

다수 개 디스크 PZT 를 이용한 밸브리스 압전펌프의 연동구동 파형에 관한 연구

함영복*, 박중호, 윤동현, 김한석 (한국기계연구원)

A study on the peristaltic waveform of valveless PZT pump using disk type multi PZTs

Y. B. Ham, J.- H. Park, D. H. Yun, H. S. Kim (KIMM)

ABSTRACT

For application to micro fluid control systems such as μ TAS (Micro Total Analysis Systems) and DDS (Drug Delivery Systems), it is very significant to handle precise and minute flow rates with low pressure pulsation. In this study, a novel valveless piezoelectric pump using peristaltic motion with three disk type PZT actuators is presented. The newly devised pump with an effective size of 70mm×60mm×55mm has three actuator layers connected in series from inlet to outlet. The PZT actuator has a maximum displacement of 240 μ m and a maximum force of 1.6 N. When the driving voltage for PZT actuators is sequentially applied with a certain phase shift, the pumping is performed by peristaltic motion of liquid volume. The working fluid is shut off without the driving voltage. Three methods for sequential driving are proposed and experimentally investigated. First and second methods utilize an intermittent sinusoidal waveform with phase shift of 90° and 120°, respectively. Third method uses a rectangular waveform with phase shift of 90°. A controller with multi-phase shifter is designed and fabricated. Then, frequency and voltage-flow rate characteristics and load pressure-flow rate characteristics are experimentally investigated to verify the validity of the developed pump.

Key Words : PZT(압전세라믹), Valveless(밸브리스), Piezoelectric pump(압전펌프), Peristaltic waveform(연동파형), Phase shift(위상시프트)

1. 서 론

최근 첨단 산업분야에서 분자 제어장치, 고정밀 치료기구 등에 액체의 유선 파괴없이 연속적으로 정밀 이송이 가능한 펌프가 요구되고 있다. 또한 점차 정밀화 소형화 됨에 따라 적은 양의 유체를 정량적으로 이송 또는 공급하기 위해 맥동이 적은 펌프가 요구되고 있다. 이러한 펌프는 정밀하고 낮은 압력 맥동으로 유량과 정밀 조정이 매우 중요한 μ AS(Micro Total Analysis Systems) 와 DDS(Drug Delivery Systems)에 응용된다.^{1,2}

종래의 기계적인 가동밸브를 갖는 구조에서는 밸브운동부의 마모나 파괴에 의한 문제가 발생된다. 또한 유량의 흐름 방향을 단순한 기구로 자유롭게 제어할 수 있는 밸브는 찾아보기 어렵다. 이에 유체의 점성이나 표면장력 등의 유체의 고유 성질을 적극적으로 이용함으로써 간단한 구조로 높은 신뢰성을 갖는 유체조작기구를 실현할 수 있는 가능성이 있다.³

본 연구에서 정의된 밸브리스 압전펌프의 연동구

동 파형은 기존의 체크밸브에 의한 맥동특성을 개선할 뿐만 아니라, 펌프의 저소음 운전이 가능하며 양방향 유동이 가능하다. 펌핑 액추에이터로서는 디스크형 PZT 액추에이터 세 개를 연동구동 하도록 하였다.

2. 본 론

2.1 밸브리스 압전펌프의 구성

밸브리스 압전펌프는 체크밸브 없이도 흡입과 토출을 디스크 PZT 액추에이터의 연동 운동에 의해 단속할 수 있어서 구조를 간단히 할 수 있으며, 부품수가 적으므로 고장이나 수리가 자주 발생하지 않을 뿐만 아니라 체크밸브가 동작하는 소음이 없으므로 저소음화를 실현할 수 있는 효과가 있다.

Fig. 1 과 같이 원형 PZT 액추에이터 3 장을 사각의 케이스 내에 각각 적층하여 결합한다. PZT 액추에이터는 얇은 황동판 양면에 PZT 를 접착시키고 유체와의 접촉을 막기 위해 다이어프램(diaphragm)

형태로 실리콘 몰드(mold)되어 압축과 팽창으로 상·하 휨 운동을 하며 유량을 펌핑(pumping)하게 된다. 사각 케이스 내에는 유체를 유입 및 토출 할 수 있는 유로를 형성시키고 마지막 액추에이터 케이스에는 첫 번째 액추에이터 케이스까지 직접 연결될 수 있도록 유로를 형성시켜 흡입포트와 토출 포트가 나란히 배치 될 수 있도록 하였다.

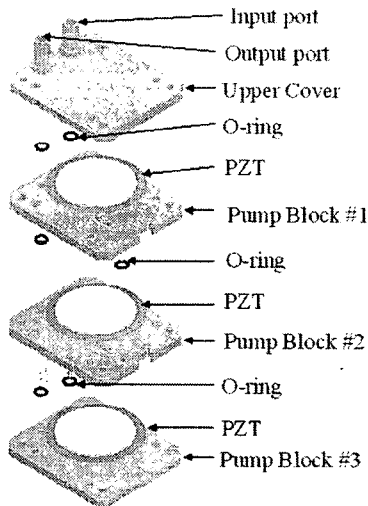


Fig. 1 3-D Modeling of valveless PZT pump

2.2 PZT 액추에이터 설계

압전펌프에 있어서 PZT 액추에이터의 발생 변위는 토출 유량과 관련되며, 발생력은 토출압과 관련되는 특성을 가지고 있다. 그러나 토출유량을 증대하기 위해서 액추에이터의 변위를 증대시키면 발생력이 상대적으로 작아지는 경향을 나타내므로 변위와 발생력이 적절한 조화를 이루어야만 펌프 토출을 유용하게 할 수 있다. Table 1 은 PZT 액추에이터 설계로 제작된 바이몰프의 사양이다.

Table 1 Specifications of PZT Bi-morph

Classification	Shim	PZT
Diameter [mm]	50	45
Thickness [mm]	0.2	0.3
Materials	Brass	Ceramics

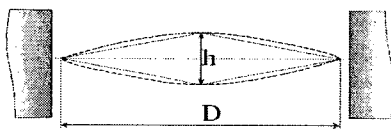


Fig. 2 Motion of disk type bi-morph PZT actuator

Fig. 2 는 설계된 PZT 액추에이터의 운동을 나타낸 것이다. PZT 운동에 의한 펌프실 용량 변화의 체적 V 에 관한 식은 다음과 같다.

$$V = \frac{1}{6 \times 10^{-5}} \pi D^2 h [cm^3] \quad (1)$$

$$Q = 60 V \cdot f [ml/min] \quad (2)$$

$$h = \frac{10^{-4} Q}{\pi D^2 f} [\mu m] \quad (3)$$

여기서 D = 압전 액추에이터의 직경 [mm], Q = 분당 토출유량 [ml/min], h = PZT 중앙부 상·하 휨 최대변위 [μm], f = 가동주파수 [Hz] 이다.

이들 수식으로부터 알 수 있듯이, 목표로 하는 토출유량 Q 를 얻기 위해서는 주어진 구동 주파수 f 와 PZT 직경 D 일때 PZT 의 상·하 휨 변위는 식 (3)과 같이 되어야 함을 수식적으로 알 수 있다

2.3 멀티 연동 제어장치 설계

밸브리스 압전펌프 구동에 있어서 각각의 PZT 액추에이터가 순차적으로 연동하여 동작을 해야만 유체의 역류 없이 정상적인 펌핑동작을 할 수 있다.^{4,5,6,7} 펌프의 특성은 각 PZT 액추에이터에 입력되는 전압의 위상에 따라서 그 특성이 변화한다.

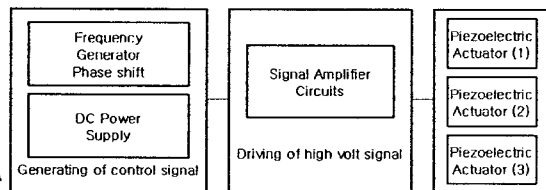


Fig. 3 Block diagram of high voltage driving unit with the peristaltic waveform

Fig. 3 은 밸브리스 압전펌프용 구동회로의 구성도이다. 구동 주파수 발생과 위상차를 조절하는 제어 신호 발생부와 이 신호를 각각의 PZT 액추에이터에 위상이 지연된 신호를 증폭하기 위한 고전압 구동기와 증폭된 신호를 입력받아 구동하는 PZT 액추에이터부로 구성된다. 제어신호 발생부는 구동 전압과 주파수를 3 개의 채널로 임의의 특정 위상 지연된 신호로 순차적으로 제어하고 위상차를 가변할 수 있는 신호를 만들어 내는 역할을 한다. 고전압 구동부는 구동 전압을 증폭하여 PZT 액추에이터가 구동할 수 있도록 전압을 인가한다. PZT 액추에이터부는 상·하 휨 운동으로 순차적인 흡입과 토출을 하면서 유체를 이송시킨다.

2.4 밸브리스 압전펌프의 연동구동 파형정의

Fig. 4 는 밸브리스 압전펌프내에서 PZT 액추에이터 운동에 의한 유체 흐름도를 나타내고 있다. 3 개의 PZT 액추에이터를 연동시켜 구동하는 원리로 제 1 동작 모드는 흡입 측으로부터 첫 번째 PZT 액추에이터가 변위를 일으켜 유체를 흡입하고, 제 2 동작 모드에서 두 번째 PZT 액추에이터가 정지해 있다가 첫 번째 PZT 액추에이터의 흡입이 끝난 시

점에서 변위를 시작한다. 제 3 동작 모드에서 두 번째 PZT 액추에이터가 흡입이 끝나는 시점에서 정지해 있던 세 번째 PZT 액추에이터가 변위를 시작하게 된다. 즉, 각각 PZT 액추에이터 변위에 의해 발생된 공간에 유체가 유입되어 출구 쪽으로 밀려 토출하게 된다. Fig. 5 는 본 연구에서 Fig. 4 의 유체 흐름도를 토대로 연동구동 파형을 정의 하였으며, (a) 120° 위상차를 갖는 정현파형, (b) 90° 위상차를 갖는 정현파형, (c) 90° 위상차를 갖는 사각파형의 3 가지 파형을 설정하였다.

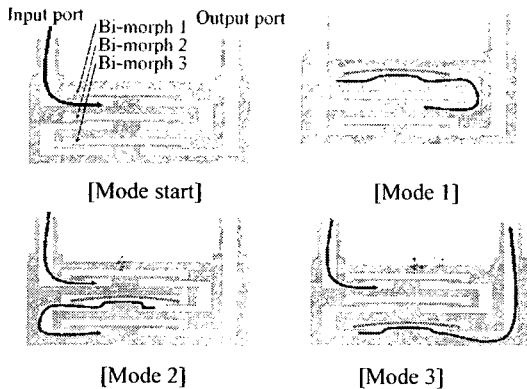


Fig. 4 Internal fluid flow passage of valveless PZT pump

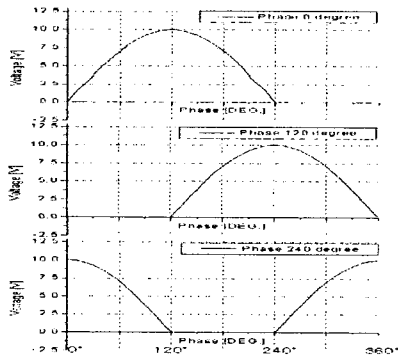


Fig. 5 (a) Sinusoidal waveforms with phase shift of 120°

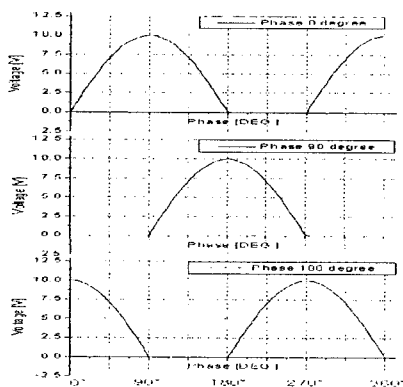


Fig. 5 (b) Sinusoidal waveforms with phase shift of 90°

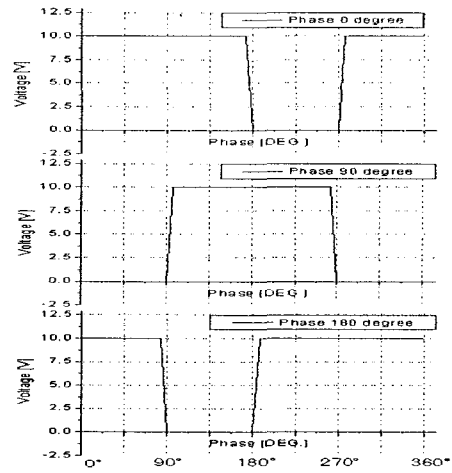


Fig. 5 (c) Rectangular waveforms with phase shift of 90°
Fig. 5 Define of peristaltic waveform

2.5 연동구동 파형을 이용한 압전펌프 특성 실험

앞서 정의된 3 가지 연동구동 파형을 제작된 밸브리스 압전펌프의 특성 평가 실험에 적용하였다. Fig. 6 은 연동구동 파형을 적용한 밸브리스 압전펌프 특성실험장치 사진이다.

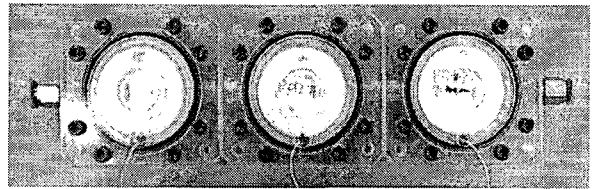


Fig. 6 Experimental setup for testing a valveless PZT pump

각각의 압전펌프 하우징에 3 개의 디스크 PZT 액추에이터를 각각 실리콘 몰딩하여 부착하였고, 제작된 연동구동 파형 제어기와 주파수 발생기를 연결하여 PZT 액추에이터를 구동하였다. Fig.5 에서 정의된 3 가지 파형을 Fig. 6 의 밸브리스 압전펌프에 적용하였고, 인가전압을 200 V 로 고정한 상태에서 주파수 변화에 따른 압전펌프로 부터의 토출되는 유량을 측정 한 결과는 Fig. 7 과 같다. Fig. 7 의 토출유량 측정 결과에 나타난 바와 같이 90° 위상차를 갖는 사각파형을 인가하였을 경우, 60 Hz 에서 130 ml/min 으로 가장 많이 토출되었으며, 90° 의 위상차를 가지는 정현파형을 인가하였을 경우에도 60 Hz 에서 최고 토출유량을 얻었으나, 그 양은 사각파형에서 보다는 다소 적은 112 ml/min 정도였다. 위상차를 120° 로한 정현파를 인가하였을 경우에는 토출유량이 적었으며 50 Hz 에서 60 ml/min 정도를 토출하였다. 이 결과로부터 알 수 있듯이 각각의 PZT 액추에이터는 역류를 방지 할 수 있는 타이밍을 가져야 한다는 것을 알 수 있다.

90° 위상 지연의 사각파형 인가 시에는 인가전압이 유지되고 있는 동안에 인접 액추에이터가 동작되고 있으므로 유체의 역류를 다소 확실히 방지할 수 있게 된다. 그러나 정현파형 인가 시에는 연속적으로 인가전압이 변화되는 동안 인접한 PZT 액추에이터가 동작을 하므로 역류가 발생할 수 있게 된다. Fig. 7의 결과로부터 구동주파수 60 Hz에서 최대 토출유량이 발생됨을 확인하였으므로, 구동주파수를 60 Hz로 고정하고 위상차 90°의 사각파형의 인가전압을 변화시키면서 토출유량을 측정한다. 결과는 Fig. 8과 같다. 인가전압 100 V까지는 전압에 비례하여 토출유량이 급격히 상승하지만 100 V 이상의 인가전압에 대해서는 다소 완만하게 토출 유량이 증가하고 있다.

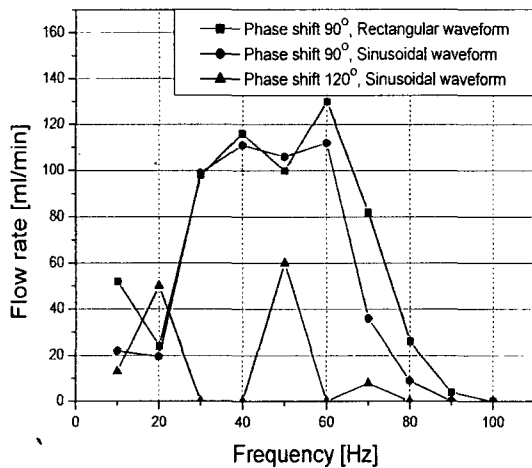


Fig. 7 Experimental result of outlet flow rate variation depending on the driving waveform

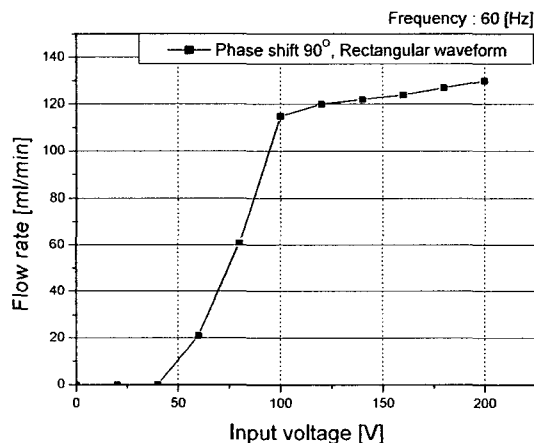


Fig. 8 Experimental result of outlet flow rate variation depending on the input voltage

3. 결론

본 연구에서는 다수개의 디스크 PZT를 이용한

밸브리스 압전펌프의 연동구동을 정의하기 위해 고전압에서 동작 가능하고 안정적인 연동파형 증폭을 위한 고전압증폭 구동장치와 미소의 유체를 정량적으로 토출하기 위한 디스크 PZT 액추에이터를 개발하였다. 연동파형 고전압 증폭 구동장치와 디스크 PZT 액추에이터를 조합하여 연동 구동하는 밸브리스 압전펌프의 특성을 측정하였다. 압전펌프의 특성측정은 연동구동 파형을 3가지로 정의한 연동파형을 이용하여 90°와 120° 위상차, 사각파형의 90° 위상차로 200 V의 전압을 인가하여 주파수-토출유량 특성을 측정하였다. 사각파형의 90°의 위상차 일 경우 60 Hz에서 130 ml/min, 연동파형의 경우 90°의 위상차는 60 Hz에서 112 ml/min, 120°의 위상차는 50 Hz에서 60 ml/min 유량이 측정되었다. 또한 최대유량 주파수 60 Hz에 대한 전압-토출유량 특성을 측정하였다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원 기본연구사업 수행 내용의 일부이며, 실험용 시약 및 재료를 지원해 주신데 대해 감사의 말씀을 전합니다.

참 고 문 헌

1. J. M. Berg, R. Anderson, M. Anaya, B. Lahouh, M. Holts, T. Dallas, "A two-stage discrete peristaltic micropump." *Sensors & Actuators A*, Vol. 104, pp.6-10, 2003.
2. Shunichi Hayamizu, Kusunoki Higashino, Yasuhisa Fujii, Yasuhiro Sando, Koji Yamamoto, "Development of a bi-directional valve-less silicon micro pump controlled by driving waveform." *Sensors & Actuators A*, Vol. 103, pp.83-87, 2003.
3. Y. B. Ham, et. Al, "Development of piezoelectric pump for Microfluid Delivery" *Proc. of the KFPS con.*, pp. 117-122, 2003.
4. 조정대, 박경민, 노종호, 함영복, "밸브리스 압전펌프 연동구동 제어기 설계", 한국정밀공학회 추계학술대회, pp. 1282-1285, 2004.
5. 조정대, 함영복, 윤소남, 김광영, 최병오, "압전액추에이터 연동파형 고정압증폭 구동장치 설계", 한국정밀공학회 춘계학술대회, pp. 1090-1093, 2004.
6. J. D. Jo, J.-H. Park, Y. B. Ham, B. O. Choi, "Piezoelectric Pump Driving by using High voltage Controller with Muti-Phase Shifter", October 31-November 3, Jeju Island, Korea, ICEMS 2004
7. 조정대, 윤소남, 함영복, 이경우, "압전 액추에이터용 제어기 개발", 한국유공압학회, pp.123-127, KFPS Conference 2003.