

초소형 압전(piezoelectric) 펌프의 개발동향



함영복

(KIMM 산업기술연구부)

- '87. 2 금오공과대학교 기계공학(학사)
- '90. 2 금오공과대학교 유압공학(석사)
- '90. 2-현재 한국기계연구원 선임연구원



윤소남

(KIMM 산업기술연구부)

- '86. 2 제주대학교 기계공학(학사)
- '90. 2 부경대학교 유압제어(석사)
- '94. 2 부경대학교 유압제어(박사)
- '94. 7-현재 한국기계연구원 선임연구원



최성대

(금오공과대학교 기계공학부)

- '87. 2 금오공과대학교 기계공학(학사)
- '90. 2 금오공과대학교 기계재료(석사)
- '99. 3 동경도립대학 생산기술 및 안전성평가(박사)
- '2000. 3-현재 금오공과대학교 교수

1. 개요

유공압분야에 사용되는 펌프로는 주로 용적형 기계(positive displacement machinery)가 많으며, 펌프부의 형상에 따라서 피스톤형, 베인형, 기어형, 크랭크형, 스크류형 펌프 등으로 나눌 수 있다. 또한 구동방식에 따라서 엔진이나 전기모터와 같은 원동기와 직결하여 구동하는 방식과 밸브의 동작에 의해 유체가 펌핑되는 방식으로 크게 나눌 수 있으며, 전자의 경우가 유압에서는 일반적이며, 이 방식은 원동기의 회전수와 비례하여 정유량을 토출하는 방식(정용량형 펌프)과 원동기의 회전수와는 비례하면서, 펌프자체의 회전당 토출용적을 가변시키는 방식(가변용량형 펌프)으로 나누어지며 현 산업계에 널리 사용되고 있다. 용적형은 밀폐된 유실의 용량 변화에 의해 기름을 흡입, 토출하며 흡입과 토출쪽은 격리되어 있어서 부하가 변동하여 펌프의 토출 압력이 변화하여도 펌프의 토출량은 거의 일정하여 유압 장치에 적합하다.

그림 1과 같이 실린더와 체크 밸브로 구성된 왕복펌프에서 고속의 전자밸브를 이용하여 밸브

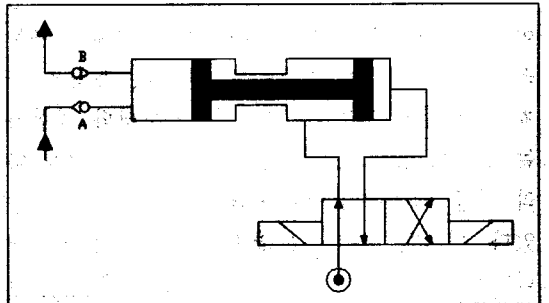


그림 1. 왕복 펌프의 원리도

의 왼쪽위치로 유량이 공급되게 하면 실린더는 오른쪽으로 이동하여 체크밸브 A를 열어 유체를 끌어들이고, 밸브의 오른쪽위치로 유량이 공급되게 하면 실린더는 왼쪽으로 이동하여 유체를 밀어내면서 체크밸브 B가 열려 대상 액추에이터를 구동하거나 혹은 압력유체를 저장용기에 저장할 수 있는 능력을 갖춘 구조로 이루어진다.

본고에서는 위에서 언급한 펌프 구성 방식 이외에 새로운 방식으로 펌프역할을 하는 압전 펌프(piezoelectric pump)에 대해서 그 작동원리 및 개발 전망을 소개하고자 한다.

2. 압전 액추에이터의 특성

압전 펌프라는 것은 PZT계 조성의 세라믹스 [티탄산납($PbTiO_3$)와 지르코산납($PbZrO_3$)을 일정한 비율로 혼합한 것으로 사용용도에 따라 불순물을 첨가하여 사용] 소자의 압전성질, 즉 전기를 공급하면 수축 혹은 팽창하는 성질을 이용하여 펌프에 적용한 것으로 초소형경량화, 저가격화, 신뢰성향상에 매우 유리하며 그 응용분야도 다양하다.

메카트로닉스 기술이 고도화함에 따라 센서나 제어기술과 마찬가지로 상황에 맞는 적절한 액추에이터의 개발이 필요하며, 이러한 액추에이터로는 압전소자, 초립기 외곽소자, 형상기억합금, 수소저장합금, 기계재료, 전기점성유체, 정전기 등을 이용한 것이 새롭게 연구되고 있다.

이들 재료중에서 압전소자는 변위가 약 0.1%로 작지만 경량, 고속응답, 대발생역이라는 특징이 있기 때문에 미소 변위의 제어, 기계 구조물의 진동제어 등에 실용되고 있으며, 출력은 작지만 초음파 모터의 형태로 전자모터와 결합하는 영역에 응용되고 있어 적절한 이용방법에 따라 각종 액추에이터의 동력원으로서 활용할 수 있다. 이러한 관점에서 압전소자의 변위 운동에너지를 유압에너지로 변환시켜 주기 위해 압전소자는 초소형 펌프에 적용되는 것이 매우 효과

적이다.

압전성이란 물질에 응력을 가할 때, 전기분극이 생성되거나 물질에 전계를 인가 할때 변위를 생성시키는 성질을 말한다. 이런 압전 세라믹스는 최근에 일반 생활용, 산업용에 관계없이 전자기기 분야에 널리 이용되고 있으며, 기능성 전자소자로서 없어서는 안될 중요한 역할을 가지고 있다. 또한 센서, 착화소자, 액추에이터 등 통신과는 별도의 전개가 크게 기대되고 있으며, 압전 세라믹스는 전기에너지와 기계에너지와의 상호교환이 상당히 높은 효율성을 나타내고 있다. 이런 기능을 요구하는 분야는 무수히 많이 존재한다.

2.1 압전 액추에이터의 원리

압전 액추에이터라고 하는 것은 전기를 입력 에너지로 하여 변위 또는 발생력을 출력하는 전기식 액추에이터이다. 구체적으로 설명하면 압전 액추에이터를 구성하는 압전 세라믹에 전계를 인가하면 늘어나거나 수축하는 성질을 이용하는 액추에이터라고 하는 것이다.

세라믹스에 전계를 인가하면 세라믹스가 왜 신축하는 것일까? 세라믹스는 취성 재료이지만, 온도변화에 의해 열팽창을 일으키며, 또 압력을 가하면 작게 수축한다. 이런 것들이 전계를 인가할 때에도 일어나는 것이다. 세라믹스에는 양이온과 음이온이 탄성적으로 연결되어 결정격자를 형성하고, 전계가 걸리면 양이온은 전계방향, 음이온은 역방향으로 당겨진다. 이와 같이 해서 응력이 발생하고 결정격자를 변형시킨다. 다시 구체적으로 설명하면, 다결정체인 압전 세라믹스의 처음상태에 있어서 각각의 결정립의 내부는 일반적으로 분극방향이 다른 몇 개의 분극으로 나뉘어져 있다. 이 상태에서 전체로써의 분극은 상쇄되어 외부로는 표현되지 않는다. 이때 이 압전 세라믹스에 전계를 가하면 결정내부의 분극방향이 전계방향에 따라 분극하고 동시에 결정립의 길이가 전계방향으로 늘어난다. 또 전계를 제거

하면 원래의 처음상태로 돌아오지 않고 전체가 거의 분극한 상태를 유지한다. 이 분극에 따른 변위를 잔류 처짐이라 부르며 이 일련의 처리를 분극처리라고 한다. 분극 처리후는 동일방향의 전계를 가하거나 제거하는 것에 의해 각각의 결정체가 늘어난 상태, 줄어든 상태를 왕복하여 동작하게 되고 압전세라믹스전체의 움직임이 되어 나타난다. 따라서 압전 액추에이터의 특징으로는 에너지 절약형이고, 고속 응답성이 좋으며, 소형화가 가능하고 발열이 적은 것 등이다.

2.2 압전 액추에이터의 종류

압전 액추에이터는 여러 가지의 종류가 있지만 기본적인 동작원리는 다음과 같이 두가지 종류로 분류한다.

2.2.1 적층형 압전 액추에이터

압전 박판소자의 전계 인가방향과 평행한 방

향의 신축을 이용하여, 이 소자를 다수 적층한 적층형 변위 소자로서 전기적으로는 병렬구성으로 기계적으로는 직렬 구성으로 되기 때문에 변위량은 적층수의 배수가 된다.

이때 압전소자의 분극방향에 전계를 가할때 같은 방향의 변형을 종효과라고 한다. 그림 2, a)와 같이 종효과를 이용한 적층형 액추에이터는 발생력이 크고 응답속도가 빠르며, 에너지 변화율이 높은 특징을 가진 반면, 구동전압이 높은 것이 결점이다.

2.2.2 바이몰프형 압전 액추에이터

압전박판 소자의 전계인가방향과 직각방향의 신축을 이용하여 이 소자를 2장접합한 바이몰프 소자로서 전계를 인가할 때 한 방향은 수축변위, 다른 한 방향은 신장의 변위를 일으키게 하는 것으로 전체의 굴곡 변위를 얻을 수 있다. 적층형 압전 액추에이터와는 반대로 이때의 압전소자 분극방향에 전계를 가할때와 수직인 방향의

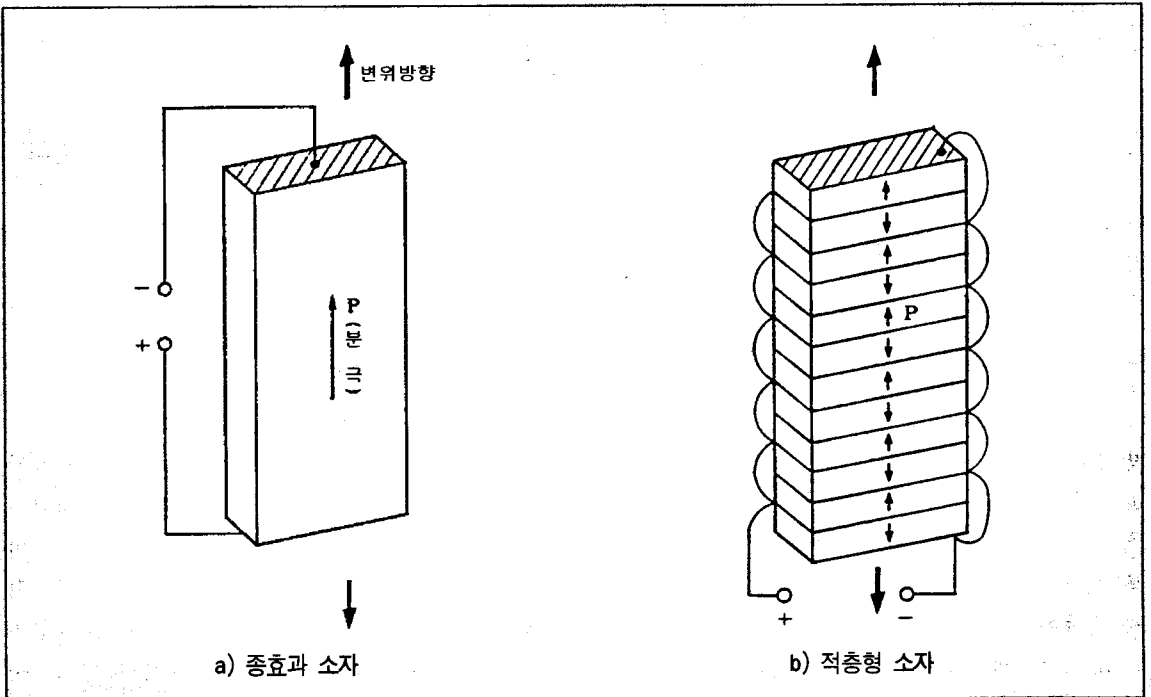


그림 2. 적층형 종효과 압전 액추에이터의 동작원리

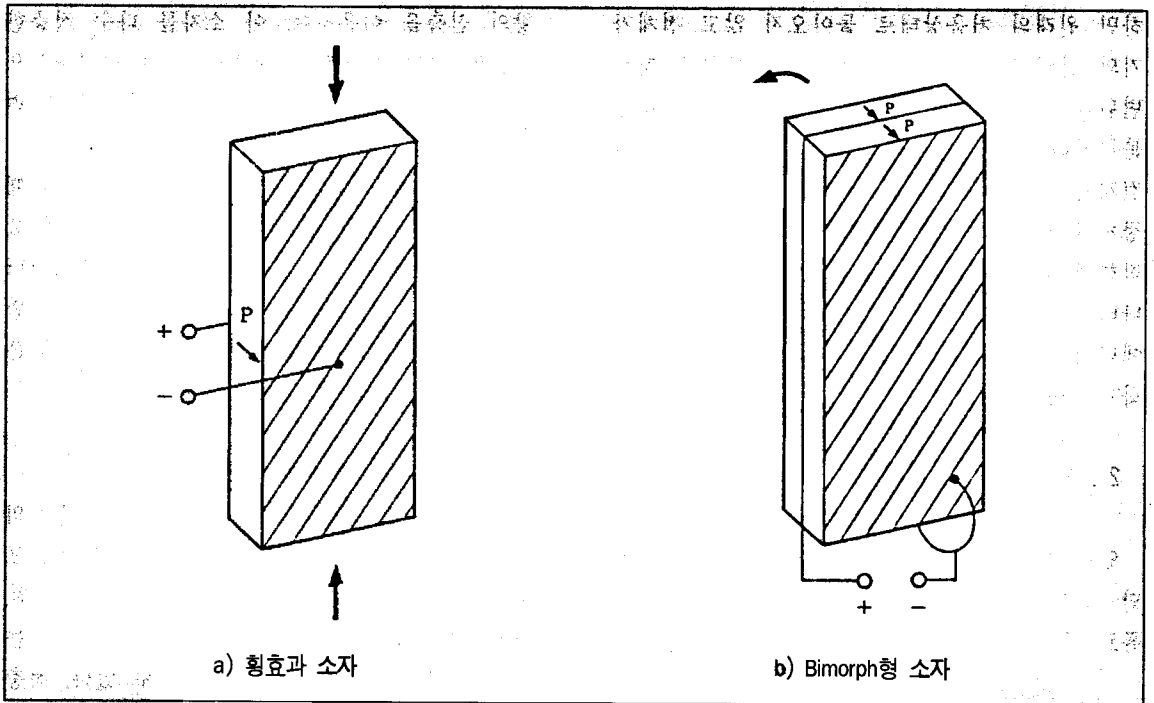


그림 3. 바이몰프형 압전 액추에이터의 동작원리

정호, S.S.S

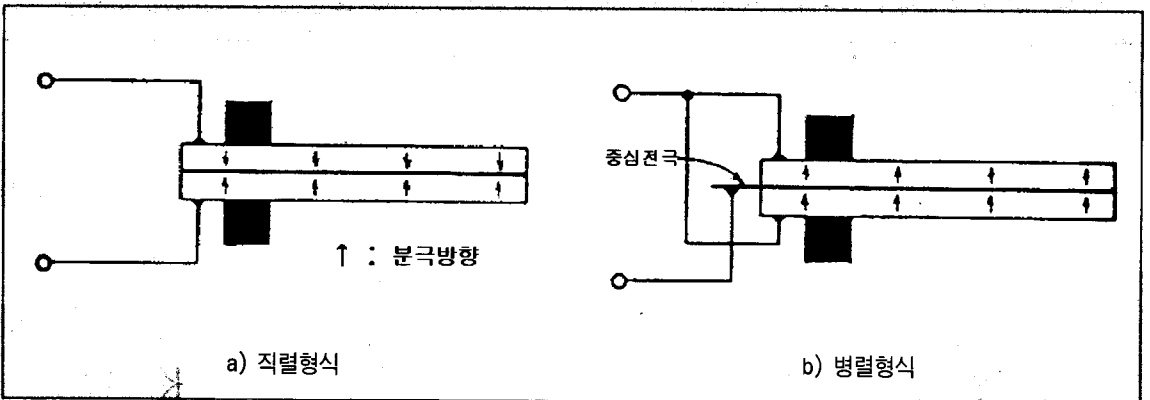


그림 4. 바이몰프형 압전 액추에이터의 종류

변형을 횡효과라고 한다. 그림 3, a)와 같이 횡효과를 이용한 바이몰프형 압전 액추에이터는 적층형보다 발생력이나 응답성은 낮지만 발생 변위가 크게됨으로 서로의 용도에 맞게 사용 또는 분류된다.

또, 압전 세라믹스에의 인가 전압방식에 따라 다시 2종류인 직렬형식과 병렬형식으로 분류될

수 있으며, 직렬형식은 두 압전 세라믹스에 각각의 극성을 부여하는 것이며, 병렬형식은 하나의 압전 세라믹스에 각각의 극성을 부여하는 것이다. 그림 4에 전압인가 방식에 따른 바이몰프형 압전 액추에이터의 종류를 나타내었고, 극성의 변화에 따라 변위방향이 변화된다는 것을 알 수 있다.

3. 압전 펌프(piezoelectric pump)의 동작원리

그림 5는 압전 펌프의 펌핑동작 원리를 보인 것으로 일반 펌프와 동일하게 체크 밸브 및 펌핑 액추에이터로 구성되어 있으나, 엔진 또는 전기모터 없이, 펌핑 액추에이터가 압전소자로 되어 있는 것이 특징이다. 여기에 사용되는 압전소자는 그 응용방법에 따라 적층형이나 바이몰프형으로 제작이 가능하지만 펌핑효과를 높이기 위하여 바이몰프형으로 하는 것이 일반적이다.

바이몰프형 압전소자는 직렬 혹은 병렬로 구성되어 있으며, 전원입력 극성 또는 세기에 따라서 수축 또는 팽창 변위를 펌프에 적용하는 것으로 바이몰프형 소자 양단에 입력전원을 끊거나, 극성을 바꾸게 되면 원래의 액추에이터는 그

림 5의 a)에서 처럼 압전 액추에이터에 입력전원이 없는 경우는 압전소자에 아무런 변화가 없지만 그림 5의 b)와 같이 압전 액추에이터에 전원을 입력하게 되면 오른쪽으로 타원형상의 변위가 발생하고, 이 때 체크밸브 X가 열려 임의 유량을 흡입한다. 유량 토출시는 입력전원이 없어지게 되어 다시 압력 액추에이터가 그림 5의 a)와 같이 되고, 체크밸브 Y를 통하여 유량을 토출하게 된다. 이와 같은 원리를 응용하여 그림 6과 같이 마이크로 펌프를 구성할 수 있다.

4. 개발전망

국내외적으로 압전재료에 대해서는 상당한 기술수준을 보유하고 있을 뿐만 아니라 지속적인 강압전재료의 개발을 위한 연구가 이루어지고

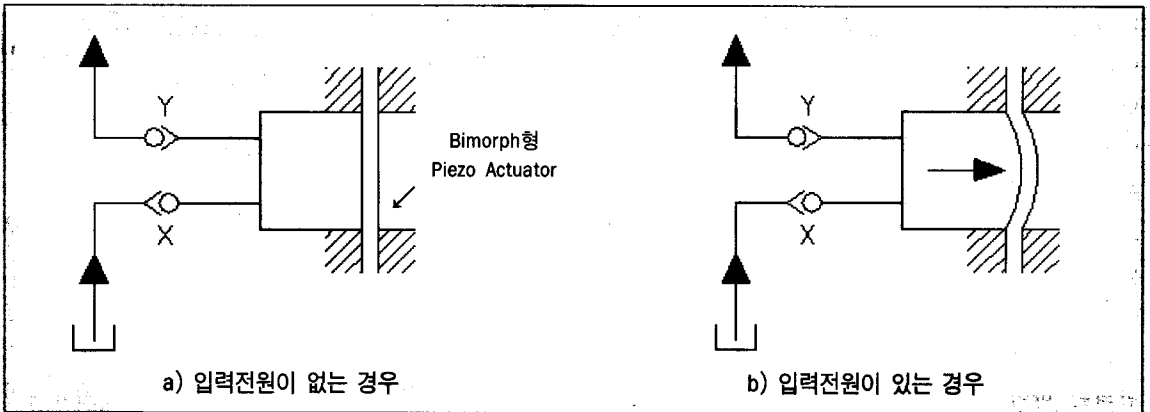


그림 5. 압전 펌프의 동작원리[X: 흡입측 체크밸브, Y: 토출측 체크밸브]

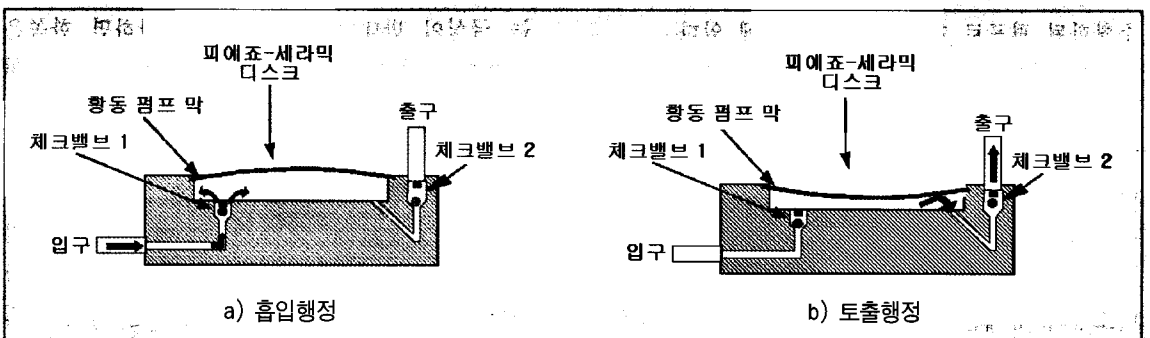


그림 6. 마이크로 펌프의 동작원리

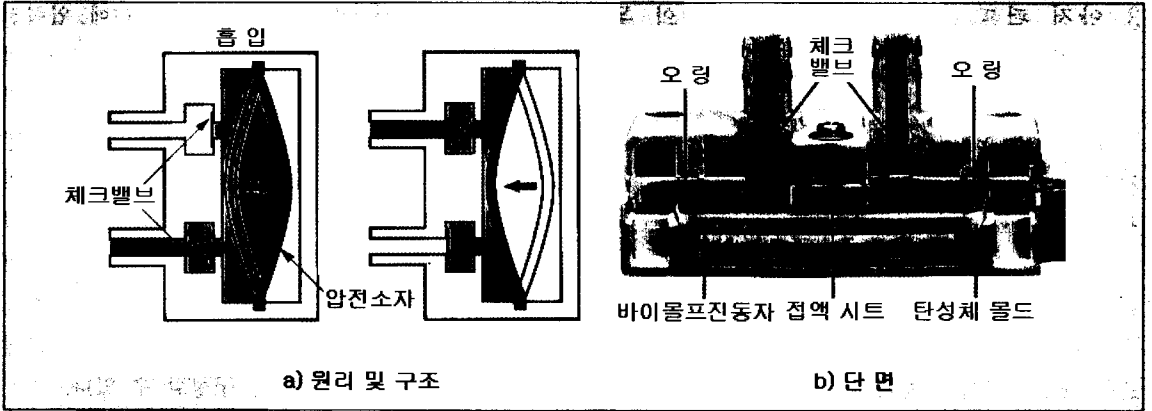


그림 7. 일본 KYOKO(極光)(주)사의 초소형 Piezo Pump

있으며, 압전 액추에이터의 성질상 변위의 크기가 20 μ m 이내이기 때문에 1회의 토출유량은 수 ml에 불과하나, 응답특성이 2kHz~10kHz에 달하기 때문에 일반펌프에서 문제로 되는 맥동이 거의 발생하지 않으며, 특히 정밀가공기, 정밀연료분사기 뿐만 아니라, 초정밀 화학분석, 인체내 약품이송 등에 매우 유용한 펌프이다. 또한 이 압전펌프는 유체나 주변환경의 온도가 변해도 압전 액추에이터의 특성이 크게 변하지 않기 때문에 기계효율이나 체적 효율의 변동이 크지 않으며 전기 입력에 따라서 구동되는 구조를 갖고 있기 때문에 매우 compact하고 소음이 거의 없는 장점을 가지고 있다.

그림 7은 현재 의료, 화학, 공작기계 용으로 시판되는 바이몰프형 압전 pump를 보이는 것으로 토출유량 30 l/min, 사용압력 4kgf/cm²이고 크기는 가로×세로×폭이 36mm×36mm×21mm이며, 초소형화된 펌프로 개발되어 시판 중에 있다.

기존 펌프는 입력과 출력측에 각각의 체크밸브를 가질 수 있으나 이런 체크밸브가 필요하지 않는 형태의 압전세라믹스 펌프가 그림 8과 같이 미 항공우주국(NASA)의 제트 추진연구소에서 1997년에 개발되었다.

이 펌프의 특징은 체크밸브를 사용하지 않고 미소량의 유체를 흡입 및 토출할 수 있는 소형 펌프이다. 압전소자에 탄성체를 진동시켜 탄성체

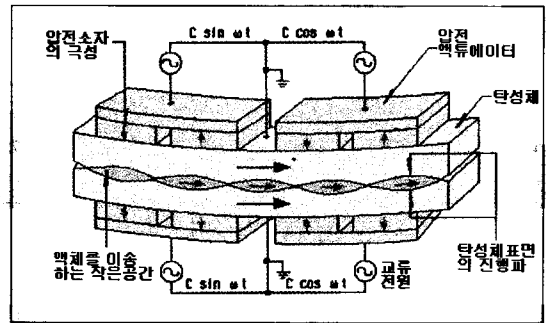


그림 8. 탄성체 진동형 압전 펌프(NASA, 1997)

표면에 일어나는 진행파로 유체를 운송하는 것으로 미소유량을 제어하면서 약액을 토출하거나, 소형분석기기의 시료를 채집하는 용도로 사용될 것이다. 개발된 펌프는 그림 8과 같이 탄성체 2장을 나열시켜 상하에 복수개의 압전 액추에이터를 부착한 구조이다. 여기서 압전 액추에이터는 이웃되는 것과 한 조가 되어 작동하며, 두 개는 극성이 반대이므로 전압을 인가하면 한쪽은 신장하고 다른 한쪽은 수축하는 것으로 펌프의 기능을 갖는다.

유체조작기기의 마이크로화는 체내의 넣는 의료기기나 초소형 화학분석 장치 등의 응용이 기대되고, 마이크로 머신기술 중에서도 특히 기대되는 분야이며, 그 중에서도 유체를 운반하기 위한 마이크로 펌프의 개발은 중요한 과제로 되고 있다.

종래의 기계적인 가동밸브를 갖는 구조에서는 마모나 피로가 문제로 대두되었으며, 또한 유량이나 흐르는 방향을 단순한 기구로써 자유롭게 제어할 수 있는 것은 거의 없었다. 마이크로 스케일의 세계에서는 유체의 점성이나 표면장력 등이 흐르는 유체에 미치는 영향이 통상의 스케일의 경우에 비해서 굉장히 크다. 이러한 유체의 성질을 적극적으로 이용함으로써 심플한 구조와 높은 신뢰성을 갖는 유체 조작기기를 실현할 수 있는 가능성이 있으며, 이런 펌프의 개발은 일본에서 진행되고 있다.

1998년에 통상산업성 공업기술원 기계기술 연구소에서 유체자신이 체크밸브로서 사용되는 양방향 마이크로 펌프가 개발되었다. 이 펌프의 기본원리를 간단히 설명하면 그림 9와 같이 물이나 에틸알콜 등의 유체의 점성은 온도가 상승하면 낮아지게 된다. 이 펌프에서는 입구와 출구 유로내의 액체를 서로 가열, 냉각하는 것으로 어느 한쪽이 다른 방향보다 흐르기 쉽게 되는 것을 이용한 것이며, 실리콘 막에 압전소자를 접착한 압전액추에이터에 의해서 압력변동을 조절하고, 고속의 반복 동작에 의해 흐름을 얻을 수 있을 뿐만아니라, 가열 시기의 변화만으로도 정·

역 방향으로 유체의 흐름을 제어할 수 있는 특징을 가지고 있다.

그 외 미국의 버클리대학과 일본의 도쿠시마 대학, 쓰쿠바대학 등에서 압전 펌프가 연구되고 있다.

5. 결 론

국내의 압전재료 개발은 한국과학기술원, 창원 대학을 비롯하여 포항산업기술연구소, 한국기계연구원, 경원패라이트 등 많은 연구자들을 통하여 이루어지고 있는 것과 같이, 압전재료의 유공압 액추에이터 적용은 생소한 분야이기도 하지만 21세기를 위한 첨단 연구분야 임에 틀림없다.

앞으로 의료기기, 화학분석장치, 최적연료분사장치, 윤활장치 등에 상당한 기여를 할 것으로 생각되며, 국내에서도 첨단 또는 신소재를 이용하여 유공압 전자 펌프, 모터 및 밸브와 같은 고부가 가치성 부품 개발에 전력하는 것이 초정밀기계산업분야의 경쟁력을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

따라서 압전 세라믹 액추에이터의 제조기술은 물론, 이 액추에이터를 이용한 적용분야의 확대기

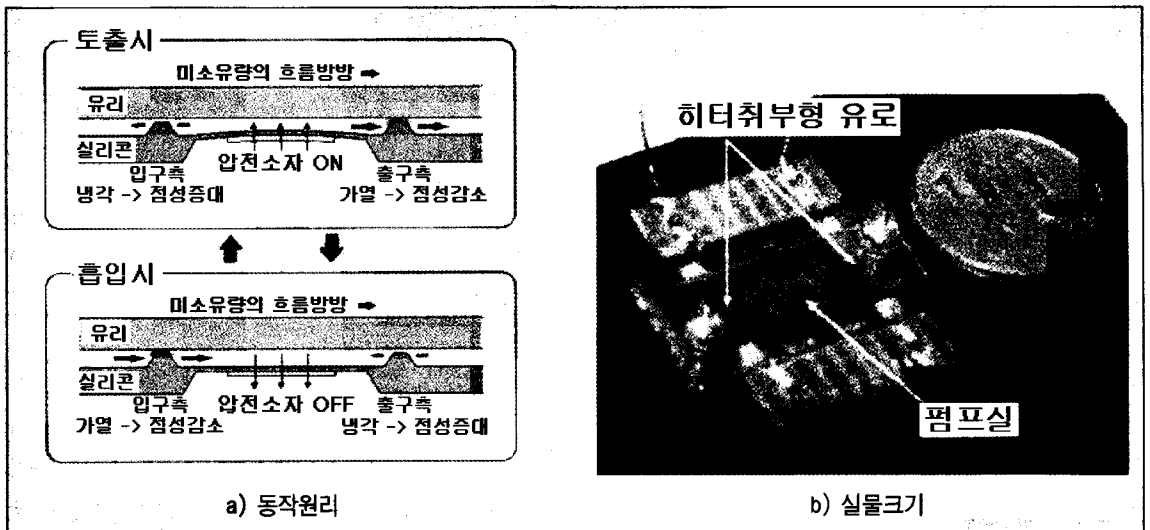


그림 9. 체크밸브 없는 초소형펌프(일본 기계기술연구소)

술이 빠른 시일내에 추진되어야 할 뿐만 아니라, 압전 소자를 이용한 마이크로 펌프의 국산화 개발은 필수 불가결한 과제라 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] S. Yokota and K. Hiramoto, "An ultra high-speed electrohydraulic servo valve by making use of a multilayered piezoelectric device(PZT)", 일본기계학회논문집(B편), Vol.57, No.533, pp.182~187, 1991.
- [2] 内野研二, "壓電/電歪アクチュエータ基礎から應用まで", (株)일본공업기술센터편, 森北出版, 1982.
- [3] M. Sasaki and H. Inooka, "Dynamic characteristic and control of a high-polymer piezoelectric actuator", 일본기계학회 논문집(C편), Vol. 57, No. 534, pp.516~520, 1991.
- [4] T. Ota, T. Uchikawa and T. Mizutani, "Printing flight hammer using multilayer piezoelectric actuator", J.J. of applied physics, 24, Supple. 24-3, pp.193~195, 1985.
- [5] 최은환외 7명, "전자 자카드 머신용 피에조 세라믹스 액츄에이터의 기본특성에 관한 실험적 평가", 한국정밀공학회 99년도 추계 학술대회논문집, pp.856-859, 1999.
- [6] H. Nakamura, "압전액츄에이터 집합체의 FEM제어시스템 개발" Tsukuba Univ. 석사학위논문, 1999.
- [7] H. Ohuchi, "壓電 アクチュエータ(解説)", 油壓と空氣壓, Vol. 23, No. 3, pp. 19 ~ 24, 1992.
- [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, pp.591~596, 1999.
- [12] 박창엽, 壓電 세라믹스, 김영사, 1987.
- [13] 김호기, 신병철, 압전·세라믹스, 반도체출판사, 1991.