 알고리즘 성능을 실험한 결과가 발표되었다⁽²¹⁾.

원자력발전소 계통의 과도한 압력이 발생하였을 때 안전방출 벨브의 개발을 위한 수치해석 연구와 ASME 규격에 따라 검증 시험 결과를 발표하였다⁽²²⁾. 발전소에서 차압이 큰 경우에 많이 사용되는 모터구동게이트벨브의 부화율을 향상하기 위해서 정적, 동적 부화율 시험을 통해서 부화율을 향상시키는 연구가 수행되었다⁽²³⁾. 모터구동 글로브 벨브가 고온, 고압에서 사용될 때 디스크-몸체 마찰부화에 관한 실험결과가 발표되었다⁽²⁴⁾.

버터플라이 벨브는 원형 관내의 유량을 벨브 디스크를 움직여 각도에 따라 제어한다. 디스크의 각도에 따라 유체가 원형 관을 지나는 단면적이 크게 달라짐으로 압력 차이에 의해 유속의 변화가 심하게 되고 벨브 후류는 일정한 유동패턴이 없는 복잡한 난류 형태가 된다. 실험과 수치해석으로 버터플라이 벨브 디스크를 통과하면서 발생하는 유체의 정체점, 박리점, 재순환 영역들을 분석한 결과를 발표하였다⁽²⁵⁾.

유압시스템의 압력제어에 사용되는 릴리프 밸브나 감압 벨브의 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⁽²⁶⁾.

펌프가 정지할 때 역류를 방지하는 스윙형 역지밸브의 성능을 평가하는 방법개발하고 이론적 연구가 수행되었으며^(76,28), 수치해석 연구로서 압력평행밸브에서 피스톤 형상에 따른 유동장 해석 연구⁽²⁹⁾와 왕복동형 압축기에 사용되는 밸브리드에서 압력분포와 유동해석 연구³⁰⁾가 수행되었다.

가스라인지에 사용되는 가스 밸브는 안전성과 소형화가 되어야 한다. 국내에서는 전량 수입에 의존하고 있었으나 국산화하여 성능 검증결과가 발표되었다⁽³¹⁾.

상수도 배관에 사용되는 체크밸브의 마찰손실을 최소화하기 위해 유동장 해석의 기법으로 PIV를 활용하여 유속, 압력분포를 가시화하여 압력손실 감소효과를 발표하였다⁽³²⁾.

밸브 후단에 피팅이 있을 경우 밸브의 용량계수, 특성에 미치는 영향을 수치해석으로 분석하였으며 피팅이 밸브에 가까이 있을 경우 영향을 미치지만 밸브와 피팅사이의 거리가 관 직경의 5~7배 이상이면 영향이 없다는 결과를 얻었다⁽³³⁾.

BT관련 연구가 활성화 되면서 새로운 밸브분야로서 심장의 밸브에 관한 연구결과가 진행되고 있다^(34,35).

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, 버터프라이 밸브의 유동장 해석 연구가 발표되었다.

발전소에 사용되는 고온, 고압 밸브의 관한 연구가 진행되었으며 다양한 종류의 밸브에 대한 개발 및 성

능평가 결과가 발표되었다. BT, NT 등 새로운 분야의 연구가 진행되면서 기존의 밸브와는 다른 밸브에 대한 연구가 예상된다.

2002년과 비슷한 수의 연구논문이 발표되었으며⁽³⁶⁾ 2004년에는 산학연의 공동연구가 많이 수행되어 기술개발과 더불어 좋은 연구결과가 발표되기를 기대한다.

참고문헌

- (1) 최해만, 박경암, 2003, "피스톤 푸루버 개발 및 불확도 평가", 유체기계저널, 제6권, 제2호, pp. 47~53.
- (2) 임기원, 최종오, 2003, "기름 유량표준장치의 개발 및 측정 불확도에 관한 연구" 대한기계학회 논문집 B권, 제27권, 제8호, pp. 1071~1080.
- (3) 김재형, 김희동, 박경암, 2003, "가변형 임계 노즐 유동에 관한 기초적 연구", 대한기계학회 2003년도 추계학술대회 논문집, pp. 484~489.
- (4) 김재형, 김희동, 박경암, 2003, "가변형 임계노즐 유동에 관한 실험/수치해석 연구", 2003 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 167~173.
- (5) 김재형, 김희동, 박경암, 2003, "오리피스를 통하는 임계 기체 유동에 관한 연구", 대한기계학회 2003년도 추계학술대회 논문집, pp. 532~537.
- (6) 김홍민, 김광용, 허재영, 2003, "배관구조에 따른 속도분포 변형과 선화가 오리피스 유량계의 압력차에 미치는 영향에 관한 수치적 연구", 대한기계학회 논문집 B권, 제27권, 제10호, pp. 1450~1456.
- (7) 이철구, 하영철, 허재영, 2003, "오리피스 유량계에서 게이저라인 누설에 의한 계량오차", 2003 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 143~148.
- (8) 김진범, 고성호, 2003, "터빈유량계의 3차원 유동에 관한 수치적 연구", 유체기계저널, 제6권, 제1호, pp. 44~50.
- (9) 김재형, 김희동, 이호준, 황상윤, 2003, "초음파 유량계를 통하는 기체유동의 CFD 해석", 대한기계학회 2003년도 추계학술대회 논문집, pp. 998~1003.
- (10) 황상윤, 이호준, 박기환, 2003, "다회선 초음파 유량계를 이용한 거래용 오일유량 측정", 2003 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 149~153.
- (11) 이호준, 황상윤, 김경진, 2003, "가중계수에 의한 다회선 초음파 유량계의 유량적분오차", 2003 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 154~160.
- (12) 장우현, 하재홍, 이정양, 김영백, 박경암, 유성연,

- 2003, “초음파 유량계를 이용한 원전 주급수 유량 측정의 불확실도 및 유량보정계수 산정 방법론”, 계측제어기술 workshop, pp. 302~316.
- (13) 임기원, 2003, “전자기 유량계의 설계 및 제작”, 대한기계학회 논문집 B권, 제27권, 제10호, pp. 1385~1392.
- (14) 안예찬, 오병도, 김무환, 2003, “2상류용 전류형식 전자기유량계 이론 및 환상류에서의 3차원 가상 포텐셜 분포의 수치적 계산”, 대한기계학회 논문집 B권, 제27권, 제6호, pp. 714~725.
- (15) 이준, 윤구현, 지성균, 2003, “일체형원자로에서 냉각재펌프의 전력측정을 이용한 실시간 유량산정 방법에 관한 연구”, 2003 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 161~166.
- (16) 김범신, 유성연, 하정수, 김의환, 2003, “발전용 보일러 주급기 튜브 과열방지용 오리피스 설계기법”, 대한기계학회 2003년도 춘계학술대회 논문집, pp. 373~378.
- (17) 최종민, 장용희, 김용찬, 2003, “대체냉매를 적용한 일반화된 모세관의 유량측정 상관식”, 설비공학논문집 제 15권, 제9호, pp. 744~750.
- (18) 김동권, 한일영, 김성진, 2003, “열식 질량 유량계 센서관의 과도 특성에 관한 연구”, 대한기계학회 2003년도 춘계학술대회 논문집, pp. 308~313.
- (19) 임기원, 이한규, 2003, “코리올리스 질량유량계의 유량측정에 영향을 미치는 인자에 관한 실험적 연구”, 대한기계학회 논문집 B권, 제27권, 제12호, pp. 1699~1707.
- (20) 유선학, 강승덕, 박경암, 2003, “자동 정유량 온도 조절밸브의 스프링 길이가 밸브 용량에 미치는 영향”, 2003 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 174~177.
- (21) 한도영, 이상원, 2003, “퍼지로지적 과열도 제설정 알고리즘을 사용한 멀티형 냉방시스템의 전자팽창밸브 제어”, 설비공학논문집 제 15권, 제5호, pp. 382~388.
- (22) 김칠성, 김강태, 김지현, 장기종, 홍기성, 2003, “원자력 등급용 안전방출밸브 개발”, 대한기계학회 2003년도 춘계학술대회 논문집, pp. 629~635.
- (23) 김대웅, 박성근, 홍승열, 유성연, 2003, “고차압에서 운전되는 모터구동게이트밸브의 부하율 향상 방안”, 2003 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 562~567.
- (24) 정래혁, 박성근, 이도환, 송석윤, 강신철, 2003, “모터구동 글로브밸브의 Side Flow에 의한 디스크-몸체 마찰 부하 평가”, 2003 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 549~554.
- (25) 최석호, 백민수, 문길호, 2003, “대용량 버터플라이 밸브 후단 유동 특성”, 2003 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 573~576.
- (26) 서중수, 신유식, 지명국, 전용홍, 정효민, 정환식, 2003, “고 응답 유량제어 서보밸브의 주파수 응답 특성에 관한 연구”, 설비공학논문집 제 15권, 제6호, pp. 480~488.
- (27) 송석윤, 김양석, 박성근, 홍승열, 2003, “스윙형 역지 밸브의 열림 특성에 관한 실험적 연구”, 2003 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 555~561.
- (28) 김양석, 이도환, 김대웅, 박성근, 홍승열, 2003, “스윙형 역지밸브 성능 평가 방법”, 대한기계학회 2003년도 춘계학술대회 논문집, pp. 881~886.
- (29) 김태안, 안병재, 김윤재, “피스톤 형상변화에 따른 압력평행밸브의 유동특성연구” 대한기계학회 2003년도 춘계학술대회 논문집, pp. 2168~2173.
- (30) 윤정, 박종호, 김태민, 김경천, 2003, “왕복동형 압축기의 경사진 원관형 밸브리드에 대한 압력분포 측정 및 유동해석”, 대한기계학회 2003년도 춘계학술대회 논문집, pp. 1942~1947.
- (31) 김상주, 이상철, 주광명, 이한중, 장인배, 2003, “슬립라인형 가스렌지용 쿡탑형 가스 밸브의 개발과 작동 성능 검증”, 2003 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 568~572.
- (32) 김범석, 김정환, 이종열, 김진구, 이영호, 2003, “PIV에 의한 상수도 배관용 틸팅디스크 체크 밸브의 손실저감에 관한 연구”, 2003 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 577~582.
- (33) 강승규, 이원식, 윤준용, 민경화, 2003, “밸브 후단 피팅에 따른 밸브 용량계수의 영향 평가”, 유체기계저널, 제6권, 제4호, pp. 29~37.
- (34) C.N. Choi, C.N. Kim, Y.Y. Kwon, J.W. Lee, 2003, “Pulsatile blood flows through a bileaflet mechanical heart valve with different approach methods of numerical analysis: pulsatile flows with fixed leaflets and interacted with moving leaflets”, KSME International Journal, Vol. 17, No. 7, pp. 1073~1082.
- (35) H.S. Lee, S.W. Hwang, K. Yamamoto, 2003, “Exam-

ination of cavitation-induced surface erosion pitting of a mechanical heart valve using a solenoid-actuated apparatus”, KSME International Journal,

Vol. 17, No. 9, pp. 1339~1348.

(36) 박경암, 2003, “유량계 및 밸브 분야 연구동향”, 유체기계저널, 제6권, 제1호, pp. 97~101.