

## 유량계 및 밸브 분야 연구동향

허재영\*

### 1. 서론

주로 유럽에서 주도되어 전세계로 전파되고 있는 교정설비의 하모나이제이션 운동과 단위 체계에 대한 통일 및 측정 불확도에 대한 체계화의 움직임 등이 몇 년 전부터 우리나라에도 전달되어 유량계 분야에서는 최근 몇 년간 지속적으로 교정설비의 비교실험이나 불확도 평가에 관련된 연구가 진행되어 오고 있다. 이러한 연구는 주로 국가표준설비를 운영하고 있는 한국표준과학연구원이나 교정설비를 운영하고 있는 기관이나 업체에서 수행하고 있으며 특히 한국표준과학연구원의 각별한 노력으로 최소한 아시아에서는 이 분야에서 중심적인 역할을 담당하고 있다. 한편 유량계 제작업 쪽에서는 몇몇 업체가 여러 가지 어려운 여건을 감수하면서 각종 유량계의 국산화에 주력하고 있으며 개발된 유량계의 성능 실험을 위한 연구가 진행되고 있다. 아직 세계적인 수준에 미치지 못하고 있는데 이것은 시장성 때문에 집중적인 연구가 이루어지지 않기 때문이고 따라서 이 분야는 아직도 시간이 필요한 분야인 것으로 판단된다. 사용자 입장에서 유량계의 특성 분석을 수행하는 작업은 주로 한국가스공사에서 이루어지고 있으며 유량계의 사용조건이나 설치조건에 의한 오차 분석 등을 주로 실험하고 있다.

다른 한편으로, 최근 첨단기술, 산업 분야의 대명사격인 BT, IT, NT 분야의 발전은 유체기계분야에도 많은 영향을 미치고 있다. 특히 밸브의 경우, 단순한 유비쿼터스 개념의 도입에 따른 IT 기술과 결합된 텔레메틱스 제품의 개발에서부터, 인공 심장, 신장, 허파 등 생체 유체기계용의 BT 기술 밸브, MEMS로 대별되는 반도체 기술과 밸브, 펌프 등의 유체기계와 결합된 NT 기술 제품에 이르기까지 다양한 형태의 새로운 기술들이 연구, 개발되고 있다. 아울러 기존 자

동차, 조선 산업 및 일반 기계부품분야에서의 유체기계 기술은 최근, 신소재 적용을 통해 성능과 내구성을 향상시킨 신 개념 밸브의 개발이나 밸브 성능향상과 소음, 진동 저감을 위한 전산해석분야의 접근과 연구가 두드러지고 있다. 자동차 배기장치나 선박엔진 부품, 항공기용 밸브가 가지는 초고온에서의 내구성과 성능을 유지하기 위한 비철금속용 밸브의 개발은 제품 경쟁력 강화에 절실한 상황이다. 전산해석 분야 역시 고온, 고압용 밸브 등 실험적 접근이 매우 어려운 경우는 물론 일반적인 밸브의 개발에 있어서도 다양한 모사의 제공과 개발기간의 단축, 비용의 절감 등의 장점에 따라 유량계, 밸브 분야는 물론 유체기계분야 전반에서 많은 연구에 전산해석이 도입되어 사용되고 있다.

여기서는 2005년도에 국내의 학회에서 발표되어 소개된 연구의 주요 결과들을 정리하였고 분야별로 그 흐름을 파악해 연구동향을 알아보고자 하였다.

### 2. 유량계

기름 유량에 대한 국가표준장치인 경질유 교정장치에 대해 불확도 평가의 장기안정성을 검증하기 위해 유동량 결정의 입력량을 재평가하고 다른 교정기관과 비교 시험을 실시하여 측정결과를 비교하는 연구가 이루어졌다<sup>(1)</sup>. 이 연구에 따르면 교정장치의 불확도에 결정적인 영향을 미치는 것은 작동유체의 밀도에 대한 불확도 변화로 전체의 88%를 차지하여 지배적인 인자임을 확인되었다. 국가교정기관과의 비교 시험에서 같은 측정값을 얻었으며 불확도의 평가 과정이나 결과에 대한 신뢰성이 확인되었다. 비만관 유량계 교정시스템의 시스템 불확도를 상대확장 불확도 0.38%로 구성하였으며, 비만관 유량계 교정 기준을 제정하는 연구가 진행되었다<sup>(2)</sup>. 본 연구 결과로 하수관거에 사용되는 비만관 유량계를 교정하는 기준 및 시스템을 마련하게 되었다.

\* 한국가스공사  
E-mail : jyher@kogas.or.kr

전류형식 전자기유량계의 정확도를 높이기 위해 이 유량계의 출력신호를 수치모사 하는 연구가 이루어졌다<sup>(3)</sup>. 이 연구에서는 수치모사 결과를 이용하여 출력신호를 예측하고 보정하는 작업을 진행하였다. 액체용 삽입식 초음파 유량계의 시제품이 제작되고 물속에서 송수신기의 거리 측정정밀도를 측정하여 상품화에 대한 가능성 여부를 진단하는 작업이 진행되었다<sup>(4)</sup>. 저유량에서는 비교적 안정적인 수신 신호를 보였으며 유속이 증가하면 관내의 진동으로 잔류파 수신 노이즈가 생겨 이에 대한 대책이 필요하다는 결론을 얻었다. 시제품이 사용된 초음파 송수신기는 자체 제작된 것이다. 초음파 유량계의 유속적분방법에 대한 불확도를 정확하게 평가하기 위한 연구가 진행되었다<sup>(5)</sup>. 불확도 평가가 이루어진 유속적분방법은 회선위치의 함수를 갖는 가중계수법을 이용한 것이며 이론유동모델은 대칭 및 비대칭 위주분포의 표현이 모두 가능한 살라미 (Salami) 유동모델이다. 계산된 불확도를 다른 유속적분방법들의 불확도들과 비교하였다. 세그멘탈 웨지 (Segmental wedge)를 이용한 차압식 유량계에 대한 유동특성을 분석하는 실험 연구가 진행되었다<sup>(6)</sup>. 과거의 실험연구에서는 웨지가 실용적 범위에서 다소 벗어난 작은 크기를 가졌었던 것에 착안하여 다소 큰 값을 가지는 웨지 크기를 사용하였으며 차압탭의 위치를 고정시키고 웨지크기를 변화시켜 유출계수 거동을 실험하였다. 역공학 및 복합가공기술을 신제품 개발 시 효과적으로 적용할 수 있는 방법과 성능평가 방법을 제시한 연구가 진행되었다<sup>(7)</sup>. 역공학 기술을 활용하여 스크류 유량계를 개발하였고 형상복원 정밀도를 50  $\mu\text{m}$  이내로 하였으며 복합가공기에 의한 기어 치형 가공 방법을 제시하였고 이를 위하여 총령공구의 설계 및 제작을 수행하였다. 공압 분사에 의한 회전성능을 실험하여 제품의 기능상 타당성을 확인하였다.

한국 가스공사에서는 다회선 초음파 유량계를 현장에 설치하여 사용할 수 있는지 확인하기 위해 한국가스공사 공급관리소의 유체 노이즈 특성을 분석하였다<sup>(8)</sup>. 배관내의 유체노이즈를 배관 외벽에 센서를 밀착시켜 측정하는 것에 대한 유효성을 확인하였고 각 위치별로 유체 노이즈를 측정하였다. 유체 노이즈의 진원지인 압력조절밸브에서 발생하는 노이즈에는 초음파 유량계에서 사용하는 정도의 고주파 노이즈가 포함되어 있으나 이러한 고주파 노이즈는 유체가 진행하면서 급격하게 소멸되고 유량계가 설치되어 있는 곳에서는

완전히 소멸되어 유량 측정에 전혀 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다. 현장에서 사용되는 오리피스 유량계와 터빈 유량계의 유량측정값이 헛탕하는 현상에 대해 그 원인과 원인별 크기를 실측하여 분석하는 연구가 진행되었다<sup>(9)</sup>. 분석결과 유량의 헛탕의 주원인은 직관부 길이나 헤저 직경 및 구조와 같은 설치 조건이며 신호전송선의 길이나 피복 결함 등과는 무관하였다. 이러한 실험 결과를 뒷받침하기 위한 시뮬레이션이 같이 진행되었다<sup>(10)</sup>.

### 3. 밸브

배관망 해석 시에 개도가 수시로 움직이는 정압기 (압력조절밸브)를 어떻게 처리해 주어야 하는가는 매우 중요하며 일반적으로 정압기에서 발생하는 압력차이가 매우 크고 순간적인 단열팽창에 의한 온도 저하가 심하기 때문에 유체의 종류와 상태에 따라 국부적인 상변화의 가능성도 있음을 감안하여 정압기 내부에서의 유동장 해석을 시도한 연구가 진행되었다<sup>(11)</sup>,<sup>(12)</sup>. 고차압 상태에서 운전되는 모터구동게이트밸브의 부하율을 개선하는 실험 연구가 진행되었다<sup>(13)</sup>. 부하율을 개선하기 위해 스템팩터를 개선시키는 것이 효과적이며 정적시험 스템팩터가 동적시험 스템팩터에 근접할수록 부하율 개선 효과가 크다는 것을 확인하였다. 글로브 밸브에 대하여 상용 전산열유체 해석 코드를 이용한 유동해석을 수행하고 이 해석결과의 타당성을 알아보기 위해 실험결과와 비교 검토한 연구가 진행되었다<sup>(14)</sup>. 실험으로 측정된 밸브 전·후단에서의 압력차와 해석에서 얻어진 결과는 약간의 차이를 갖고 있기는 하지만 비교적 잘 일치하고 있는 것을 확인하였다. 글로브 밸브 내부에서의 유동장에 대한 압력분포, 속도분포, 유동계적 등과 같은 해석결과들은 밸브 내부에서의 유동특성을 이해하는데 기여를 손실계수나 유량계수등과 같은 성능평가를 위한 인자들을 구할 때 실험이 유일한 방법이었지만, 전산해석을 통해서 이를 확인할 수 있음을 보여주었다.

원자력발전소용 안전방출밸브에 대한 기초설계개념과 설계해석기법, 제조기술 및 성능시험설비구축 방안을 제시하기 위한 연구가 진행되었다<sup>(15)</sup>. 원자력발전소용 안전방출밸브에 관한 적용코드와 기술기준서 그리고 기타 설계표준에 부합하는 설계, 검사, 시험기술 및 각종설비를 구축하여 원자력발전소용 안전방출밸브를 국산화하였고 전산유체해석을 이용해 유동이

디스크에 미치는 힘을 계산하고 설계에 반영하여 밸브의 원활한 작동성을 보장하는 설계기법을 제시하였다. 원자력발전소에 설치되어 운전되고 있는 역지밸브에 대한 국내외 설치 현황, 형태, 고장 발생 건수, 고장 유형, 고장발견방법 및 밸브 유형 등에 대한 자료를 조사한 작업이 진행되었다<sup>(16),(17)</sup>. 조사된 자료를 분석한 결과 스윙형과 리프팅형이 가장 많이 설치되어 운전되고 있으며, 고장 발생 빈도도 가장 높은 것임을 확인하였다. 미국에서 운전되고 있는 역지밸브의 고장 모드 중 내부 누설, 닫힘 실패, 외부 누설이 고장 데이터의 85%를 차지하는 것으로 나타났다. 스윙형의 경우 고장이 발생하는 영역은 주로 힌지 핀에서의 마모 손상, 디스크 스택트와 스택과의 충격으로 인한 손상과 그로인한 불완전한 시팅 때문에 내부 누설이 발생하는 것으로 조사되었다. 800 MW 화력 발전소용 증기터빈 HP/LP Bypass Control Valve 개발을 위해 시험 제작한 시작품의 cage 해석을 수행하는 연구가 진행되었다<sup>(18)</sup>. 원주방향으로 72도의 주기로 배열되어 있는 총 25개의 cage들에 대해 주기조건을 사용하여 유동해석을 수행하였다. 유동해석 결과 위치에 따라 입구 유량과 입구 압력은 차이를 보이고 있으나, 그 변화량이 크지 않음을 확인하였다. cage별 압력 강하율은 위치에 관계없이 일정한 값을 갖고 있고, cage 내 국부적 압력 분포의 정성적 형태도 cage의 위치에 상관없이 유사한 형태를 보여주고 있음도 확인하였다.

0.1 m 벨로우즈 실 게이트 및 글로브 밸브에 대한 유동 특성을 수치적으로 해석한 연구가 진행되었다<sup>(19)</sup>. 일방향 FSI 기법을 사용하여 벨로우즈 실 밸브에 사용되는 벨로우즈에 대해 작동 유체의 압력과 온도에 의해 발생하는 열응력에 대해 축 방향변위를 주어 수치적으로 연구하여 유량 계수, 저항 계수를 구하고 밸브 성능을 고찰하였으며 벨로우즈에 걸리는 열응력 등을 확인하였다. LNG용 안전밸브의 설계시 고려해야 하는 기체역학적 힘에 의해 발생하는 소음진동 현상을 제어하기 위하여 안전밸브의 노즐출구면과 밸브판 사이에서 발생하는 압축성 유동현상 관한 상세한 조사를 한 연구가 진행되었다<sup>(20)</sup>. 안전밸브의 노즐 외부와 제트가 밸브판에 충돌하여 발생하는 유동 사이에는 강한 와류가 발생하여 제트의 팽창을 억제한다는 사실을 확인하였고 유동이 초크하는 조건의 압력비에서 밸브판의 위치가 노즐출구에 근접하여 있는 경우, 노즐출구에서 제트의 팽창은 억제되어, 밸브판 상류에

충격과가 발생하지 않는다는 사실도 확인하였다. 압력 평형식 온도조절 밸브 내부 유동 특성을 수치해석을 통해 고찰하고 특히 실린더 및 피스톤의 두 가지 형상에 대한 온도조절 기능 및 성능을 비교 평가한 연구가 진행되었다<sup>(21)</sup>. 실제의 경우 TCV는 유체 유입구 압력 변화에 의해 냉·온수구의 압력차가 발생하고 이에 대해 밸브 내부의 피스톤이 압력변화에 반응하며 출구측의 유량을 조절하는 기능을 가지고 있는데 피스톤의 변화를 직접 해석하는 대신 역으로 동일한 유량이 유입되는 경우 각 개도에 따른 밸브 내부 압력과 속도분포를 해석하여 온도 조절 기능 및 밸브 성능을 고찰하고자 하였다.

취수량에 따라 수시로 변동하는 압력에 일일이 대응 작동하는 압력스위치와는 달리, 압력과는 관계없이, 유량의 유무에 의해서서만 ON/OFF 전환하여 모든 유량 구간에 걸친 완전 정압 급수를 구현하며, 펌프의 체절압 특성에 제약을 받지 않아 모든 펌프의 자동화를 구현한 유량스위치가 개발되었다<sup>(22)</sup>. 유량스위치 제어 방식의 자동펌프 및 부스터시스템 펌프도 시리즈로 개발되었다.

#### 4. 결론

기름 유량에 대한 국가표준장치인 경질유 교정설비와 비만관 유량계 교정설비에 대한 연구가 진행되어 유량계 분야의 교정 기술이 진일보하였다. 전류형식 전자기 유량계와 초음파 유량계, 세그멘탈 웨지를 이용한 차압식 유량계, 스크류 유량계 등에 대해 정확도를 높이기 위한 다각도의 노력이 2005년에도 진행되어 국산 유량계의 성능 향상에 기여하였다. 다회선 초음파 유량계와 오리피스 유량계, 터빈 유량계 등에 대한 현장의 유동조건 및 설치조건 등에 대한 연구가 진행되어 설계 및 운영기술의 축적이 이루어졌다.

한편 밸브 분야에서는 정압기의 작동 특성에 대한 시뮬레이션 연구, 모터구동 게이트밸브의 부하율 개선 연구, 글로브 밸브 내 유동장 해석을 위한 시뮬레이션 연구 등이 진행되어 밸브류의 작동 특성을 이해할 수 있는 기술적 토대의 발전이 있었고 원자력발전소용 안전방출밸브 제조기술, 원자력발전소용 역지밸브에 대한 국내외 운영 기술, 화력발전소용 증기터빈 HP/LP Bypass Control Valve 개발기술 등 발전소용 밸브류 관련 기술의 연구에도 진전이 있었다.

참고문헌

- (1) 임기원, 최종오, 2005, “장기 안정성을 고려한 경질유 유량표준장치 불확도 평가”, 대한기계학회논문집 B권 제29권 10호, PP. 1130~1138.
- (2) 유성호, 이동락, 이민수, 2005, “비만관 유량계 교정 시스템 구축에 관한 연구”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, PP. 141~146.
- (3) 강덕홍, 안예찬, 오병도, 김종록, 김무환, 2005, “슬러그 2 상유동에서 전류형식 전자기유량계 수치적 신호예측 및 보정”, 대한기계학회논문집 B권 제29권 6호, PP. 671~686.
- (4) 이응석, 권오훈, 노명환, 이형석, 2005, “습식 방식의 초음파 유량계 시스템 개발에 관한 연구”, 대한기계학회논문집 A권 제29권 12호, PP. 1638~1644.
- (5) 이호준, 이권희, 노석홍, 황상윤, 노영아, 2005, “가중계수법을 이용한 5회선 초음파 유량계의 유속적분방법의 불확도 평가”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, PP. 287~294.
- (6) 윤준용, 성낙원, 2005, “Segmental Wedge 를 이용한 차압식 유량측정 방법”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, PP. 302~307.
- (7) 김형일, 황중대, 정운교, 2005, “역공학 기술을 이용한 스크류 유량계 개발 및 성능평가에 관한 연구”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, PP. 601~606.
- (8) 이승준, 2005, “상류에서 발생한 유체 내부의 소음이 초음파 유량계 성능에 미치는 영향, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, PP. 147~149
- (9) 신창훈, 안승희, 정중태, 허재영, 김우식, 2005, “오리피스 유량계의 헨팅 원인과 영향인자에 관한 해석적 연구”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, PP. 150~157.
- (10) 안승희, 허재영, 정중태, 신창훈, 2005, “천연 가스 계량설비에서 발생하는 유량 헨팅 현상 원인 분석”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, PP. 158~165.
- (11) 신창훈, 허중만, 이철구, 허재영, 임지현, 주원구, 2005, “정압기의 임계유동 특성과 배관망 해석 모델링에 관한 연구 (I) - 압력비 영향”, 대한기계학회논문집 B권 제29권 12호, PP. 1291~1298, 12월 발행.
- (12) 신창훈, 허중만, 이철구, 허재영, 임지현, 주원구, 2005, “정압기의 임계유동 특성과 배관망 해석 모델링에 관한 연구 (II) - 개도비 영향”, 대한기계학회논문집 B권 제29권 12호, PP. 1299~1306, 12월 발행.
- (13) 김대웅, 유성연, 2005, “고차압에서 운전되는 모터구동 게이트밸브의 부하율 향상 방안, 유체기계저널 제8권 제1호, PP. 16~22.
- (14) 정민호, 양상민, 이호영, 2005, “공기구동형 글로브 밸브의 3차원 유동해석”, 유체기계저널 제8권 제2호, PP. 7~13.
- (15) 김철성, 노희선, 김강태, 김지현, 김종수, 2005, “안전방출밸브 개발과 용량인증 사례”, 유체기계저널 제8권 제3호, PP. 16~25.
- (16) 송석윤, 유성연, 2005, “스윙형 역지밸브의 고장 원인 분석과 열림 특성에 관한 실험적 연구”, 유체기계저널 제8권 제6호, PP. 15~25.
- (17) 송석윤, 유성연, 2005, “역지밸브의 고장 원인 분석”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, PP. 607~612.
- (18) 최지용, 김광용, 2005, “증기터빈 Bypass Valve의 유동장 해석”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, PP. 437~440.
- (19) 김광수, 이종철, 김윤제, 2005, “고온·고압용 벨로우즈 실 밸브의 유동 특성 및 열응력 해석”, 유체기계저널 제8권 제6호, PP. 40~46.
- (20) 이준희, 김희동, 박경암, 2005, “LNG 선박용 안전밸브를 지나는 기체유동에 관한 연구”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, PP. 441~447.
- (21) 황정훈, 김태안, 김윤제, 2005, “압력 평형식 온도조절 밸브 내부 유동 특성에 대한 수치적 연구”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, PP. 448~453.
- (22) 고용준, 2005, “자동펌프 제어용 유량스위치 개발”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, PP. 454~456.