

압전 액추에이터 내장형 밸브의 연구 동향

글 _ 윤소남, 박중호 || KIMM 첨단산업기술연구부
ysn688@kimm.re.kr

1. 서론

유체제어용으로 사용되는 제어밸브는 조작방식에 의하여 수동방식, 온-오프방식, 비례방식, 서보방식으로 나뉘고, 제어대상에 따라서 방향제어, 유량제어, 압력제어 방식으로 나뉜다. 유체제어용으로 사용되는 액추에이터의 성능을 평가하는 데는 조작력, 응답성, 중량당 출력비, 제어성, 안전성, 사용성, 수명, 가격 등이 고려되어야 하며, 신개념 제어밸브는 기존의 유체제어용으로 사용되던 슬레노이드 방식과 비교하여 폭발위험성이 없고, 고온에서도 사용이 가능하며, 특히 저소비 전력형이어야 한다. 최근에는 지능형 소자에 의해 새로운 원리로 작동되는 액추에이터들이 개발되어 각광을 받기 시작하고 있으며, 그 예를 Table 1에 도시하였다. 이 중에서 100여년의 역사를 갖는 압전특성(Piezo-Electric Effect)의 응용은 음향기기, 초음파기기, 통신키기, 계측기기뿐만 아니라 오늘날에는 각종 놀이기구의 진동제어, 항공기 날개의 진동제어에 응용되고 있으며, 유체제어분야에서는 고속 전자 온-오프 밸브, 초고속 서보밸브 및 초미니펌프 구동용 액추에이터로 응용되는 등 놀라운 발전을 해 오고 있다. 그러나, 현재 국내 유체제어분야의 파이로트 제어 및 온-오프 제어용으로 사용되는 액추에이터의 재질로서는 철계(Fe, Fe-Pb, 3%Si), 퍼멀로이계(Fe-48Ni, Fe-80Ni) 등이 있으나 철손과 잔류자속밀도가 작고, 투자율과 포화자속밀도가 크며, 내식성과 내마모성이 우수하면서 가격면에서도 유리한 재질을 요구하는 산업계의 희망에도 불구하고 밸브 시스템을 집합 형식으로 수입을 하고 있어

밸브의 구성 요소인 연자성체의 개발은 미흡한 실정으로써 이에 대한 대책이 필요하다 사료되며, 또한 고흡인력과 소형화를 위한 연구도 병행하여야 할 것으로 판단된다. 최근에는 국내에서도 소형화 및 고성능화를 위한 연구로서 형상기억합금을 밸브에 응용하는 기술과 전왜소자인 PMN($\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$)을 밸브에 응용하는 기술 및 압전소자인 PZT($\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$)을 밸브에 응용하는 기술에 대한 연구가 활발하다. 또한, 차세대 소재개발 사업의 일환으로 지능소재 개발에 대한 지원이 국가적인 차원에서 이루어지고 있어, 신개념 액추에이터에 대한 개발 전망은 매우 밝은 편이다.

본고에서는 유체제어 밸브의 에너지 절약화, 소형·경량화, 고성능화, 장수명화, 저가격화 및 고신뢰성 요구조건을 만족하는 피에조 밸브(Piezo Valve)에 대해서 기본적인 작동원리에 대해서 기술하고, 산업계에 활용 분야, 국내·외 개발 동향 및 전망에 대해서 기술하고자 한다.

2. 압전세라믹스 액추에이터의 원리

일반적으로 압전세라믹스 액추에이터는 구조에 따라서 적층형(Fig. 1)과 바이모프(Bimorph)형으로 나누어지며, 바이모프형은 분극방향에 따라 병렬(Fig. 2 a) 혹은 직렬형(Fig. 2 b))으로 나누어진다. 적층형 액추에이터는 적은 변위를 갖는 반면에 큰 힘을 얻을 수 있으며, 또한 부하전압과 변위 관계가 선형적이기 때문에 광학기나 센서 등에 많이 이용되고 있다. 바이모프형 액추에이터는 금속 탄성판을 중심전극으로 2장의 압전세라믹스의

Table 1. 신개념 액추에이터의 종류와 특징

종 류	변 환	특 징
형상기억합금 액추에이터	열→힘	Ti-Ni합금, 응답늦음, 출력비 낮음
금속수소화물 액추에이터	열→압력	La-Ni합금, 응답늦음, 출력비 낮음
초음파 액추에이터	전기→힘	토크가 큼
자성유체 액추에이터	자기→점성→압력	액체제어밸브, 인공근육
전기점성유체 액추에이터	전기→점성→압력	가진기, 출력비 큼
고무 액추에이터	압력→힘	공기압 인공근육, 응답늦음, 출력비 낮음
압전 액추에이터	전기→힘	압전소자 적층, 응답이 빠름, 압력 큼, 변위 작음
Mechano-Chemical 액추에이터	pH→힘	고분자 전해질, 응답 늦음
Photo-Mechanical 액추에이터	광→힘	고분자물질

얇은 판을 도전성 접착제로 접합시킨 구조로, 이 2장의 압전세라믹스에 한면은 늘어나는 쪽으로, 다른 한면은 수축하는 쪽으로 전압을 인가하게 되면 인가전압의 파형이 대하여 굴곡 변위를 일으키기 때문에 액추에이터로서 사용이 가능하다. Fig. 2 a)와 같은 병렬형 액추에이터에 있어서 무부하 변위(u_0), 최대발생력(F_b), 컴플라이언스(s_n), 공진주파수(f_{rm})은 다음과 같은 수식으로부터 간단히 예측할 수 있다.

$$u_0 = 6 \cdot d_{31} \left(\frac{l}{t}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{t_s}{t}\right) \cdot V \text{ [m]} \quad (1)$$

$$F_b = \frac{u_0}{s_n} \text{ [N]} \quad (2)$$

$$s_n = S_{11}^E \cdot \frac{4 \cdot l^3}{w \cdot t^3} \text{ [m/N]} \quad (3)$$

$$f_{rm} = \frac{1.875^2}{4\sqrt{3}\pi} \cdot \frac{t}{l^2} \sqrt{\frac{Y_{11}^E}{\rho}} \text{ [Hz]} \quad (4)$$

여기에서, d_{31} : 등가압전정수[m/V], l : 압전바이모프 길이, t : 압전 바이모프 두께, t_s : shim재의 두께, V : 인가전압[V], S_{11}^E : 압전체의 탄성 컴플라이언스, Y_{11}^E : 영률, w : 압전 액추에이터의 폭[m], ρ : 압전체의 밀도[kg/m³]이며, 식(1), (2), (3), (4)로부터 변위 u_0 는 인가전압 V 에 비례하고, 액추에이터 길이 l 의 2승에 비례하며, 발생력은 인가전압 V 에 비례하고, 액추에이터 폭 w 에 비례한다는 것을 알 수 있다.

3. Piezo-Electric Type Valve의 구동 원리

유체제어 밸브에 피아로트 및 온-오프 구동용으로 압

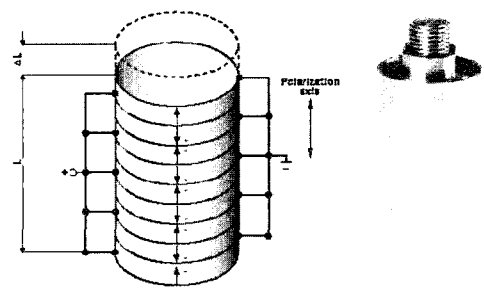


Fig. 1. 적층형 압전 액추에이터 구조

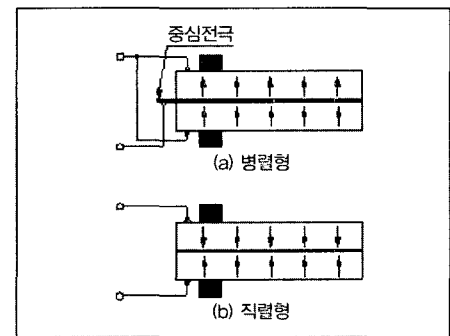


Fig. 2. 바이모프형 압전 액추에이터 구조

전세라믹스 액추에이터를 사용하게 되면, 일반 솔레노이드에서 사용되는 코일의 단점인 여자시간을 필요로 하지 않기 때문에 매우 빠른 응답성을 얻을 수 있고, 코일과 영구자석 등이 없어 소형·경량화, 저가격화가 가능하다. 또한 온-오프시에 발생하는 Voltage Spike 및 마찰요소가 존재하지 않아 장수명화가 가능하고, 소비전력을 0.001[W]까지 사용할 수 있기 때문에 에너지 절약화가 가능한 이점이 있다. 다음에는 선진국에서 개발중이거나 상용화하여 시판되는 압전세라믹스 액추에이터 내장형 유체제어 밸브의 구동원리에 대해서 살펴보기로 하자.

3.1 단노즐(Single Nozzle)방식 온오프밸브의 구동 원리

Fig. 3은 단노즐방식 온오프밸브의 내부 구성을 보이는 것으로 구성은 크게 밸브 몸체에 포펫(Poppet)밸브와 압전소자 그리고 압전소자 구동기로 이루어져 있다. 그림과 같은 경우(전원 플러그에 입력이 끊긴 경우)에는 압전소자가 파이로트부 하부 시트를 막고 있고, 이 결과로 포펫밸브 하단부 역시 막히게 되어 압력유체(P)의 흐름을 작동부 A로 전달하지 못하게 되며 유체의 흐름은 정지하게 된다. 플러그에 전원이 입력되면 압전효과에 의하여 압전소자가 파이로트부 상부 시트를 막아 파이로트실에 압력을 형성시키고 포펫밸브를 아래쪽 방향으로 밀어낸다. 이 결과로 압력유체(P)가 포펫 하단부의 개구면적(開口面積)을 통하여 작동부 A로 전달하게 되어 작동 대상물을 구동하게 된다.

3.2 양노즐(Double Nozzle)방식 온오프밸브의 구동 원리

Fig. 4는 양노즐 방식의 온오프밸브를 보이는 것으로 A Port로의 공급 및 A Port에서 탱크포트로의 방출을 압전 액추에이터와 양측에 내장되어 있는 노즐에 의해서 이루어지는 형태이다. Fig. 4의 경우는 압전 액추에이터에 전원이 공급되어 공급압력이 A Port를 통과하고 있음을 의미하는 것으로 작동 대상체가 동작하고 있음을 뜻한다.

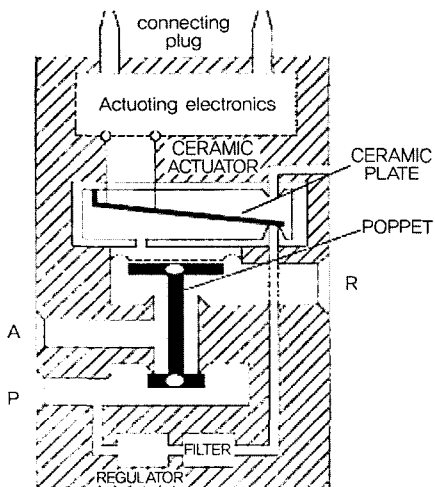


Fig. 3. 단노즐 방식 온오프 밸브

만약에 액추에이터에 전원입력이 되지 않는 경우는 액추에이터가 상부노즐을 막게 되고, 메인 포펫은 하측으로 이동하게 되어 A Port와 탱크포트가 연결되어진다. 이 결과로 A Port측의 압력유체가 탱크로 흘러 A Port가 무부하로 되는 것으로 Fig. 3의 다이어그램으로 이루어지는 무부하동작을 여기에서는 직접 노즐을 제어하여 행하도록 하는 방식이다.

4. 코일 밸브의 제어방식

본 장에서는 독자의 이해를 위하여 현재 어떤 제어 액추에이터를 이용하여 전술한 방향, 압력, 유량제어를 수행하는지 살펴보기로 한다.

Fig. 5는 단순 온오프구동 시스템에 적용되는 밸브구조의 개략도를 보인 것으로 코일에 전류를 인가하면 고정자(Stationary Core)가 전자석이 되고, 이 전자석은 구동자(Plunger)를 끌어당긴다. 코일에 전류 입력이 없으면 자력이 없어지고 구동자는 스프링(Return Spring)에 의해 복귀하여 압력포트(Adapter Port)를 막는 구조로 되어 있다. 이 결과로 구동자 시트(Seat)에 의하여 막혀 있던 유압 혹은 공압의 흐름을 생성 혹은 소멸시키게 되며, 이러한 동작을 응용하여 대상 액추에이터 제1, 제2의 단순 온오프 동작을 구현하게 된다.

Fig. 6은 임의의 입력전류에 비례적으로 동작하는 비례 Solenoid 방식 밸브의 구조도를 보이는 것으로 Fig. 5의 구동방식과 동일하나 입력전류에 비례하는 힘을 얻어내기 위하여 코일성능이 매우 우수하고, 구동자를 둘러싸는 관의 재질은 자성체와 비자성체를 혼합하는 방식을

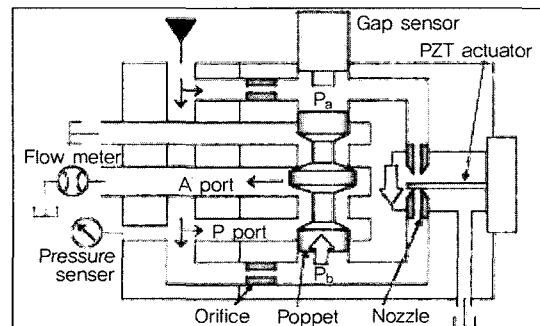


Fig. 4. 양노즐 방식 온오프밸브

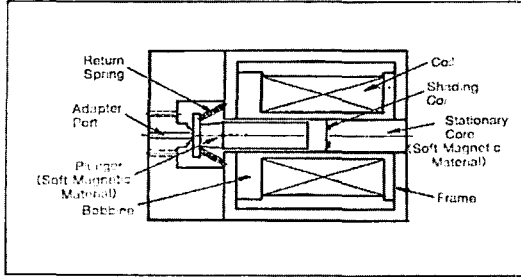


Fig. 5. 온오프 솔레노이드 방식 밸브

사용하였다. 또한 분해능 및 히스테리시스 성능향상을 위하여 테프론 등의 무마찰 씰(Seal)을 사용하였다. 이 밸브의 주파수 특성은 40[Hz] 미만이나, 오염에 매우 강하고 저가격이기 (다음에 소개하는 포스모터, 토크모터 방식 밸브에 비해서) 때문에 고성능을 요하지 않는 일반 산업계의 서보제어계에 아주 많이 사용되고 있다.

Fig. 7은 유압밸브를 대표하는 토크모터(Torque Motor) 방식 밸브의 구조도를 나타낸 것으로 그림과 같이 노즐-플래퍼를 이용하는 방식과 제트 파이프 (Jet Pipe)를 이용하는 방식이 주로 사용되고 있다. 코일에 발생하는 자력을 이용하여 아마추어에 토크를 생성시키고 토크에 비례하여 노즐 및 플래퍼의 간극이 만들어지며, 스푼 이동량에 비례하는 피드백스프링의 토크를 이용하여 결국에는 입력전류에 의한 토크와 피드백스프링 토크가 일치하는 지점까지 메인스푼을 이동시키는 방법으로 고성능 및 고응답이 가능하기 때문에 각종 시뮬레이터 및 방위산업, 항공산업 등 고속서보제어계에 응용되는 밸브이다

Fig. 8은 Fig. 7의 단점인 오염저항능력을 향상시키기 위하여 제안된 밸브로 최근에 국내에서도 개발을 시도하고 있다. 이 밸브는 비례솔레노이드의 구동원리와 비슷한

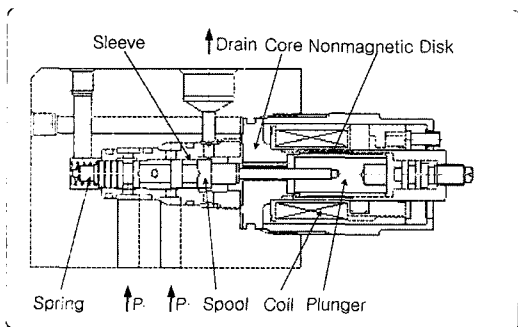


Fig. 6. 비례솔레노이드 방식 밸브

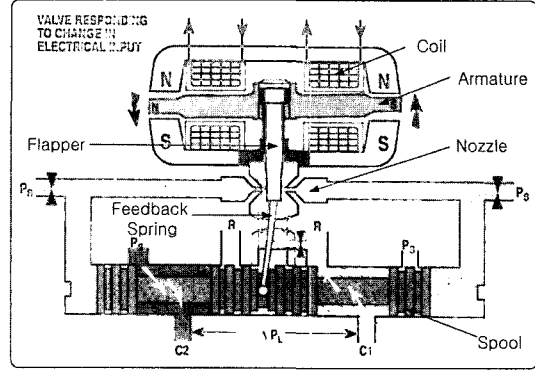


Fig. 7. 토크모터 방식 밸브

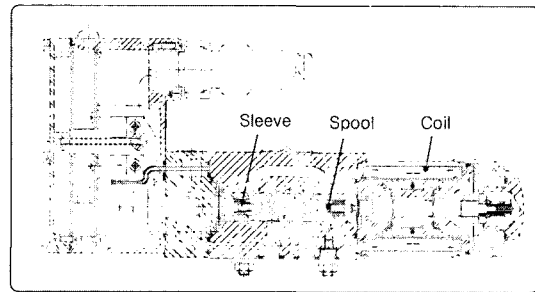


Fig. 8. 포스모터 방식 밸브

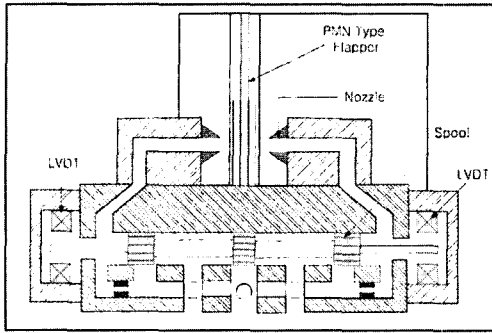
것으로 포스모터(Force Motor)를 이용하여 직접 스푼을 구동시키기 때문에 토크모터 방식 밸브와 구별을 위하여 DDV(Direct Drive Valve)라 불린다. 스푼변위의 정밀제어를 위하여 스푼내부에 변위센서를 내장하고 입력전류와 구동변위 전류를 비교하여 자체 보상하는 구조로 되어 있다.

5. 압전 액추에이터 내장형 밸브의 개발동향

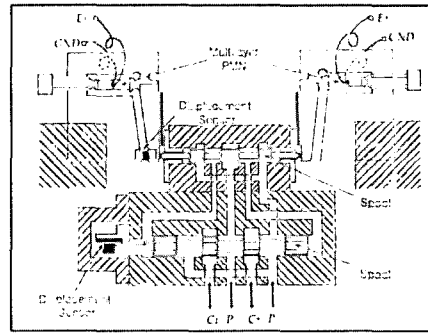
이 장에서는 서론에서 밝힌바와 같이 압전소자 액추에이터를 이용한 유체제어 밸브에 대해서 국내외의 연구동향 및 응용분야에 대해서 기술하기로 한다.

5.1 국외 대학에서 연구하는 밸브들

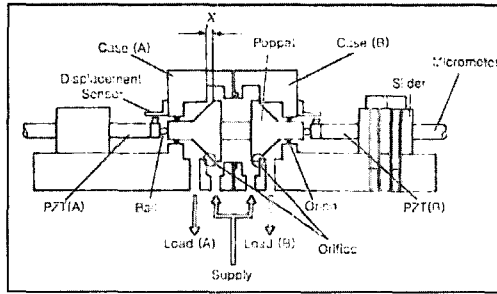
Fig. 9는 일본 Yamanashi대학의 Ouchi교수가 연구하고 있는 압전소자형 서보밸브 및 온오프밸브를 보이는 것으로 밸브의 성능향상을 위하여 압전소자의 단점으로 지적되고 있는 히스테리시스 저감을 위한 연구를 수행하고 있다.



a) 노즐-플래퍼방식 서보밸브



b) 변위확대 기구 내장형 서보밸브



c) 초고속 온-오프밸브

Fig. 9. Ouchi 교수가 연구하는 압전밸브

Fig. 10은 일본 Gifu대학의 Muto교수가 연구하는 노즐-플래퍼방식 온-오프밸브를 보이는 것으로 바이모프형 압전액추에이터를 이용하여 노즐의 어느 한쪽을 차단하게 되면, 스톱-포펫조합식 밸브가 이동하게 되어 유체의 방향을 제어하는 밸브이다.

Fig. 11은 일본 동경공대의 Yokoda교수가 연구하는 초고속 서보밸브를 보이는 것으로 적층형 압전소자를 사용하고 있으며, 문헌에 의하면 1KHz 이상의 응답성을 보이는 것으로 보고 되고 있다.

Fig. 12은 미국 New Hampshire대학의 Taft교수가 연구하는 압전소자를 이용한 비례형식 유체소자제어밸브를 보이는 것으로 압전소자 및 유체제어기구에 대한 모델링이 매우 세밀하게 이루어지고 있다.

Fig. 13은 독일 아헨공대의 Niko Herakovic교수가 연구하는 온-오프밸브의 회로를 보이는 것으로 압전밸브가 가지는 단점인 발생력을 보상하기 위하여 압전액추에이터는 압력 레귤레이터에 의하여 제어되는 저압력으로 구동하도록 하는 것이 특징으로 되어 있다.

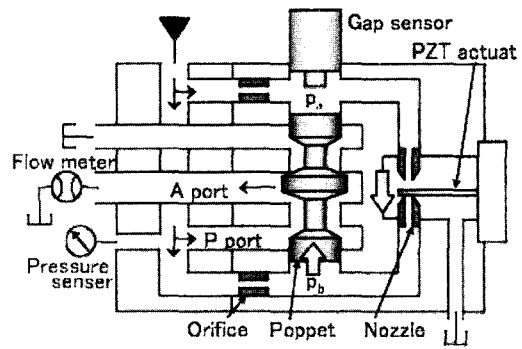


Fig. 10. Muto교수가 연구하는 압전밸브

5.2 국외 기업에서 제공하는 밸브들

Fig. 14는 독일의 Hoerbiger(사)에서 제공하는 압전밸브를 보이는 것으로 고압에서도 사용이 가능하도록 감압장치를 제공하며, 기밀성 확보를 위하여 가변부하 조정이 가능하도록 되어 있다.

Fig. 15 a)는 Burkert(사), b)는 Joucomatic(사)에서 제공하는 대유량제어 및 비례유량제어가 가능한 밸브의 외관을 보이는 것이며, 이외에도 ACX, Lintek, Valtex,

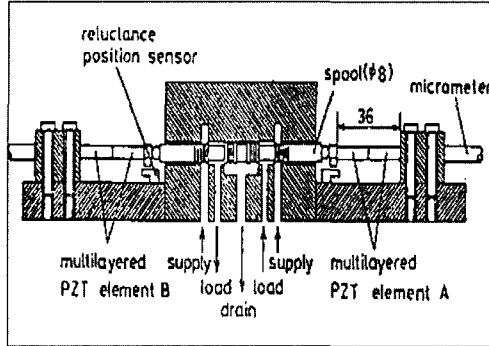


Fig. 11. Yokoda교수가 연구하는 압전밸브

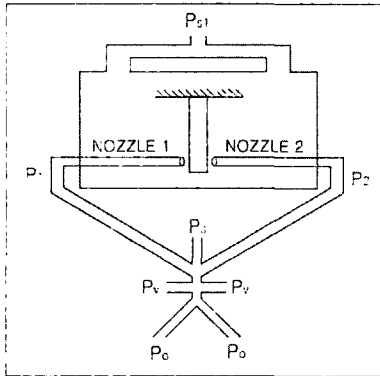


Fig. 12. Taft교수가 연구하는 압전밸브

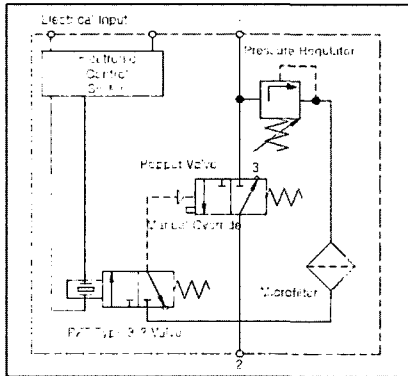
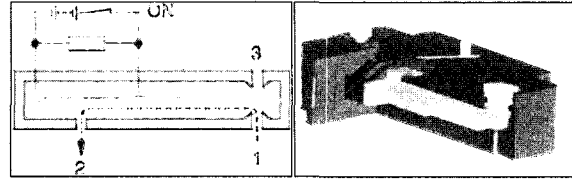


Fig. 13. Niko Herakovic교수가 연구하는 압전밸브

AE, FHR 등에서 미소유량에서 대유량제어에 이르기까지, 필드버스제어에서 대형건물의 환기제어에 이르기까지 매우 다양하게 응용되고 있다.

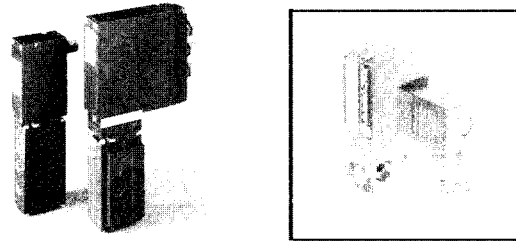
5.3 국내에서 연구되는 밸브들

최근 들어 NT 관련 기술이 부상하면서 지능형 압전소자 관련 연구가 대학 및 기업에서 매우 활발히 이루어지



a) 밸브구동원리 b) 밸브 내부구조

Fig. 14. Hoerbiger(독일) 압전밸브



a) Burkert(독일)사 제품 b) Joucomatic(프랑스)사 제품

Fig. 15. 기업에서 제공하는 압전밸브

고 있는 실정이다. KIST, RIST 등에서는 바이모프형, 적층형 압전소자의 변위특성 및 힘특성 향상연구와 속응성 향상 연구가 이루어지고 있는 것으로 보고 되고 있으며, 최근에는 금오공과대학교, 울산대학교, 인하대학교, 경원대학교 등에서 압전재료의 개발방향 및 전자 자카드머신용 밸브 개발, 공압밸브의 압력제어에 관한 기초적인 연구들이 수행되고 있는 것으로 보고 되어있고, 한국기계연구원, 한국과학기술연구원, 서울대학교 등에서 파이프용 방향제어 밸브 및 적층형 서보밸브에 대한 연구들이 수행되고 있는 것으로 보고 되고 있다. 또한, 국가주도 사업인 “차세대 소재성형 기술개발 사업”과 관련해서는 지능형 소자의 성능향상을 위한 소재연구 및 그 응용 분야 연구가 활발히 수행되고 있다.

6. 결론

피에조 밸브의 개발은 위하여 우선적으로 해결해야 될 과제로는 다음의 항목들을 들 수 있다.

- ① 다이어프램 동특성 향상
- ② 파이로트 상·하단부 시트의 기밀성 향상
- ③ 포펫밸브 상·하단부 시트의 기밀성 향상
- ④ 압전소자용 변위 확대기구 개발 및 히스테리시스

저감화 기술

⑤ 양단지지보 방식의 액추에이터 성능 향상 기술

⑥ 내구성을 고려한 설계 및 조립기술

위의 ①, ②, ③은 밸브 설계기술, ④는 압전소자 기술과 관련되는 것이나 ②의 문제점을 해결하는 과정에서 압전소자부에 기밀성 소재를 융착하는 기술도 선과제로 해결해야 될 것이며, 또한 압전소자의 특성상 변위특성이 수 마이크로미터(μm)로 한정되어 있기 때문에 현재까지는 파이로트 구동용에만 쓰이고 있으나 압전소자의 고속특성을 대용량 유체제어 장치에 응용하기 위해서는 변위확장 기구의 연구도 시급히 수행되어야 할 것으로 사료된다.

외국 선진국인 경우, 독일에서는 Hoerbiger 등이 50~500[lpm] 성능의 밸브를 상용화하여 시판하고 있으며, 일본에서는 SMC, KOGANEI 등이 대학과 연구를 통하여 상용화를 서두르고 있으며, 미국에서는 대형건물의 환기제어용 및 진공펌프의 진공제어용으로 피에조 밸브를 사용하고 있다. 15여년의 연구 개발을 통하여 비교적 기술 축적이 많이 되어 있는 편으로 현재에는 성능개선 및 저가격화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

국내에서는 유체제어 분야가 외국 선진국에 30년 정도 뒤져 있기 때문에 현재까지도 온-오프 솔레노이드, 비례 솔레노이드, 토크모터의 개발을 위하여 불철주야 노력하고 있는 것은 사실이지만 전기재료분야는 비교적 선진국과 어깨를 겨룰 정도의 기술을 축적하고 있는 것으로 판단된다. 또한 일부 대학 및 연구계에서 시도되는 새로운 방식의 밸브개발 연구는 매우 고무적이라 할 수 있다.

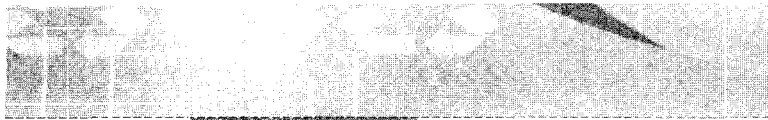
2002년도 일본유공압학회 주관 국제학술회의에서 발표된 "Piezo electronics and their use in pneumatic valves" 와 "Innovative designs and control circuits for proportional valves"의 내용을 참고하면, 앞으로 에너지 절약과 장거리 통신 수단, 고온 및 폭발 위험성이 있는 곳에서 사용을 고려하게 되면 기존방식 밸브를 대체할 수 있는 밸브가 피에조 방식 지능형 밸브가 될 것이라고 예견하고 있다.

다행히도 현재 국내의 NT 및 IT 분야 지원확대로 인하여 차세대 소재 개발에 대한 관심이 고조되고 있어 압

전소자의 성능 또한, 향상될 것으로 예상되며, 2~3년 이내에 상품화된 지능형 압전밸브가 국내 기술진에 의하여 선보일 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 박창엽, 압전 세라믹스, 김영사 (1987).
2. 김호기, 신병철, 압전·세라믹스, 반도출판사 (1991).
3. 大内英俊, "壓電, 電わいアクチュエータの制御弁への應用", 日本油空壓學會誌, 30(7), 497~501(1999).
4. 横田眞一 外, "共振驅動形壓電マイクロポンプ" 日本油空壓學會誌, 30(7), 497~501(1999).
5. 横田眞一 外, "形狀記憶合金アレイを用いた小形比例弁", 日本機械學會論文集, 62(593)(B), 224~229(1996).
6. 中野和夫 外, "油空壓の極限を探る—油壓制御システムの極限化", 油壓と空氣壓, 20(1), 14~19(1989).
7. MOOG, Servo and Proportional Control Catalogue, 11~14 (1994).
8. 東京정밀, SH形のサーボ弁, 1~9(1997).
9. 大内英俊, "積層形電わい素子を用いた電氣-油壓サーボ弁の試作", 油空壓とエレクトロニクスの複合化調査分科會成果報告書, 74~77(1986).
10. Hoerbiger, Pneumatic Valve Catalogue, 18~29 (1999).
11. Hironao YAMADA 외, "Development of a Low Cost High-Speed On/Off Digital Valve Using a Bimorph PZT Actuator", Proceeding of the Forth JHPS International Symposium on Fluid Power, 591~596 (1999).
12. Nikkei Industry News Paper, "新型エアバルブ試作" (1985).
13. ACX & Stechoriba, Piezo Valve Catalogue(1998).
14. 최수현 외, "형상기억합금을 이용한 유량제어 밸브의 위치제어 적용 시뮬레이션", 한국정밀공학회, 16(8)(통권101호), 79~87(1999).
15. 윤소남 외 3, "노즐/플래퍼형 유량제어 서보밸브의 특성에 관한 연구", 한국자동차공학회논문집, 8(1), 54~62(2000).
16. 윤소남 외2, "비례감압밸브의 압력제어특성", 한국동력기계공학회논문집, 7(1), 68~73(2003).
17. 윤소남 외3, "파이로트 구동용 압력제어밸브의 특성 해석", 한국정밀공학회추계학술대회, 725~728(2002).
18. 윤소남 외3, "공압용 온-오프 솔레노이드의 특성개선에 관한 연구", 한국자동차공학회 추계학술대회 (2003).
19. 윤소남 외1, "압전세라믹스 액추에이터와 유공압밸브", 기계연구원, 12(2) 79~84(2000).
20. L. Nohos 외 1, "Piezo electronics and their use in



pneumatic valves”, Proceedings of the 49th National Conference on Fluid Power, NCFP.102-6,7, 179~181 (2002).

21. H.Murrenhoff et al., “Innovative designs and control circuits for proportional valves”, NCFP 102-27,2, 691~701(2002).

●● 윤 소 남



- * 1994년~현재 한국기계연구원 첨단산업기술 연구부 선임연구원
- * 1994년 부경대학교 기계공학부 유압제어 전공/박사
- * 1990년 부경대학교 기계공학부 유공압 시스템 전공/석사
- * 1986년 제주대학교 기관학과/학사
- * 관심분야 : 압전 액추에이터 응용, 스마트 액추에이터 개발과 응용

●● 박 중 호



- * 2004년~ 현재 한국기계연구원 첨단산업 기술연구부/선임연구원
- * 1999년~2004년 동경공업대학 정밀공학 연구소/연구원
- * 1999년 동경공업대학 정밀기계시스템전공/박사
- * 1996년 동경공업대학 정밀기계시스템전공/석사
- * 1993년 전남대학교 기계공학과/학사
- * 관심분야 : 스마트 액추에이터의 개발과 응용, 마이크로 유체제어 시스템 및 디바이스