

유량계 및 밸브분야 연구동향

전 세 증* · 박 경 암*

1. 서 언

2004년도의 유량계 및 밸브 분야의 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

유량 측정 연구는 유량 측정 표준 및 기준기급 유량계의 연구와 유량계의 특성 연구, 유량계 개발과 관련된 연구로 분류할 수 있다. 지난해에는 기준 유량계의 국제 비교가 이루어졌고, 다양한 유량계의 개량 연구가 이루어졌으며, 미소 유량 측정에 관하여도 연구가 이루어졌다.

한국표준과학연구원, 대만 CMS, 멕시코 CENAM, 영국 NEL이 보유하고 있는 기체 유량 측정 표준기인 벨 푸루버의 국제 비교가 이루어졌다⁽¹⁾. 표준기관 사이의 편차는 불확도 범위 내에 있으며, 이 결과는 불확도 평가의 유효성 검증과 같다.

재현도가 매우 높은 유량계를 표준기관에서 교정한 유량계를 이용하여 교정대상 유량계를 교정하는 것이 기준 유량계법이다. 이 방법은 시설비가 저렴하고 운

영이 간편하여 교정기관에서 많이 사용되고 있다. 유량 측정 범위를 확장하기 위하여 여러 개의 기준 유량계를 병렬로 연결하는 방법이 사용되고 있다. 이 때 발생하는 유량 교정 장치의 불확도 요소와 그의 평가 방법을 제시하였다⁽²⁾. 한국가스공사에서 터빈 유량계를 기준 유량계로 사용되고 있다. 이 터빈 유량계의 성능을 진단하는 방법으로 터빈 유량계에서 발생하는 차압을 이용하는 방법은 유동 안정기가 없는 터빈 유량계에 적용되어 왔다. 유동 안정기가 있는 경우에 대하여는 보다 구체적인 시험을 통하여 터빈 유량계의 성능 변화를 검출할 수 있음을 보고하였다⁽³⁾.

천연가스 소비량이 상대적으로 작은 가정, 빌딩, 업소 등에서 사용하는 거래용 유량계가 막식 가스미터이다. 막식 가스미터의 경우, 설치 위치, 지역, 외기 온도 및 대기압 (계절별), 가스 소비량 등을 고려하여 유량 측정의 정확도에 영향을 미치는 인자를 분석한 연구가 보고되었다⁽⁴⁾. 천연가스 공급량을 측정하는 한국가스공사의 계량 설비에는 유량계 이외에 압력, 차압, 온도 전송기 등 보조 계측기를 주위 환경으로부터 보호하기 위해 단열함 혹은 보호함을 설치, 운영하고 있다. 압력 및 차압 전송기에 대해 주위 온도 변화에 따라 전송기 특성이 어떻게 변화하는지 파악하고, 현장 전송기 관리 개선의 여부를 판단할 수 있는 근거 자료를 마련하기 위한 연구 결과가 보고되었다⁽⁵⁾.

오리피스 유량계에 대하여는 예측 모델의 개발 연구가 진행되었다. HFC 계열의 대체 냉매를 이용하면, 환경 문제를 해결할 수 있는데, 이 때 에어컨과 열펌프를 고효율의 최적상태로 운전하기 위하여 시스템 각 요소 기기의 정도 높은 성능 모델과 데이터가 필요하다. 오리피스 팽창장치는 간단한 구조, 저가, 높은 신뢰성 및 열펌프 시스템 적용 시 체크 밸브가 필요 없는 등 많은 장점이 있다. 기존 냉매에 대하여는 오리피스 팽창장치에 관한 연구가 많이 진행되었으나, 여러 냉매에 적용 가능한 일반화된 유량 예측 모델에 대한 연구는 아직까지는 드물다. 최근에 이루어진 연구

* 자료제공 한국과학기술연구원 열·유동제어연구센터
E-mail : yhshin@kist.re.kr

는 CFC와 HCFC, HFC 냉매에 동시 적용 가능한 오리피스 유량계의 일반화된 유량 예측 모델 개발로서, 예측 모델의 신뢰성과 유량선도를 제시하였다⁽⁶⁾.

초음파 유량계를 이용한 유량 측정 관련 연구는 국내 산업체 부설 연구소에서 이루어지고 있다. 초음파 유량계에는 도플러 방식과 습식 방법이 있는데, 이 중 습식 방법이 정확도 향상을 위하여 채택되고 있다. 다회선 초음파 유량계는 습식 방법의 한 종류로서 초음파 변환기를 여러 회선으로 설치하는 방법이다. 회선 수가 많을수록 측정 결과가 유동의 영향에 둔감하며 정밀 측정이 가능하다. 다회선 초음파 유량계의 불확도 개선을 위하여 유량을 산출하는 유속 적분 방법이 벽면 거칠기에 미치는 영향을 이론적으로 연구한 결과가 보고되었다⁽⁷⁾. 터블러 측 펌프 흡입단의 유량을 측정하기 위하여 다회선 초음파 유량계를 현장에서 시공하여 적용한 사례도 보고되었다⁽⁸⁾.

기계식 적산열량계를 대체하기 위하여 여러 노력이 이루어지고 있다. 전자기식 적산열량계는 그 중 한 가지로서 열량 측정의 정확성 및 신뢰성을 높이고 있다⁽⁹⁾. 전자기식 유량계는 액체가 흐르는 방향과 직각으로 자장을 발생시키고 그 자장 내를 전도성 액체가 이동함으로써 발생하는 기전력에서 유량을 구하는 유량계이다. 전자기식 유량계를 유량 검지부로 채택하는 적산열량계를 자체 개발하기 위하여는 라이닝 재질, 전극의 모양 및 재질, 전자석의 자속 밀도 등에 관한 기술 축적이 필요하다. 이러한 설계 조건에 대하여 유량계의 성능 변화를 측정하는 실험적 연구가 보고되었다⁽⁹⁾.

다중점 평균 방식의 유량계 (MPA, Multi-Point Averaging)는 차압식 유량계의 일종으로서 피토 튜브 방식의 유량계이다. MPA는 압력 감지공의 수를 약 3배 늘이고, 체비셰프 (Tchebychev) 배분법에 따라 압력 감지공의 위치를 골고루 배치하여 피토 튜브를 이용한 유속 분포의 오차를 감소시킨다. 정제 압력 탭은 센서의 상류쪽에 설치되어 있다. 하류쪽의 압력 감지공은 차압을 많이 발생시키면서도 유출 계수가 레이놀즈 수의 영향을 많이 받지 않는 위치에 설치하는 것이 유리하다. MPA에 대하여, 압력 감지공의 설치 위치에 따른 성능 곡선의 변화와 기존 오리피스, 피토 튜브를 이용한 유량 측정 방법과 비교한 결과가 제시되었다⁽¹⁰⁾.

엔진의 공기 연료비를 제어하기 위해 도입하는 유량 측정 센서에는 다중 절대압 (MAP, Manifold

Absolute Pressure) 센서와 공기 질량 유량 센서가 있다. 열 필름 유량계 (hot film flow meter)는 엔진의 공기 유량을 직접 측정하는 공기 질량 유량 센서이다. 높은 엔진 성능을 구현하기 위해서는 MAP보다 더 효과적으로 널리 활용되고 있다. 열 필름 유량계는 유동 역흐름, 불균일 흐름, 흡기 계통의 형상이 유량 측정의 중요한 인자로 작용하므로 이에 대한 연구가 진행되었다⁽¹¹⁾.

단상 및 이상 유동이 발생하는 단상 유동의 질량 유량을 측정하는 방법으로는 평균 양방향 유동 튜브가 제시되었다. 이 방법은 저 유동 조건에서 유체의 입사각의 변화에 무관하게 양방향의 속도를 측정할 수 있는 기존 국소 양방향 유동 튜브의 특성을 이용하여 단상 및 이상 유동 조건에 적용한 것이다. 정확한 질량 유량 예측을 위하여 모멘텀 교환 인자를 이용한 상관식이 보고되었고, 관련 수치 해석 연구가 진행되었다^{(12),(13)}.

미세 유량 조절은 병원에서 환자에게 정맥주사를 놓을 때 매우 중요하다. 주사기의 유량 조절 방식에는 인젝터를 이용하여 수액을 혈관에 주입하는 방식과 수액의 수두차를 이용하여 자연 상태로 수액을 혈관에 주입하는 방식으로 나눌 수 있다. 미세 유량 조절기를 이용하면, 자연 상태로 수액을 주사하면서도 사용자의 숙련도에 상관없이 일정 유량을 주입할 수 있어 정확도를 높일 수 있다⁽¹⁴⁾.

반면, 전자기 유량계는 유동장을 교란하지 않고 유동 에너지의 손실없이 유량을 측정하기 때문에 미소 유량의 측정에 유리한 점이 많다. 2004년에는 능동형 유량계인 전자기 유량계의 미소 유량 측정 가능성이 연구되었다⁽¹⁵⁾.

마이크로 유동에서도 유량 측정 연구가 이루어지고 있다. 광학 트위저를 이용하면 마이크로 채널 내부에 수 마이크로 단위의 물체를 포집하고 이동시킬 수 있는데, 이를 응용하여 유량을 제어할 수 있는 마이크로 밸브 시스템에 관해 연구가 수행되었다. 광학핀셋을 이용하여 마이크로 채널 내의 구형 입자를 포획한 뒤, 유동에 염료를 흘려보내 채널 내 유동을 가시화하는 방법도 연구 중에 있다⁽¹⁶⁾.

3. 밸브

정유량 밸브는 밸브의 입구 압력, 차압이 변화어도 일정한 유량이 흐를 수 있도록 유로를 변화하는 밸브

이다. 정유량 밸브는 현행 지역, 중앙 난방지구의 아파트에서 세대별로 균등한 난방수가 공급되는 데에 쓰이고 있다. 정유량 밸브를 정밀하게 설계하기 위해서는 유로의 유출 계수 데이터가 필요하다. 유로의 크기가 작고 복잡하면 오리피스 유출계수를 사용할 수 없다. 이를 보완하기 위해 유량을 측정하여 복잡 유로의 유출 계수를 구하는 실험이 수행되었다. 정유량 밸브, 여과기를 일체화 시켜 설치공간을 축소한 일체형 Y형 정유량 밸브를 수치 해석적인 방법을 이용하여 개발한 사례가 보고되었다⁽¹⁸⁾. 정유량 자동 온도 조절 밸브를 이용하여 난방 온도를 일정하게 유지하기 위한 연구도 보고되었다⁽¹⁹⁾.

역지 밸브는 유체 계통에 설치되어 펌프가 정지할 때 역류를 막고 펌프의 역회전을 방지하여 펌프의 밀봉 장치와 모터를 보호한다. 역지 밸브의 성능 특성에 영향을 미치는 인자 중 밸브 상류 측의 교란 요소는 배관내 유동 특성을 왜곡시키고 역지 밸브 디스크의 거동에 영향을 주어 아주 빠른 유속에서도 밸브가 완전히 열리지 않거나 안정적인 밸브 운전을 보장하지 않는다. 역지 밸브의 선정이나 설치시 교란 요소의 영향을 고려하지 않게 되면, 동일한 운전조건에서 상류 측 교란 요소가 없을 때의 안정적 상태가 디스크 태핑이나 떨림이 발생하는 상태로 이어질 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 유동 교란 요소의 유형과 설치 상태, 역지 밸브와 설치 위치까지의 거리가 역지 밸브의 성능에 미치는 영향이 연구되었다⁽²⁰⁾.

역지 밸브에는 스윙형, 틸팅형, 피스톤형 및 노즐형 등 여러 가지 유형이 있는데, 이 중, 스윙형 역지 밸브가 많이 쓰인다. 스윙형 역지 밸브는 설계의 단순성, 낮은 압력 손실, 효과적인 시트 밀봉 능력, 보수의 편의성과 다양한 크기의 활용성 등이 장점이다. 그러나, 저유속에서는 완전한 밸브 열림이 가능하지만, 신속한 밸브 닫힘이 어려운 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위하여, 스윙형 역지 밸브의 열림 특성 실험과 평균 유속에 따른 개도각 예측 모델이 개선되어 제시되었다⁽²¹⁾.

발전소에는 수많은 밸브가 사용되고 있으며 그 중 발전소 안전 운전에 큰 영향을 주는 밸브에는 동작 건전성 검사, 밸브 내부 누설 검사가 수행되고 있다. 누설 검사에는 레벨 감소, 압력계를 이용한 입출구 압력의 감소, 온도 변화 및 습도 측정, 내압 시험 및 진공 시험 등을 이용하여 왔다. 음향 방출법은 누설 상태의 정보에 대한 실시간 측정이 가능하고 측정 정밀도가

높다. 음향 방출법은 미소 누설에 의해 발생하는 음향 특성을 분석할 수도 있는데, 이에 대한 음향 특성 연구가 수행되었다⁽²²⁾.

안전 방출 밸브는 계통의 설계 압력 이상에서 개방되어 급속히 압력을 방출하다가 정상 운전 압력이 되면 다시 닫히는 기능을 하는 밸브이면서도 정밀한 설계와 신뢰성이 요구된다. 국내 산업체에서는 원자로 발전소용 안전 방출 밸브 개발을 목적으로 전산 유동 해석 기법과 성능 시험 등을 실시한 결과를 보고하였다⁽²³⁾.

열팽창 밸브 (Thermostatic Expansion Valve, TXV)는 선형 요소 내지는 이력현상 (hysteresis)을 보이는 비선형 요소로 여겨져 왔다. 열팽창 밸브를 모델링하는 연구는 많이 이루어져 있으나, 동역학적 특성을 결정하기에는 아직 부족한 실정이다. 열팽창 밸브는 기계 요소와 열센서 요소를 나누어 모델링할 수 있는데, 이에 대한 모델 파라미터를 결정하는 방법이 제시되었다⁽²⁴⁾.

공기 구동 밸브에 대해서는 국내 산업체에서 성능 진단 장비를 개발하였다. 특기할 점은, 기존의 하드웨어적 진단 방식에서 벗어나, 공기 구동 밸브의 계통 정보 및 설계 정보를 추가하여 사용자의 접근성이 용이하게 되었다는 점이다⁽²⁵⁾.

모터 구동 밸브의 운전성 확보는 발전소 운영의 신뢰성 및 안전성과 매우 밀접한 관계가 있다. 안전성 평가시 적용하고 있는 불확실성 요소는 부하율과 토크 스위치 반복성, 스템 윤활 저하, 스프링 팩 풀림 등이다. 부하율 현상은 밸브에 부하 작용시 마찰 저항이 변하여 스템에 전달되는 쓰러스트가 감소하는 현상이다. 열림 행정에 대한 안정성 평가시 부하율 적용 값이 타당한지를 확인할 필요가 있는데, 이를 위해 발전소 현장에 설치된 밸브들에 대해 정적 시험과 동적 시험을 수행하고, 측정 결과를 분석한 연구가 보고되었다⁽²⁶⁾.

공조 설비를 제어하는 방법은 전통적인 방법과 시스템 차압의 변동과 관계없이 일정 유량을 통과시키는 다이내믹 콘트롤 밸브를 적용한 방법이 있다. 최근에는 다이내믹 콘트롤 밸브를 이용하여 공조 설비를 개선하려는 움직임이 일고 있다⁽²⁷⁾.

공기압 흐름 방향 및 압력, 유량을 제어하는 공기압 서보 밸브의 개발도 이루어지고 있다. 주로 리니어 모터, 스톱 및 슬리브 절환 메카니즘, 전용 제어기에 대한 설계 및 해석이 수행되고 있으며, 시제품의 종합 성능 시험도 이루어지고 있다. 수치 해석을 이용한 밸

브 내부 유동이 해석되면, 밸브 기구부를 설계하고 제작하는 방식으로 밸브 개발이 진행되었다⁽²⁸⁾.

고응답 유동 제어 서보 밸브를 설계하려는 노력도 이루어지고 있는데, 수치적인 모델링과 파라미터 민감도 해석을 바탕으로 설계 변수들을 유도하여 동역학적 특성을 향상시키고 있다⁽²⁹⁾.

마이크로 밸브는 정밀 제어가 가능하기 때문에 반도체 산업 등 기술 집약적 공정의 개발에 있어서 핵심 기술이다. 고응답성 및 초절전 특성을 나타내는 초절전형 공기압 온오프 마이크로 밸브를 설계하고 해석을 통하여 초절전형 공기압 온오프 마이크로 밸브의 성능을 검증하는 연구가 진행되었고 발표되었다⁽³⁰⁾.

그 밖에도 우리나라는 밸브 관련 국제 표준화 총회(ISO/TC 153/SC 1)에 가입하여 활동하고 있으며 올해 4월 4일에서 8일까지 서울 코엑스에서 행사를 개최한다⁽³¹⁾.

4. 결론

유량 측정 교정 방법에 관한 논문이 발표되었으며, 벨 푸루버의 국제 비교가 이루어졌다. 터빈 유량계의 진단 방법에 대한 논의가 있었으며, 가스 미터나 다상 유동과 관련하여 오리피스 유량계나 초음파 유량계, 차압식 유량계, 전자기 유량계 등 다양한 종류의 유량계가 연구 및 개발되었다. 미세 유동의 유량을 조절이 필요한 의학이나 미래 기술 개발과 더불어 이 분야의 연구가 점차적으로 이루어질 것으로 예상된다.

밸브에 관하여는 지역, 중앙 난방 지구에 사용되는 정유량 밸브나 발전소에서 사용되는 역지 밸브, 안전 방출 밸브 등이 꾸준히 연구되었다. 밸브의 성능, 안정성, 신뢰성의 향상에 연구가 집중되었다. 열팽창 밸브나 공기 구동 밸브, 다이내믹 콘트롤 밸브, 각종 서보 밸브나 마이크로 밸브 등이 연구되었다.

전체적으로는 전년도와 비슷한 수의 연구 논문이 발표되었으며, 국내 산업체에서 제출한 논문들의 수도 많았다. 2005년도에는 산학연의 공동연구가 더욱 활성화되어 기술 개발과 좋은 연구 결과가 지속적으로 이루어지기를 기대한다.

참고문헌

(1) 최해만, 박경암, 2004, “소닉노즐을 이용한 벨 푸루버의 국제비교,” 유체기계저널, 제7권, 제1

호, pp. 24~29.

- (2) 임기원, 최종오, 이완규, 2004, “2개의 기준유량계를 이용한 유량계 교정장치의 측정불확도 평가에 관한 연구,” 대한기계학회 논문집 B권, 제28권, 제10호, pp. 1219~1230.
- (3) 하영철, 허재영, 2004, “차압을 이용한 터빈유량계 성능 진단,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 153~159.
- (4) 최해만, 박경암, 이생희, 오연균, 2004, “막식 가스미터 유량측정 오차요인 분석,” 제3회 한국유체공학 학술대회 논문초록집, p. 255.
- (5) 정종태, 하영철, 이철구, 허재영, 2004, “주위 온도의 급격한 변화에 따른 압력 및 차압 전송기의 특성 변화,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 321~326.
- (6) 이태원, 김용기, 2004, “전자기식 적산열량계의 설계인자가 유량측정 성능에 미치는 영향,” 설비공학회 2004 동계학술발표대회 논문집, pp. 15~20.
- (7) 이호준, 황상운, 김경진, 2004, “가중계수에 의한 다회선 초음파유량계의 유량적분오차,” 유체기계저널, 제7권, 제5호, p. 7~12.
- (8) 황상운, 이호준, 김병찬, 2004, “축 펌프 흡입단 사각 축소관에서 유량측정 타당성 연구,” 제3회 한국유체공학 학술대회 논문초록집, p. 81.
- (9) 이태원, 김용기, 2004, “전자기식 적산열량계의 설계인자가 유량측정 성능에 미치는 영향,” 설비공학회 2004 동계학술발표대회 논문집, pp. 15~20.
- (10) 김기현, 최성길, 2004, “MPA 유량계 압력감지공의 위치와 유출계수,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 160~165.
- (11) Gangyong Lee, Cha-Lee Myung, Simsoo Park and Youngjin Cho, 2004, “Sensitivity of Hot Film Flow Meter in Four Stroke Gasoline Engine,” KSME International Journal, Vol. 18, No. 2, pp. 286~293.
- (12) 윤병조, 강경호, 어동진, 백원필, 2004, “단상 및 이상유동 유량 계측을 위한 평균 양방향 유동 튜브 개발,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 172~179.
- (13) 강경호, 윤병조, 어동진, 백원필, 2004, “평균

- 양방향 튜브의 설계 최적화를 위한 FLUENT 코드해석,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 180~186.
- (14) 김병재, 이상빈, 신보성, 성형진, 2004, “주사용 미세유량 조절기 설계와 제작,” 대한기계학회 논문집 B권, 제28권, 제2호, pp. 154~159.
- (15) 임기원, 2004, “미소 전자기유량계의 개발 및 신호특성에 관한 실험적 연구,” 제3회 한국유체공학 학술대회 논문초록집, p. 256.
- (16) 이현주, 전체국, 김호영, 2004, “광학 트위저를 이용한 마이크로채널 내 유량제어 및 유동가시화에 관한 연구,” 제3회 한국유체공학 학술대회 논문초록집, p. 309.
- (17) 김기현, 최성길, 2004, “MPA 유량계 압력감지공의 위치와 유출계수,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 160~165.
- (18) 권우철, 이병휘, 2004, “Y형 세대별 정유량 밸브 개발에서의 CFD의 활용,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 488~491.
- (19) 유선학, 강승덕, 윤병로, 박경암, 2004, “자동 온도조절 밸브장치의 특성 연구,” 제3회 한국유체공학 학술대회 논문초록집, p. 185.
- (20) 송석운, 김양석, 박성근, 2004, “스윙형 역지 밸브에 미치는 상류측 교란요소 영향에 관한 실험적 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 309~314.
- (21) 김양석, 송석운, 김대웅, 박성근, 2004, “스윙형 역지 밸브 개도 예측 모델 개선,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 315~320.
- (22) 이상국, 이선기, 이준신, 이육륜, 2004, “음향 방출법에 의한 발전용 밸브 누설평가,” 대한기계학회 2004년도 추계학술대회 논문집, pp. 1733~1739.
- (23) 김철성, 노희선, 김강태, 김지현, 김종수, 2004, “안전방출밸브 개발과 용량인증 사례,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 492~500.
- (24) An Nguyen, Youngil Kim, 2004, “Experimental Study of the Dynamic Behavior of Thermostatic Expansion Valve,” 대한설비공학회 2004년도 동계학술 발표대회 논문집, pp. 487~492.
- (25) 양상민, 홍성대, 신성기, 박종근, 송동섭, 2004, “공기구동 밸브의 진단장비 개발,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 481~487.
- (26) 김대웅, 박성근, 정래혁, 이도환, 홍승열, 2004, “모터구동 게이트밸브 열림행정시 차압 작용에 의한 부하율 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 166~171.
- (27) 최광석, 2004, “다이내믹 콘트롤 밸브를 이용한 공조설비의 제어,” 대한설비공학회 2004년도 하계학술발표대회 논문집, pp. 1113~1119.
- (28) 김동수, 이원희, 최병오, 2004, “공기압 서보 밸브 특성해석 및 실험,” 대한기계학회 2004년도 추계학술대회 논문집, pp. 967~973.
- (29) Jong Soo Seo, You Sik Shin, Toung Heung Chun, Hyo Min Jeong, Han Shik Chung, 2004, “A Study on the Frequency Response Characteristics of High Response Flow Control Servo Valve,” International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 12, No. 3, pp. 131~140.
- (30) 김동수, 박상운, 김현섭, 류재섭, 이원희, 2004, “초절전형 마이크로 밸브 특성해석 및 실험,” 대한기계학회 2004년도 추계학술대회 논문집, pp. 876~881.
- (31) 윤준용, 2004, “밸브 국제 표준화 활동-TC153 총회준비 및 부대 행사,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 501~506.