

## 유량계 및 밸브 분야 연구동향

허재영\*

### 1. 서 론

2000년대에 들어서면서 산업이 전반적으로 양적 팽창을 재개하였고 과거 그 어느 때보다 규모의 측면에서 거대해지고 있다. 천연가스나 석유, 수처리 분야도 예외는 아니며 유가 급등에 의한 에너지 중요성의 급격한 대두, LNG 선박 수주의 괄목상대할만한 증가, 날씨 급변에 의한 수자원 중요성 증가, 환경 문제의 심각성에 따른 수처리 중요성 증가 등이 자연스럽게 관련 분야의 수량 및 규모 팽창의 원인이 되고 있다.

이에 따라 유량계나 밸브와 같은 배관 설비의 수요가 계속해서 늘어나고 있고 또 그 규모도 커지고 있다. 수량과 규모의 급증에 따라 그 기능에 대한 관심도 비교적 높아지고 있으나 국내 개발에 대한 관심이 같이 늘어나고 있지는 않는 것으로 보인다.

이러한 이유로 국내에서의 관련 연구가 양적인 팽창을 보이지 않는데 이에 대한 재고가 필요한 시점이다. 2006년에 진행되었던 국내 연구 동향을 되돌아보고 그 추이를 살펴보고자 한다.

### 2. 유량계

동심의 면적 축소를 이루지 않는 segmental wedge를 사용하여 차압을 발생시키고 차압 탭의 위치를 특정 위치에 고정하여 측정되는 차압으로 유량을 산정할 때 요구되는 유출계수의 거동을 고찰하는 실험 연구가 진행되었다<sup>(1)</sup>. 이전의 연구에서는 관심대상이었던 조임비의 범위가 충분치 않았으나 이 연구에서는 충분한 실용적 범위로 실험을 확장하였다. 국내에서 천연가스의 유량 측정은 기체의 고압대유량이라는 고유 특성으로 인해 유량 분야의 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 국제

천연가스 시장의 변화로 국내에 도입되는 천연가스의 조성과 열량이 급격히 변할 조짐이 있어 이에 대한 기술적 검토가 진행되었다<sup>(2)</sup>. 조성의 변화나 가스비중, 발열량 등의 변화는 유량 측정 설비의 구성에 직접적인 영향을 미치며 만약 열량조절이 되지 않거나 혹은 하한치가 너무 낮아 조성 변화의 폭이 클 때에는 가스밀도를 측정하기 위한 기준밀도계나 실밀도계 혹은 가스분석기가 필요함이 강조되었다. 초음파 유량계는 유체에 실린 초음파가 전달되는 시간이 유체속도에 따라 달라지는 현상을 이용한 유량계로 10<sup>-9</sup>s 단위의 시간까지 정밀하게 측정하는 기술의 발달로 급격히 부상하게 된 유량계이다. 특히 여러 개의 초음파가 각기 다른 방향으로 발사되고 그 신호들이 수신되어 처리되면 유량측정 정밀도가 급격히 개선된다는 점이 아우러지면서 모든 산업 분야에 적용이 빠르게 진행되고 있다. 국내에서도 이 다회선 초음파유량계의 제작과 보급에 나서고 있는 업체가 있어 귀추가 주목되고 있으며 이러한 동향에 대해 보고된 바 있다<sup>(3)</sup>.

고압 대유량의 천연가스 유량측정이 이루어지는 현장에는 유량측정에 장애가 되는 여러 가지 약조건들이 있을 수 있다. 배관 내부유체의 맥동이나 소음, 이물질, 배관 자체의 진동, 배관 외부의 충격이나 소음, 계전 설비 주변의 유도 전류 등이 유량 측정에 영향을 미치고 이러한 이유로 유량 측정 결과에는 크고 작은 헌팅 현상이 생긴다. 이러한 헌팅 현상에 영향을 미치는 원인들에 대한 보고가 이루어진 바 있다<sup>(4)</sup>. 확인 결과 가장 중요한 원인은 유량 측정설비 설치 조건 즉, 직관부 길이나 헤더 구조 혹은 헤더의 단면적 크기 등이었으며 그 밖에 원인은 영향이 크지 않은 것으로 확인되었다.

유량계 및 밸브 분야가 적용되는 산업의 큰 부분을 차지하는 것이 수처리 산업이다. 오폐수 처리, 상하수도, 중수도, 재사용, 수자원 및 수질관리 등 다양한 물 관련 분야가 모두 통합되어 단일한 체계를 갖는 물산업으로

\* 한국가스공사  
E-mail: jyher@kogas.or.kr

발전할 것이 예측되는 가운데 효율적인 수처리를 통한 수질 환경 개선뿐만 아니라 안정적인 수자원의 확보 및 관리, 신뢰감을 주는 음용수의 공급, 이용 효율의 증대 등 당면한 과제는 우리나라 뿐 아니라 전 세계적으로 관심을 기울이는 중요한 문제로 부상하고 있다. 수처리 관련 환경사업의 성장과 더불어 환경개선이 세계적인 문제로 대두되는 가운데 총체적인 폐수 및 하수의 오염을 줄이는데 필요한 농도계의 개발은 수질 정화에 있어 매우 핵심적인 부분이라 할 수 있다. 이러한 농도계의 연구개발 동향이 조사되어 보고된 바 있다<sup>(5)</sup>.

정부에서는 체계적으로 하수를 관리하기 위한 하수 관리 정비사업에 심혈을 기울이고 있다. 이 사업이 효율적으로 원활하게 진행이 되려면 비만관 유량계 설치와 교정 설비 구축 및 운영이 필수적이다. 국내 뿐 아니라 국외에서도 통용될 수 있는 비만관 유량계 교정설비와 표준 교정 절차서를 개발하고 객관적이며 신뢰성 있는 교정기준을 제시하기 위한 연구가 진행되었다<sup>(6)</sup>. 이 설비에서는 유동 발생을 위해 저수조, 수중펌프, 밸런스 탱크가 이용되었고 기준유량계로는 전자기 유량계가 사용되었는데 3개의 전자기 유량계를 직렬로 연결하여 그 중 1개의 유량측정 결과를 표준값으로 활용하고 나머지 2개의 값은 확인용으로 이용된다. 100 mm 기준유량계 3개와 60 mm 기준유량계 3개가 갖추어져 유량의 크기에 따라 선택되게 하였다. 시험관로는 적절한 길이의 직관부를 확보하여 충분히 발달한 유속분포가 되도록 한 이 설비의 상대확장불확도는 0.4%로 산정되었다.

국내에서 가장 큰 액체용 유량계 교정시스템은 한국 표준과학연구원이 가지고 있는 400 mm 직경용이었다. 우리나라의 산업규모와 수처리 산업 현황을 감안할 때 충분한 규모의 교정의 수요충족을 위해 더 큰 규모의 액체용 유량계 교정시스템이 절실하였다. 이에 따라 수자원공사에서 800 mm 직경용 중량 측정식 액체용 유량계 시스템을 구축하고 불확도 산정까지 끝마친 후 그 결과를 보고하였다<sup>(7)</sup>. 이 설비는 최대 2,700 m<sup>3</sup>/h, 최소 3 m<sup>3</sup>/h의 유량범위에서 신뢰수준 95%로 확장불확도 0.3%로 교정이 가능하다.

### 3. 벨브

냉동 장치에 있어서 온도식 팽창밸브는 감온통이 센서역할을 하지만 전자식 팽창밸브는 증발기 입출구에 각각의 온도 센서를 적용하거나 증발기 입출구에 온도 센서와 압력센서를 적용하여 과열도를 산출하며 산출된

과열도와 설정된 과열도를 비교하여 전자식 팽창밸브의 개도를 제어한다. 온도식 팽창밸브와 전자식 팽창밸브의 기술적 및 경제적 측면을 비교하여 전자식 팽창밸브의 사용가능성을 진단하는 분석연구가 보고되었다<sup>(8)</sup>. 전자 팽창밸브의 성능특성을 평가할 수 있는 실험 장치를 제작하여 다양한 운전 조건에서 실험을 진행하고 실험 결과를 이용하여 냉매의 유량을 예측할 수 있는 경험적 모델을 개발한 연구가 진행되었다<sup>(9)</sup>.

텐덤형 냉방시스템의 효율적인 제어를 위해 새로운 제어 알고리즘을 개발하고 이 알고리즘의 성능 평가를 위한 실험 연구가 진행되었다<sup>(10),(11)</sup>. 이 연구에서는 압축기 제어를 위해 실내온도와 설정온도의 차이인 실내 온도 편차와 이 편차의 변화율을 입력 변수로 하고 압축기의 단계 증감을 출력으로 하는 퍼지로직을 사용하는 알고리즘을 개발하여 이용하였다.

발전용 보일러가 잦은 부하 변동으로 운전될 때 보일러와 터빈 사이의 압력 조건을 맞추기 위해 보일러에서 증기를 축출한다. 이 때 발생하는 증기를 활용하기 위해 증기 흐름을 유도하는 장치를 증기터빈 바이패스밸브라고 한다. 이 장치의 중요한 구성품 중 하나인 케이지는 감압의 주 역할을 하는데 내부 유동이 복잡하여 실험이 어렵지만 소음의 주원인이기 때문에 내부 유동특성 분석 결과는 매우 중요하다. 이 유동장의 해석을 위해 실험과 수치해석을 수행한 연구가 진행되었다<sup>(12)</sup>. 계산 결과가 실험 결과보다 약 11% 정도 낮은 압력 강하를 보였으나 무차원화된 압력 분포의 비교를 통해 각 단에서의 압력 강하에 대한 정성적 경향은 정확하게 예측할 수 있었다.

유체가 흐르는 각종 설비에 설치되어 흐름이 정지되거나 하류의 돌발 상황으로 인해 역류의 가능성이 있을 때 이 역류를 방지하고 펌프 등 각종 설비의 비정상 작동을 방지하는 역할을 하는 밸브가 역지밸브이다. 이 역지밸브가 고장이 나서 제 기능을 발휘하지 못하면 심각한 상황이 발생할 수 있는데 특히 원자력 발전소의 경우 심각한 운전과도 상태를 유발하기도 하고 가동을 감소를 포함한 경제적 손실을 가져올 수도 있다. 스윙형파리프트형 역지밸브의 열림 특성을 살펴보고 고장특성을 분석하기 위해 원자력 발전소에 설치되어 운전되고 있는 역지밸브에 대한 국내외 설치 현황, 형태, 고장 발생 건수, 고장 모드, 고장 발견 방법 및 밸브 유형 등에 대한 자료를 조사한 연구가 진행된 바 있다<sup>(13)</sup>.

압축기에서 흡입밸브와 토출밸브는 일정 압력 조건에서 유체의 이동을 가능하게 하는데 압축기가 일정한

압력을 지속적으로 발생시키는데 있어 핵심적인 역할을 하는 부분이다. CO<sub>2</sub>용 압축기의 흡입밸브와 토출밸브를 설계하기 위해 수치해석 연구가 진행되었는데<sup>(14)</sup> 이 연구에서 해석의 방법은 우선 성능해석을 수행하여 요구되는 체적효율에 대한 밸브의 설계 목표값을 도출한 후, 유한요소법을 이용한 반복적 구조해석을 통해 설계 목표값에 수렴하는 형상을 도출하는 시도가 이루어졌다.

댐이나 저수지가 대형화 되어가고 있고 다목적 댐이 등장하였으며 만수조절, 발전, 하천운영 등 기능상 이유로 대규모 배수량 조절의 중요성이 날로 증가하고 있다. 댐의 높이도 점점 높아짐에 따라 대유량, 고수압, 고속의 수류에 적합한 여러 가지 방류밸브가 연구되고 개발되고 있다. 이러한 노력의 일환으로 비상방류밸브에서 캐비테이션에 의한 진동과 그에 따르는 사고에 대해 조사한 연구가 진행되어 발표되었다<sup>(15)</sup>. 이 연구에서는 수력댐 비상방류밸브의 캐비테이션이 고장의 중요한 원인이었음이 밝혀졌고 진동으로 인한 밸브 혹은 배관의 손상은 치명적인 결과를 초래할 수 있으므로 밸브 선정시 보다 엄격한 적용기준이 필요하고 관련된 실험과 수치해석 연구가 추가적으로 필요함이 강조되었다.

펌프 및 관련 배관설비에서 정전이나 사고에 의해 전원이 급격하게 차단하는 경우에 토출밸브가 열린 상태에서 유속이 급격하게 변화하게 되어 압력이 급상승 및 급하강을 반복하여 펌프나 배관을 손상시킬 수 있다. 이러한 수충격의 영향을 없애기 위해 여러 가지 방법이 쓰일 수 있는데 펌프로의 역류를 어느 정도 허용하면서 유속을 선형적으로 감소시켜 수충격을 완화시키는 밸브 제어방법도 그 중 하나이다. 이 방법의 가능성과 효과에 대해 실험적으로 연구가 진행되었다<sup>(16)</sup>. 실험된 설비에서는 선형제어가 일정한 압력에서 밸브가 완전 폐쇄되고 압력제어는 설정값의 5% 범위 내에서 원활히 작동되는 것을 확인하였다. LNG 선박용 고차압 제어밸브와 같은 큰 압력강하가 생기는 밸브에서는 항상 캐비테이션의 발생가능성이 문제가 된다. 이러한 캐비테이션에서 생기는 기포가 붕괴할 때 순간적인 충격이 생길 수 있어 이에 대한 분석은 밸브 설계에 있어 매우 중요하다. 캐비테이션 발생 방지용 트림을 사용하는 고차압 제어밸브에 대해 유동 특성을 분석하기 위해 상용 프로그램을 이용한 연구가 진행되었다<sup>(17)</sup>. 해석 결과 전체적으로 밸브 챔버 및 입출구 관내 유동이 잘 묘사되고 밸브 내부의 유동 현상을 쉽게 이해할 수 있음이 확인되었다. 트림에 가느다란 원통형 구멍을 다수 배치한 복잡한 유동 형상으로 인해 유동 저항은 증가하였으나 캐비테이

션 발생가능성은 매우 낮은 것이 확인되었다.

#### 4. 결론

2006년에 국내에서 진행된 유량계 및 밸브 분야의 연구 동향을 조사하였다. 유량계 분야에서의 천연가스와 수처리 분야에 사용되는 유량계들에 대한 운영 조건 연구나 교정설비 불확도 산정과 같은 연구가 주류를 이루었고 그 밖에 차압식 유량계 유출계수 거동이나 수치용 농도계 개발과 같은 연구가 진행되었다. 밸브분야에서는 냉동장치의 전자식 팽창밸브에 대한 성능 특성 연구와 댐에서 사용되는 비상방류밸브, 펌프에서 생길 수 있는 수충격 완화용 제어밸브 등에 대한 연구 등이 진행되었다.

#### 참고문헌

- (1) 윤준용, 성낙원, 2006, "Segmental Wedge를 이용한 차압식 유량측정 방법," 유체기계저널 제9권 제3호, pp. 22~28.
- (2) 허재영, 2006, "천연가스의 열량조절," 유체기계저널 제9권 제4호, pp. 49~54.
- (3) 황상운, 2006, "초음파 유량계 기술개발 동향," 유체기계저널 제9권 제3호, pp. 51~57.
- (4) 안승희, 허재영, 2006, "천연가스 유량계의 현장운영 시에 발생하는 문제점 중 유량헌팅에 관한 소개," 유체기계저널 제9권 제3호, pp. 73~79.
- (5) 이도형, 양승철, 전재연, 2006, "슬러지 농도계의 연구개발 동향," 유체기계저널 제9권 제3호, pp. 58~63.
- (6) 유성호, 이동락, 이민수, 2006, "비관관 유량계 교정 시스템 구축에 관한 연구," 유체기계저널 제9권 제4호, pp. 7~12.
- (7) 김한일, 노선민, 2006, "대구경 유량계 교정시스템 구축에 관한 연구," 유체기계 연구개발 발표회 논문집.
- (8) 한도영, 정성욱, 2006, "온도식팽창밸브의 전자식 팽창밸브로의 대체 가능성에 관한 연구," 대한설비공학회 2006하계학술발표대회 논문집, pp. 695~700.
- (9) 박차식, 이선일, 김용찬, 이영수, 2006, "R22를 적용한 전자팽창밸브의 냉매유량 특성 및 유량예측 모델링," 설비공학논문집 제18권 제11호, pp. 881~887.

- (10) 한도영, 김재현, 2006, “텐덤형 냉방시스템의 안전운전을 고려한 압축기와 전자팽창밸브 제어,” 대한설비공학회 2006하계학술발표대회 논문집, pp. 675~680.
- (11) 한도영, 박관준, 2006, “다입력변수를 사용한 멀티형 공조시스템 압축기와 전자팽창밸브의 퍼지 제어 알고리즘,” 설비공학논문집 제18권 제2호, pp. 163~171.
- (12) 최지용, 조안태, 김광용, 2006, “증기터빈 바이패스밸브 케이징 유동장 해석관한 연구,” 유체기계 저널 제9권 제4호, pp. 36~42.
- (13) 송석윤, 유성연, 2006, “역지밸브의 고장원인,” 유체기계저널 제9권 제3호, pp. 64~72.
- (14) 권윤기, 이건호, 2006, “자동차용 사판식 압축기의 흡,토출밸브 설계,” 유체기계저널 제9권 제2호, pp. 13~18.
- (15) 노형운, 이영호, 이갑수, 2006, “수력댐 비상방류밸브에 대한 캐비테이션에 대한 연구,” 유체기계 저널 제9권 제5호, pp. 14~21.
- (16) 안원근, 정태희, 박한영, 김한일, 이동근, 2006, “수충격제어밸브,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집.
- (17) 안영준, 김병진, 신병록, 2006, “Anti-Cavitation Trim을 갖는 고차압 제어밸브의 유동특성에 관한 수치해석,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집.