

미소 유량 정밀토출을 위한 압전펌프 구성과 적용 A Piezoelectric Micropump for Microscale Pumping Systems

함영복 · 오성진 · 서우석 · 박중호 · 윤소남
Y. B. Ham, S. J. Oh, W. S. Seo, J. H. Park and S. N. Yun

1. 서론

최근 의학, 고분자 화학 분야 등에서 미소유체 이송을 위해 기존의 소형모터구동 다이어프램 펌프로부터 점점 소형화, 정밀화 하면서 고신뢰성을 확보할 수 있는 정량 토출 장치에 대한 수요가 증가하고 있다. 소형펌프는 각각의 적용분야에서 요구되는 성능 및 크기에 따라서 각각 다른 구동 원리 및 형상을 가지고 있으나 소형이면서 고출력 밀도(kw/kg)를 얻기 위하여 최근에는 압전 세라믹에 전압을 인가함으로써 생기는 기구적 변위를 펌핑에 이용하는 압전 펌프(piezoelectric pump or PZT pump)가 적합하다. 또한, 압전 펌프는 주변 환경의 온도가 변해도 압전 액추에이터의 특성이 크게 변하지 않고 효율 변동이 크지 않기 때문에 저소비 전력형이면서 고속응답성을 가지며, 소형화가 가능하고 발열이 적은 특성이 있어 기존의 소형 전동 펌프 등을 획기적으로 대체 가능하다.

압전 액추에이터는 압전소자의 역압전효과(reverse piezoelectric effect) 즉, 전계를 가하면 기계적인 변위를 발생하는 성질을 이용한 것으로서 바이몰프(bimorph), 유니몰프(unimorph), 적층형(multilayer) 등이 있으며 높은 응답성과 저소비전력의 특성이 있어 최근, 생명공학, 자동차, IT, 통신장비 등 많은 연구개발 분야에 적용되어왔다. 하지만 액추에이터에 고전압이 인가됨에도 불구하고 발생시킬 수 있는 변위는 압전소자 두께의 1000분의 1에 불과하므로 변위를 확대시키는 기술에 관련된 연구 또한 활발히 진행 중이다.

크기가 작은 압전펌프의 특성을 살리고 유체의 역류를 효과적으로 차단해주는 체크 밸브의 경우, 크기가 작으면서도 구조가 간단하고 제작이 용이하여야 한다. 이러한 체크밸브는 압전펌프의 성능을 최대한 발휘할 수 있도록 펌프실의 체적변화를 유발시키는 압전 액추에이터의 고속 왕복운동과 연동 가능한 빠른 응답성을 가져야 한다.

압전펌프는 사용 목적에 따라 토출유량, 토출압력, 소음, 맥동률이 요구조건에 잘 부합되고 구조가 간단하여 초경량, 장수명화의 특징을 가지므로 많은 소형 액체 정량이송 펌프에 사용될 수 있다.

2. 바이몰프형 압전소자를 이용한 압전펌프

2.1 바이몰프 압전 액추에이터

그림 2.1은 바이몰프형 압전소자를 이용하여 압전 액추에이터를 구성한 압전펌프의 개념도를 나타낸다.

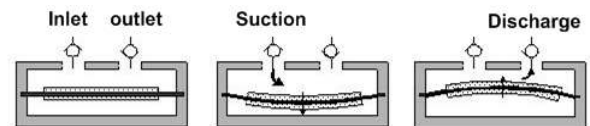


그림 2.1 바이몰프형 압전펌프의 개념도

이러한 다이어프램형 압전펌프에 있어서 압전 액추에이터의 발생 변위는 토출유량과 관련되며, 발생력은 토출압과 관련되는 특성을 가지고 있다. 그러나 토출유량을 증대하기 위해서 액추에이터의 변위를 증대시키면 발생력은 상대적으로 작아지는 경향을 나타내므로 변위와 발생력의 적절한 조화를 이루어야만 목표사양의 펌프를 구성할 수 있다.

다양한 압전 액추에이터 중 액추에이터로서의 기능과 함께 펌프의 다이어프램 역할을 동시에 수행할 수 있는 원형 바이몰프 압전소자(bimorph PZT)의 구성도를 그림 2.2에서 나타낸다.

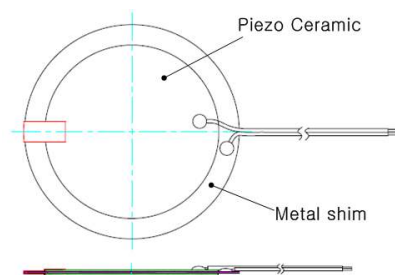


그림 2.2 원형 바이몰프 압전 액추에이터

설계된 압전 액추에이터의 발생변위는 그림 2.3에서 나타낸 바와 같이 압전 액추에이터의 테두리를 클램핑하여 상하로 왕복 구동된다.

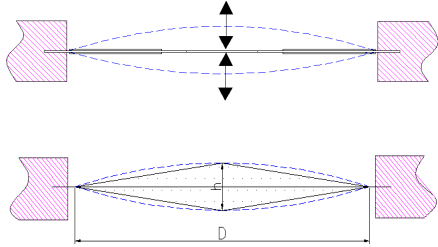


그림 2.3 압전 액추에이터의 구동 상황

여기서 압전 액추에이터의 직경을 D , 발생되는 변위를 h 라고 했을 때 그 체적 V 에 관한 식은 다음과 같다.

$$V = \frac{1}{6} \pi D^2 h \quad (1)$$

$$Q = 60 V \cdot f \text{ [l/min]} \quad (2)$$

$$h = \frac{Q}{10\pi D^2 f} \quad (3)$$

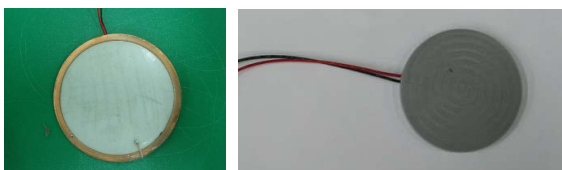
위의 식 (1), (2), (3)은 압전펌프의 목표로 하는 정격유량을 대략적으로 산출할 수 있는 기본식이 된다. 요구 유량 Q [l/min]을 토출시키기 위한 바이몰프 압전 액추에이터의 상하 최대변위 h 를 산출할 수 있다.

압전 액추에이터는 이론적으로 산출된 변위량을 갖도록 설계되어 표 2.1에서와 같은 사양으로 제작된다.

표 2.1 압전 액추에이터의 제작 사양

구분	metal shim	Piezo ceramic	molding
전체직경	φ50mm	φ45mm	φ55mm
두께	0.2mm	0.3mm	1.0mm
재질	BRASS	PZT	silicon rubber

제작된 원형 바이몰프 PZT 액추에이터는 그림 2.4에서 나타낸 바와 같다.



(a)몰딩 전 (b)몰딩 후
그림 2.4 제작된 압전 액추에이터

원형 바이몰프 타입의 PZT로 제작된 압전 액추에이터는 압전펌프의 구성품 중 구동부를 담당하는 것과 동시에 다이어프램 역할로써 펌프실(chamber)내부의 유체를 흡입 및 토출시키는 핵심요소이다. 또한, 압전 액추에이터는 펌핑액체와 직접 접촉하므로 실리콘 고무를 이용하여 몰딩해야 하며, 몰딩두께를 최대한 얇게 도포해야 구동력을 최대한 유지할 수 있다.

2.2. 압전 액추에이터의 변위 측정

원형 바이몰프형 압전 액추에이터의 발생 변위량이 이론식에서 산출된 값 이상인지를 알아보기 위해 변위 측정 장비를 이용한다. 원형 바이몰프 압전 액추에이터의 변위를 측정하기 위하여, 인가 전압은 300V_{pp}로, 입력 구동 주파수는 10Hz, 50Hz, 100Hz, 200Hz로, 측정 데이터는 입력전압과 변위량, 구동주파수와 변위량으로 측정 조건을 부여한다.

변위 측정을 위하여 표 2.2의 사양을 갖는 Laser Doppler 장비를 사용하게 되며, 장비의 사진은 그림 2.5에 나타내었다.

표 2.2 Graphtec사의 Laser Doppler 사양

구분	사양
Scan type	X-Y Galvano mirror
Scan angle	x,y-axis : about ±4°
Measurement point	Max. 10,000
Laser source	He-Ne gas laser
Velocity range	2μm/s ~ 3m/s
Sampling frequency	500Hz ~ 10MHz
Measurement speed	30 points/sec
Frequency range	0.5Hz ~ 200kHz

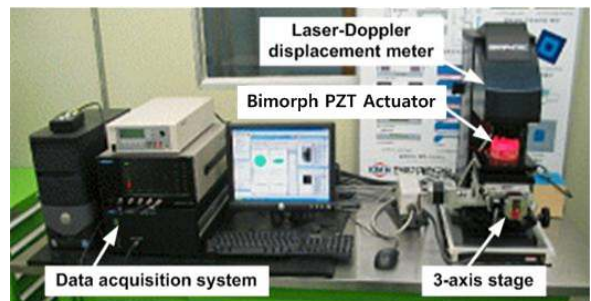
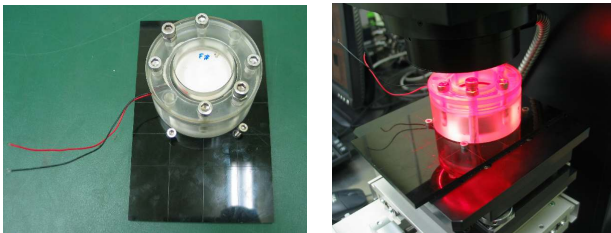


그림 2.5 압전 액추에이터 변위 측정 실험장치

그 외의 변위 측정에 사용된 입력과형 함수발생기와 전압증폭기, 압전 액추에이터의 끝단 고정용 지그는 그림 2.6과 같다.



(a) 함수발생기 및 고전압 증폭기



(b) 압전 액추에이터 고정용 지그
(c) 3-axis stage에 장착된 상태

그림 2.6 압전 액추에이터 구동앰프 및 고정 지그

압전 액추에이터의 수십~수백 마이크로 미터 정도의 변위량을 측정하기 위하여, 측정에 사용된 Laser Doppler 장비는 외부 진동과 격리되어야 하며, 압전 액추에이터의 변위 측정을 위한 Laser Doppler Setting 값은 다음과 같다.

- 가. Sampling rate :
1kHz(구동주파수 10Hz, 50Hz일때),
2kHz(구동주파수 100Hz, 200Hz일때)
- 나. Sampling time : 250msec ~ 1.024sec
- 다. Displacement range : 10^{-5} m/V @ 300V_{p-p}
- 라. PZT's measurement width : $\phi 30$ mm
- 마. Node : 40EA (circle type)

Laser Doppler 장비를 이용하여, 압전 액추에이터의 변위량과 동시에 구동 모드를 관찰하기 위하여, 측정된 각 노드 중 반경 방향의 노드를 선별하였고, 압전 액추에이터의 노드별 측정 변위값을 조합하여 구동모드를 도식화하여 나타낸 액추에이터의 구동모드는 그림 2.7과 같이 나타났다.

측정 변위량과 구동모드를 살펴보면, 구동전압의 상승에 따라 압전 액추에이터의 변위는 향상되나 구동주파수의 범위가 상대적으로 좁아지고, 고주파수로 변조될 때 발생하는 노이즈가 액추에이터의 수명을

낮추어 신뢰성을 떨어뜨린다. 또한, 압전 액추에이터의 발생 변위를 정밀 측정함으로써, 압전펌프의 용량 및 펌프실의 설계 시 중요 데이터로 활용되었다.

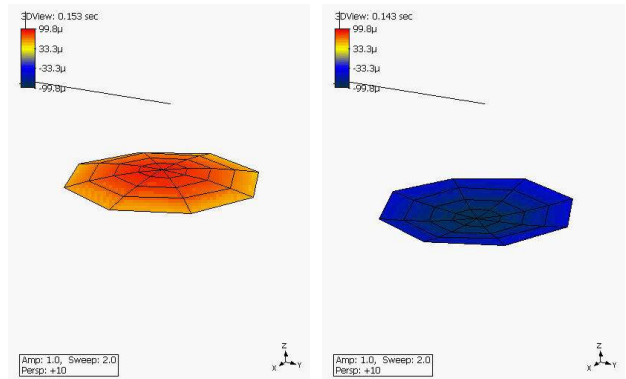


그림 2.7 압전 액추에이터의 구동모드

실리콘 고무로 몰딩된 원형 바이몰프 PZT 액추에이터를 입력전압 300V_{p-p}, 구동주파수 100Hz로 구동하여 측정된 출력변위를 나타내면 그림 2.8과 같다.

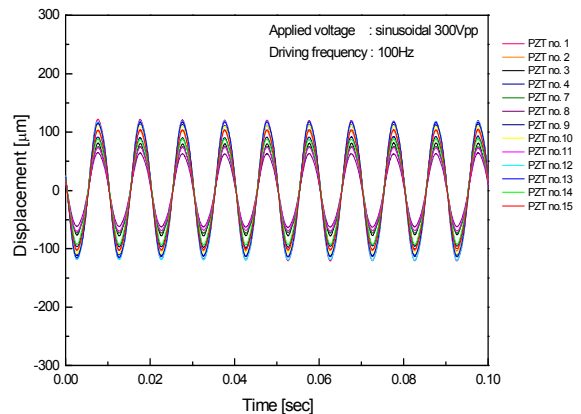


그림 2.8 실리콘 고무로 몰딩된 압전 액추에이터의 변위

2.3 박판형 체크 밸브

압전펌프의 흡입과 토출포트에 설치되어 역류를 방지하고, 압전 액추에이터의 고속 운동에 연동 가능한 박판의 체크밸브를 설계하면 그림 2.9와 같은 형상으로 된다.

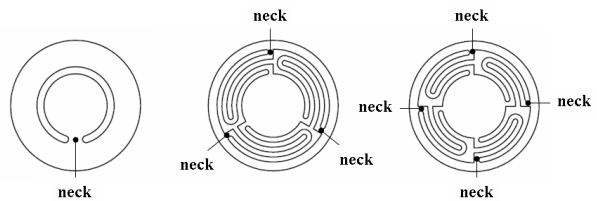


그림 2.9 압전 펌프용 체크 밸브의 모양

설계된 체크 밸브는 압전펌프의 밸브 시트에 부착되어지는 고정면(fixed plane)과 입출구 포트에 위치하여 작동유체의 유입 및 토출을 담당하는 구동면(driving plane), 구동면과 고정면 사이에서 밸브의 개폐방식을 결정하는 목(neck)으로 구성되어 있다. 설계된 체크 밸브는 박막형으로 두께가 80 μ m이고, 전체 크기는 ϕ 18.5mm 이며, 구동면의 크기는 ϕ 9mm 이다. 또한, 체크 밸브의 개폐방식에 있어서 힌지방식으로 목이 1개인 1목형 밸브와 축방향 개폐방식의 목이 3개인 3목형, 동일한 방식에 목이 4개인 4목형의 체크 밸브를 설계하였다. 설계된 체크 밸브는 개폐방식의 차이와 목의 개수로 인한 강성의 변화로 인하여 압전펌프의 토출 유량 및 압력에 영향을 미치게 된다.

설계된 체크 밸브는 80 μ m의 얇은 박막 SUS304로 일반 가공으로는 찢어지거나 가공오차가 클 것으로 예상되어, 에칭(etching)공정을 이용하여 제작되었으며 그림 2.10은 제작된 체크 밸브를 나타낸다.



그림 2.10 제작된 체크 밸브

제작된 체크 밸브는 밸브 시트에 안착시키는 것과 씰링을 위하여 고무 O-ring을 이용하며, 각각의 체크 밸브를 압전펌프에 적용하여 밸브의 형상에 따른 토출 압력 및 유량 특성을 살펴보면, 각각의 체크 밸브는 동일한 크기와 두께를 가지며, 개폐방식의 차이와 목의 개수에 의한 강성의 변화에 의해 압전펌프의 토출특성에 영향을 미치게 된다.

2.4 바이몰프형 압전펌프 시작품 제작

바이몰프형 압전소자를 구동원으로 이용한 압전펌프를 구성하기 위하여 실리콘 몰딩된 바이몰프 압전액추에이터와 체크밸브를 보다 소형화 및 슬림(slim)한 구조로 하고 토출 유량과 압력을 증대시키기 위하여 전체 펌프 챔버의 높이 및 압전 액추에이터의 실리콘 몰딩 기법 등을 변화 시켰다.

디스크 타입의 바이몰프 압전소자는 중앙의 메탈 심에 상하로 압전세라믹을 접착하여 전계가 가해지

면 상하로 휘는 구조로 되어있고, 유체와 직접적인 접촉을 하는 구동부로서 압전소자의 실링을 위하여 실리콘 몰딩을 하여 절연시켰다. 설계된 압전펌프는 유체의 유입 및 토출을 담당하는 입출구 포트와 체크 밸브, 체크 밸브가 안착이 되는 밸브시트, 흡입된 유체를 가압하여 외부로 토출 시키는 압전 액추에이터, 펌프실로 구성되어 있다.



그림 2.11 바이몰프 압전펌프의 구성품

제작된 압전펌프 시작품의 특성평가를 위하여 그림 2.12와 같은 실험장치가 구성된다.

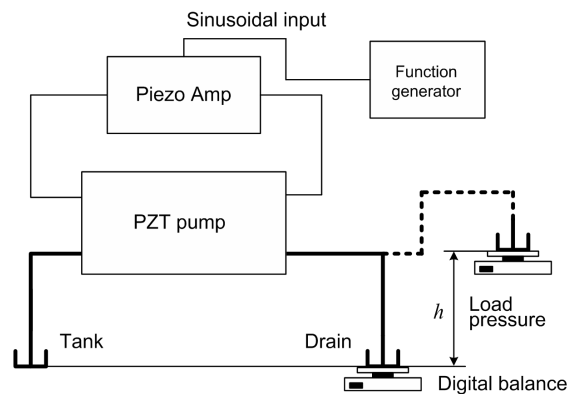
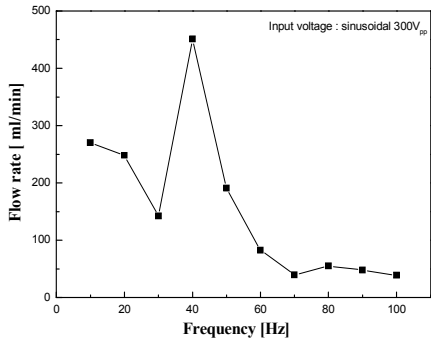
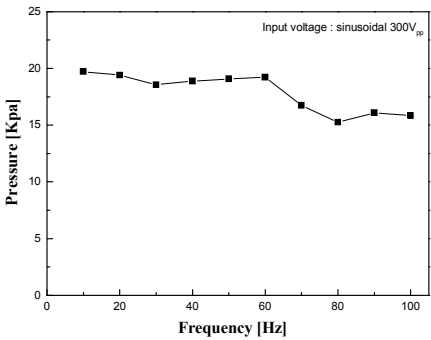


그림 2.12 압전펌프 토출특성 특성평가 장치

함수발생기를 통하여 압전펌프에 주파수를 인가하고, 고전압 증폭기를 사용하여 300V_{p-p}의 전압을 정현파로 인가하여, 구동주파수 변화에 따른 최대 토출 유량은 구동주파수 40Hz에서 450ml/min가 얻어졌으며, 최대 토출압력은 20kPa을 측정하였다.



(a) 무부하 토출유량



(b) 최대 토출압력

그림 2.13 바이몰프 압전펌프 토출특성

3. 적층형 압전소자를 이용한 압전펌프

3.1 두 개의 체크밸브를 이용하는 적층형 압전 액추에이터 구동 압전펌프

소형이면서 큰 발생력을 갖는 적층형 압전소자 (multilayer PZT)를 구동원으로 이용하는 소형 압전 펌프의 구조는 적층형 압전 액추에이터, 다이어프램, 체크밸브 및 하우징으로 구성되어 있으며, 인가전압에 따라 발생하는 적층형 압전 액추에이터의 길이방향 변위에 의해 박막의 금속 다이어프램을 구동시켜 액체를 흡입/토출하는 펌핑 메커니즘이다.

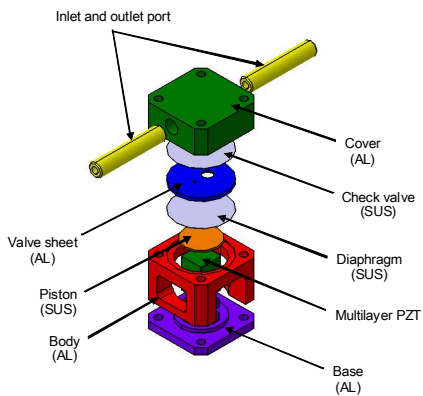


그림 3.1 적층형 압전펌프의 구조

고압·미세정량 토출특성을 갖도록 적층형 압전 액추에이터를 이용한 다이어프램 구동방식 펌프 메커니즘은 그림 3.1과 같다.

표 3.1 적층형 압전펌프의 사양

구분	사양
체크밸브	SUS304, 외경φ15 mm, 두께 20μm
다이어프램	SUS304, φ15 mm, t 20 μm
피스톤	SUS304, φ10 mm, t 500 μm
압전 액추에이터	Multilayer PZT (Piezomechanik社) size : W5×L5×H9 [mm] Max. Displacement : 15 μm

펌프의 구동 액추에이터로서 소형이며 고압의 토출성능을 갖는 Piezomechanik社의 Multilayer PZT를 구입하여 사용하였다.

펌프의 토출압력, 유량특성에 영향을 미치는 체크밸브는 외경 φ2.06 mm, 포트부 외경 φ1.06 mm, 두께 20μm 인 3목적 체크밸브를 한 장의 원판에 형성시켰다.

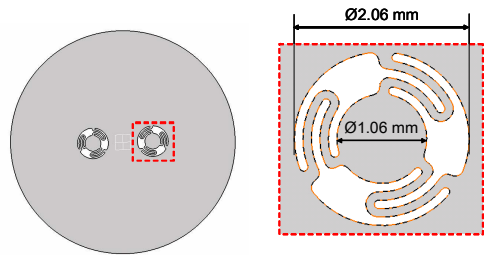


그림 3.2 박막형 체크밸브의 구조



그림 3.3 에칭으로 제작된 체크밸브 형상

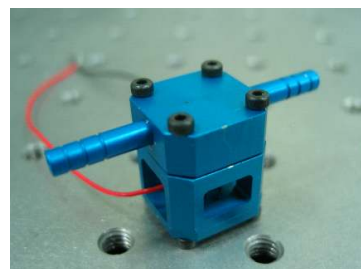


그림 3.4 두 개의 체크밸브를 이용한 적층형 압전펌프 시작품

두 개의 체크밸브를 이용한 적층형 압전펌프의 전체 크기는 W18mm×L18mm×H20mm이고, 재질은 알루미늄(외형)과 SUS(다이어프램, 피스톤, 체크밸브)로 제작되었다.

적층형 압전액추에이터의 변위특성을 알아보기 위해서 그림 2.5와 같은 Laser Doppler 면진동 측정기(AT7500, Graphtec co. Ltd.)를 이용하여 구동전압 및 구동주파수에 따른 압전 액추에이터의 변위량을 측정하면 그림 3.5와 같다.

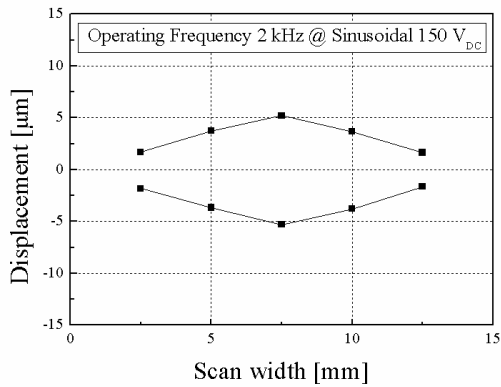
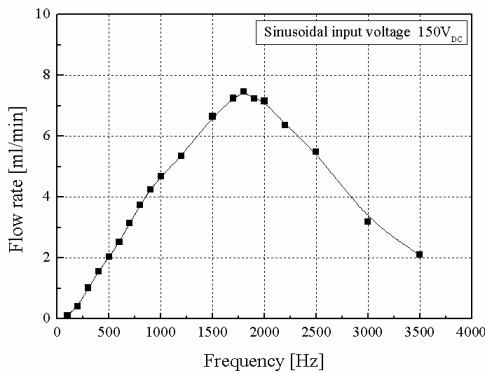
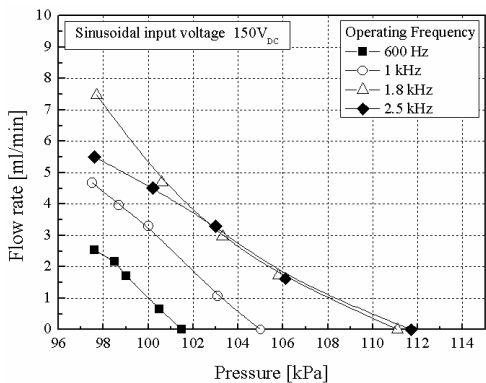


그림 3.5 변위측정 결과



(a) 무부하(주파수-유량) 특성



(b) 부하(압력-유량) 특성

그림 3.6 적층형 압전펌프 특성실험 결과

적층형 압전 액추에이터의 변위측정 결과, 입력전압 정현파 150V_{pp}, 구동주파수 2kHz에서 구동 액추에이터에 의한 다이어프램의 최대변위 10.5μm 발생하였다.

인가전압 150V_{pp}의 정현파, 작동유체는 Tap Water로, 구동주파수 변화(100Hz~3.5kHz)에 따른 공급펌프 시작품의 토출특성을 실험한 결과, 구동주파수 1.8kHz에서 최대 7.5ml/min의 유량발생이 있으며, 동일 주파수에서 무부하 최대압력은 111kPa(게이지압)의 압력특성을 나타내었으며, 그림 3.6에 나타난 바와같이 1.8kHz까지는 구동주파수를 조절함으로써 펌프의 토출유량 조절이 가능하다.

3.2 단일 체크밸브를 이용하는 적층형 압전펌프

앞서 소개된 바이몰프형 압전펌프는 압전소자의 변위가 크므로 많은 유량을 토출할 수 있으나, 힘이 약하므로 토출압력을 높일 수 없으므로, 두 개의 체크밸브를 장착한 적층형 압전소자를 이용한 펌프보다 토출압력을 높일 목적으로 구성되었다. 그러나 적층형 압전소자는 고주파로 구동되므로 체크밸브를 더욱 소형화 하여야하고 흡입측 한 개만 체크밸브를 적용한 형태로 설계하였다.

제작된 압전펌프는 Multilayer PZT, Single check valve, Piston embedded diaphragm, Inlet/Outlet port, Valve sheet 등으로 구성되었다.

표 3.2 제작된 압전펌프의 치수

구분	사양
전체 크기	L25 × W25 × H53 mm ³
챔버 높이	300 μm
다이어프램	φ 17 mm, t 100 μm (SUS)
Single 체크밸브	φ 15 mm, t 20 μm (SUS)
압전 액추에이터	Maker : Piezomechanik社 size : φ 12 mm, L 28 Max. Displacement : 20 μm

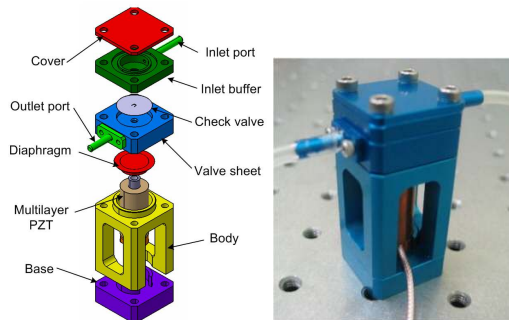


그림 3.7 단일 체크밸브를 이용하는 적층형 압전펌프의 구조

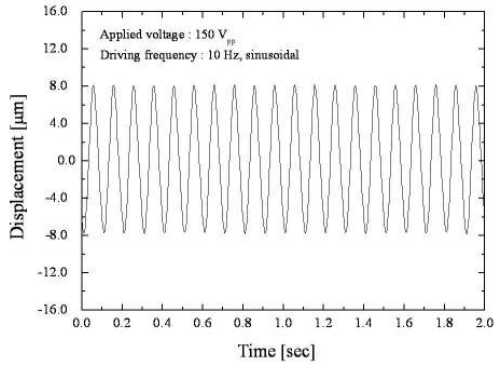


그림 3.8 적층형 압전 액추에이터의 변위측정 실험 결과

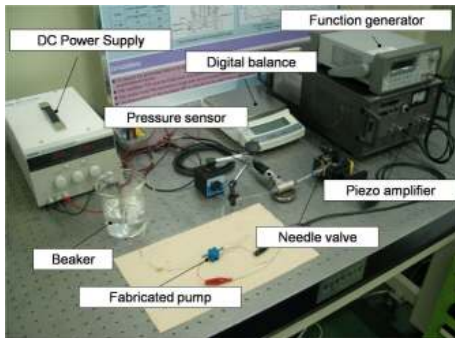
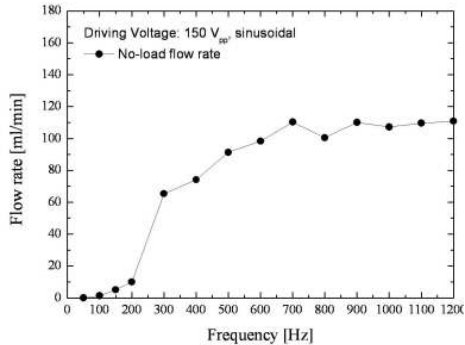
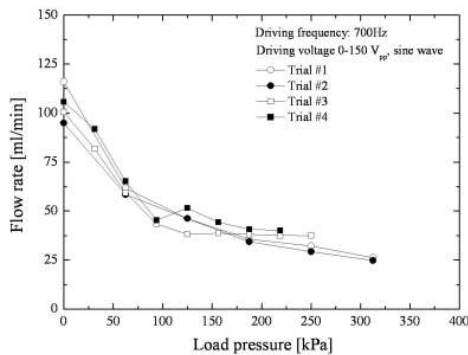


그림 3.9 적층형 압전펌프 특성 실험 장치



(a) 무부하(주파수-유량) 특성



(b) 부하(압력-유량) 특성

그림 3.10 흡입 측에 한 개의 체크밸브를 갖는 압전 펌프 특성실험 결과

적층형 PZT를 구동전압 0 to 150V 정현파, 구동 주파수 10Hz로 변위 측정해본 결과 최대변위는 20 μ m, 발생력은 1800N이었다.

제작한 압전펌프의 특성을 평가하기 위하여 그림 3.9과 같이 전압증폭기, 함수 발생기, 압력 센서, DC 전원 공급 장치, 전자저울 등의 실험 장치를 구성하였다.

정류된 탈이온수를 사용하여 구동전압 150V_{pp} 정현파, 구동주파수 700Hz 일때, 무부하유량 110 ml/min, 최대 토출압력은 350 kPa의 압전펌프 시제품 특성 실험결과를 그림 3.10과 같이 얻었다.

4. 결 론

이러한 소형 정량토출 가능한 압전펌프는 액체냉각모듈의 냉매 순환용, 연료전지의 개질기 이온수 공급용 소형펌프로 개발되었고, 빠른 응답성과 저소비 전력, 온도변화와 유체변화에 안정적인 압전소자를 이용한 압전액추에이터와 고속 동작 특성을 갖는 시트형 체크밸브로 구성된 저소비전력형 압전펌프가 개발되었다.

이러한 소형 정량토출 압전펌프는 기계분야뿐만 아니라, 미세유체 시스템, 생명공학, 의료분야, 화학분야 등으로 응용이 가능하다.

압전펌프의 펌핑챔버의 크기변화와 압전 액추에이터의 크기, 펌프 하우징의 전체크기에 따른 특성변화와 유체의 흡입·토출에 따른 압전소자의 모드변화, 체크밸브의 주파수 특성 등을 실험하고 고전압·고발열 전자장비에 액체냉각모듈로 실장 하여 시스템의 방열성능을 획기적으로 개선시킬 수 있을 뿐만 아니라 마이크로 유압동력을 발생시키는 펌프로도 유용하게 적용될 가능성이 높다.

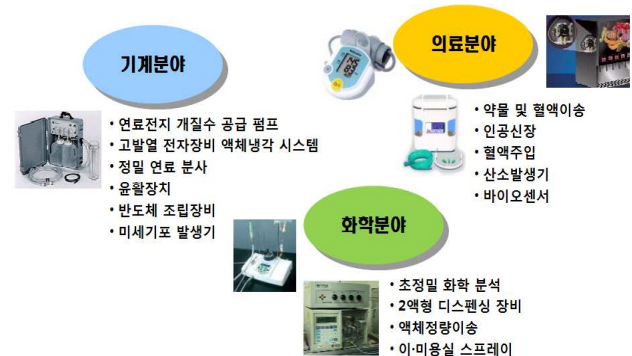


그림 4.1 압전펌프의 응용분야

참고 문헌

- 1) Intel Pentium 4 data sheet.Tech. Rep [Online], Available: <http://developer.intel.com>.
- 2) J. Lee, "A Macro Cooling Solution With Micro-Nano Technology", LED Seminar2006, LEDExpo, 2006.
- 3) William S. Oates, Lisa D. Mauck and Christopher S. Lynch, "PZT piston driven hydraulic pump development", IEEE International Symposium an Applications of Ferroelectrics, 2, 733-736, 2000.
- 4) Xing Yang, Zhaoying Zhou, Hyejung Cho and Xiao Luo, "Study on a PZT-Actuated Diaphragm Pump for Air Supply for Micro Fuel Cells", Sensor and Actuators, 130-131, 531-536, 2006.
- 5) Y. Ham, J. Song, S. Yun and K. Ahn, "Fabiactions and Experiments of PZT PUMP for Cooling water Circulation in 1kW PEMFC System", ICE-2005, International Conference, 2005.
- 6) Vishal Singhal, Suresh V Garimella and Arvind Raman, "Microscale Pumping Technologies for Microchannel Cooling Systems", American Society of Mechanical Engineers, 57, 191-221, 2004.
- 7) J. Juuti and K. Kordas, "Mechanically amplified large displacement piezoelectric actuators," Sensors and actuators, Vol. 120, Issue 1, pp. 225-231, 2005.
- 8) J. H. Park, S. Yokota and K. Yoshida A Piezoelectric Micropump Using Resonance Drive with High Power Density", JSME International Journal, Vol. 45, No. 2, Series C, pp. 502-509, 2002.
- 9) E. Meng, et al, A Check-valved Silicone Diaphragm Pump." Proc. of the MEMS'00, pp. 62-67, (Caltech, USA), 2000.
- 10) J. H. Park, K. Yoshida, S. Yokota, T. Seto, K. Takagi, Y. B. Ham and S. N. Yun, Resonantly-Driven Piezoelectric Micropumps Using Active Check Valves", Proceedings of the ACTUATOR2004, pp. 557-560, June 2004.

[저자 소개]



함영복

E-mail : hyb665@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7157

1965년 10월 23일생

1987년 금오공과대학교 기계공학과 학사, 1990년 동 대학원 석사, 2003년 동 대학원 박사, 2004년 동경공업대학 정밀공학연구소, 1990년~현재 한국기계연구원 책임연구원, 관심 연구분야는 유압 피스톤 펌프 및 모터, 수압 피스톤 펌프, 압전소자 응용 펌프 및 노즐. 대한기계학회, 한국정밀공학회, 유공압시스템학회 회원, 공학박사

[저자 소개]



오성진

E-mail : tackjil@hanmail.net

Tel : 042-868-7057

1978년 5월 16일생

2005년 한남대학교 고분자공학과 졸업, 2008년 11월 (주)하이블루텍 입사, 2009년 2월~현재 한국기계연구원 에너지기계연구실 파견근무

[저자 소개]



서우석

E-mail : wosseo@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7168

1974년 8월 25일생.

2000년 울산대학교 자동차공학 전공 석사 과정 졸업, 2002년~2003년 동경공업대학 정밀공학연구소 연구생, 2003년~2006년 메카노마이크로공학전공 박사과정 졸업, 2006년~2009년 5월 한국기계연구원 에너지기계연구실 선임연구원, 스마트 재료 및 기능성유체 응용기술 연구에 종사. 한국정밀공학회, 대한기계학회 등의 회원, 공학박사

[저자 소개]



박중호

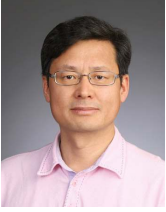
E-mail : jhpark@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7607

1968년 6월 19일생

1999년 Tokyo Institute of Technology 정밀기계시스템 전공 박사과정 졸업, 1999년 Tokyo Institute of Technology 정밀공학연구소 Assistant Prof., 2004년 한국기계연구원 입사, 2009년~현재 한국기계연구원 선임연구원, 마이크로 유체 제어 시스템, 스마트 액추에이터 및 센서 응용 연구에 종사, 대한기계학회, 한국정밀공학회, 유공압시스템학회 회원, 공학박사

[저자 소개]



윤소남

E-mail : ysn688@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7155

1963년 7월 29일생

1990년 부경대학교 기계공학부 석사, 1994

년 동 대학원 박사과정 졸업, 2005년 어빈

대 마이크로나노시스템/재료연구실 객원연

구원, 1994년~현재 한국기계연구원 책임연구원, 스마트 액추에이터, 유공압밸브 및 에너지 수확기 개발 연구에 종사, 유공압시스템학회, 대한기계학회, 동력기계공학회, 한국정밀공학회, 일본유공압시스템학회 등 회원, 공학박사