

소형 다이어프램 펌프의 성능 특성에 관한 실험적 연구

서현석[†]· 김태안[†]· 김윤제^{*}

An Experimental Study on the Performance of Mini-Diaphragm Pump

Hyeon-Seok Seo, Tae-An Kim and Youn-Jea Kim

Key Words: Mini-diaphragm pump (소형 진공 펌프), Vacuum pressure (진공 압력), Heights of eccentric shaft (편심축의 높이)

Abstract

The objective of this paper is to elucidate the characteristic performance of the mini-vacuum pump with various heights of eccentric shaft. The mini-diaphragm pump is composed of DC motor, eccentric shaft and diaphragm and it is operated by PCB panel. The height of eccentric shaft is changed that controls the quantities of air flow to improve the performance of vacuum pressure. This device is manufactured in order to embody the vacuum pressure with 200 mmHg. The heights of eccentric shaft which is used in present experiment are located in the range from 3 mm to 5.5 mm. The vacuum pressure distributions with each height of eccentric shaft was measured and the results were graphically depicted.

기호설명

H : 편심축의 스트로크 길이 [mm]

V_{out} : 출력 전압 [V]

1. 서론

다이어프램 (diaphragm)을 사용하는 소형 진공펌프는 대기압으로부터 10^{-1} Pa 정도의 저/중진공 영역까지 작동하는 저진공 펌프이다. 보통 산업적으로 또는 실험실에서 다루는 진공의 범위는 대기압 (~101 kPa)에서부터 $\sim 10^{-11}$ Pa의 극고진공까지 16차수에 걸치는 광범위한 영역이며 진공펌프는

대기로부터 격리된 용기의 내부 기체분자들을 제거함으로써 진공상태를 만드는 장치이다. 어떤 용기의 내부를 진공으로 만들기 위해서는 펌프를 이용하여 용기 내부의 기체분자들을 용기 밖으로 내보내는 방법이 사용된다.

진공의 목적이 이전에는 단순히 시스템 내의 기체밀도를 줄여 원하는 수준의 진공도를 얻는 소극적인 역할에 그쳤다. 그러나 최근에는 진공 응용분야가 다양해지면서 적극적으로 기체의 성분을 조절하고 제어하는 차원으로 발전되었다. 이러한 진공기술은 반도체 생산기술의 핵심요소일 뿐만 아니라 평판 디스플레이를 비롯하여 전자, 재료, 식품, 의약 등의 산업, 핵융합 등의 미래 첨단 기술의 핵심으로서 그 영역이 확대되고 있다⁽¹⁻³⁾.

다이어프램을 이용한 펌프기술은 마이크로 펌프분야에서 많이 사용되고 있으며 관련 연구를 살펴보면, Nguyen 와 Huang⁽⁴⁾은 디퓨저/노즐을 이

[†] 성균관대학교 대학원

^{*} 성균관대학교 기계공학부

E-mail : yjkim@skku.edu

TEL : (031)290-7448 FAX : (031)290-5889

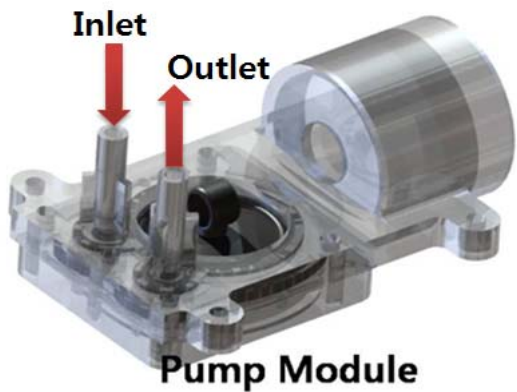


Fig. 1 Schematic of the coupled pump module

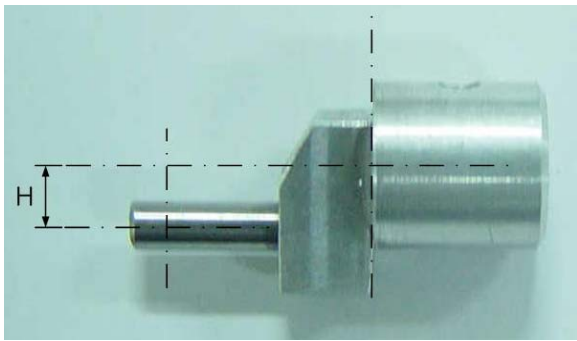


Fig. 2 Photograph of the eccentric shaft



Fig. 3 Photograph of the coupled pump module

용한 마이크로 펌프에 대하여 수치 해석을 수행하였으며, PCB (Printed Circuit Board)를 사용하여 밸브가 없는 소형 펌프를 제작하였다. Olsson 등⁽⁵⁾은 DRIE (Deep Reactive Ion Etching) 공정을 이용하여 밸브가 없는 마이크로 펌프를 제작하였으며, 수치해석을 통하여 디퓨저 목의 너비, 길이, 확산

각 등의 형상변화가 유동특성 및 성능에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. Van De Pol 등⁽⁶⁾은 열공압형 마이크로 펌프를 제작하여 cavity 내의 공기 압력에 따른 다이어프램의 변위 측정값과 수치해석 결과 값을 비교하였다.

본 연구에 사용된 소형 다이어프램 펌프는 산모들의 모유 수유를 유도할 수 있는 유축기에 사용되는 펌프이다. 제어회로에 의해 제어되는 소형 DC 모터와 다이어프램을 이용하여 약 200 mmHg (26.67 kPa) 이상의 진공압력을 구현하기 위해 모터와 다이어프램을 연결하는 편심축의 스트로크 길이가 변화에 따른 진공압력의 분포에 대하여 고찰하였고, 이 결과를 토대로 최적의 편심축 높이를 찾고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

펌프 모듈은 Base, 다이어프램, 케이스 세 가지로 구성되어 있다. Base는 다이어프램과 결합되어 공기의 흡입·토출량을 결정하는 챔버를 형성하며 공기가 흡입·토출할 수 있는 유로를 형성한다. 다이어프램은 상하운동을 통해 공기를 흡입·토출하여 진공압력을 생성하는 역할을 하며, 재질은 NBR (Nitrile Butadiene Rubber)이다. 케이스는 다이어프램과 DC 모터를 고정시키는 역할을 한다. Fig. 1은 세 가지 부품과 각 부품의 결합 형태 및 결합된 후의 모습을 나타낸 것이다.

본 연구에서 가장 중요한 실험 변수인 편심축의 스트로크 길이는 다이어프램과 연결되는 축의 중심부로부터 모터와 편심축이 연결되는 중심부까지의 거리로 정의하였으며, 그 높이는 3 mm~5.5 mm의 범위이다. 사용된 편심축의 형상을 Fig. 2에 나타내었고 본 실험에 사용된 펌프 모듈을 Fig. 3에 나타내었다. 편심축 높이가 변화는 다이어프램의 상하운동을 통해 공기를 흡입·토출하는 양을 변화시켜 그에 따른 압력 값의 변화를 나타내게 된다.

또한 9V DC 모터와 power supply를 통하여 동력을 공급하였고, 제어판을 통해 펌프가 구동되는 주기를 단계별로 조정할 수 있게 하였다. 각 단계는 총 4단계로 이루어져 있으며 단계가 올라갈수록 모터의 회전속도가 증가하게 된다.

진공압력을 측정하기 위하여 압력센서

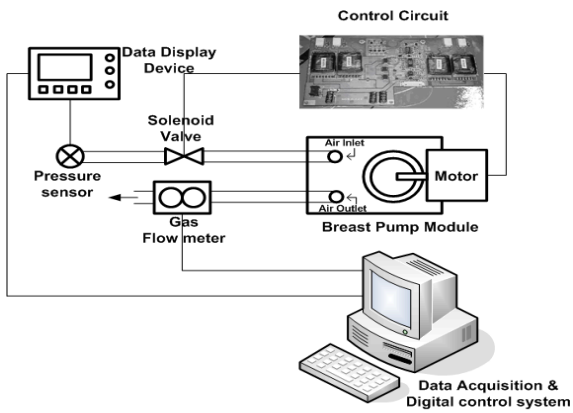


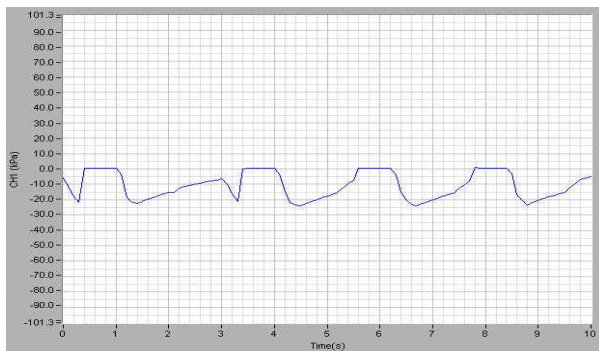
Fig. 4 Schematic diagram of the experimental setting

(PMP4070, GE Druck社)를 사용하였으며, 측정범위는 $-1 \sim 1$ bar이고 정확도는 $\pm 0.04\%$ 이다. 압력 센서는 단독으로 사용할 수 없으며, 데이터 로거 (Graphtec, GL450)를 통하여 측정하고자 하는 것을 조정해야 한다. 데이터 로거로 측정하는 압력 파형을 실시간으로 볼 수 있는 디스플레이가 있으며, USB port를 연결한 PC에서도 프로그램을 통

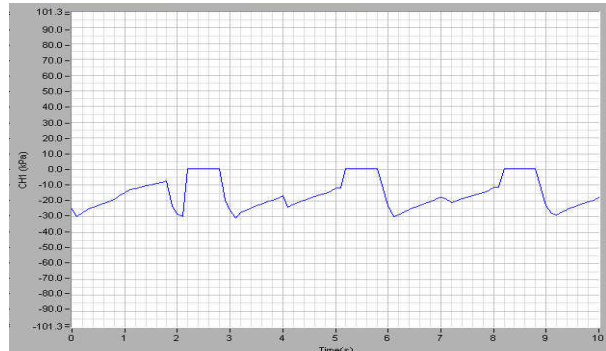
하여 제어할 수 있다. 압력 센서의 V_{out} 은 $0 \sim 5$ V로 데이터 로거를 통하여 -1 bar일 경우를 0 V에 맞추고, 1 bar일 경우를 5 V로 맞추어 측정 범위를 설정하였다. 전체적인 실험장치의 개략도를 Fig. 4에 나타내었다.

2.2 실험 방법

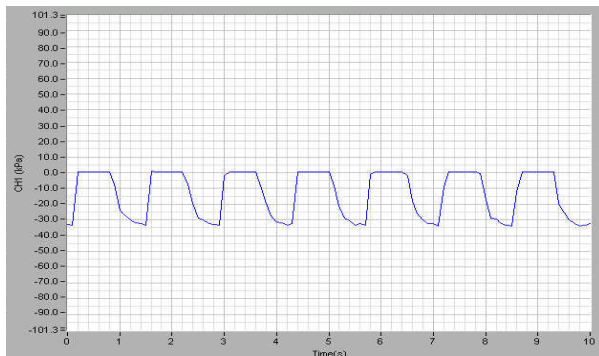
실험 방법은 DC 모터와 다이어프램을 연결하는 편심축의 스트로크 길이를 5.5 mm에서 3.0 mm까지 5 mm 단위로 나누어서 수행하였고, 각 스트로크 길이에 대한 압력 분포의 평균값과 최대·최소값을 측정하였다. 하지만 이러한 편심축은 DC 모터와의 연결에 있어서 확실하게 고정이 되지 않기 때문에 이를 해결하기 위하여 편심축에 암나사가 들어갈 수 있는 홀 (hole)을 만들어 축과 모터를 고정시킬 수 있게 하였다. 제어단계는 4단으로 구성되어 있기 때문에, 각 단계별로 압력 분포를 측정하였으며 압력 분포의 주기가 일정해지도록 실험 수행 1분 후부터 측정하였다.



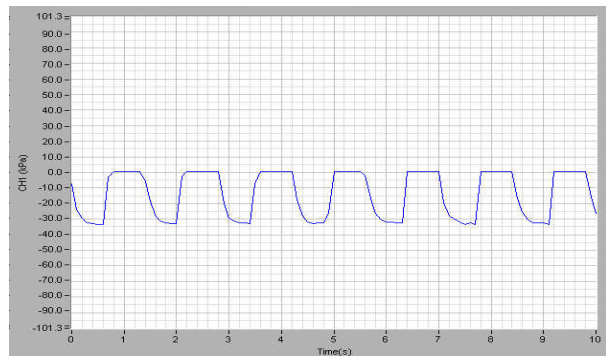
(a) First step



(b) Second step



(c) Third step



(d) Forth step

Fig. 5 Pattern of pressure distributions with various steps

3. 실험 결과 및 고찰

소형 다이어프램 펌프의 진공압력에 대한 성능을 향상시키기 위하여 다이어프램을 구동시키는 편심축의 스트로크 길이를 변화시켜 가면서 실험을 수행하였다. Fig. 5는 제어 회로상의 각 단계별 압력분포의 경향을 나타낸 것으로 데이터 로거가 0.1s 단위로 데이터를 받아들여 실시간으로 표현되는 파형을 나타낸 것이다. 각 단계들은 제어판에 의해 일정한 주기로 압력분포가 반복됨을 확인할 수 있다. 또한 단계가 올라갈수록 모터에 인가되는 전류량의 증가로 인하여 모터의 토크 및 회전속도가 증가하기 때문에 다이어프램을 충분히 구동시켜 높은 진공압력을 구현하는 것을 확인할 수 있다.

편심축의 스트로크 길이에 대한 압력분포를 각 단계별 특성을 살펴보면 1, 2 단계에서는 편심축의 스트로크 길이가 짧을수록 더 높은 진공압력분포를 나타냄을 확인할 수 있고, 3, 4 단계에서는 편심축의 스트로크 길이가 길수록 더 높은 압력분포를 나타내었다. 이러한 이유는 모터의 회전수가 작은 단계에서는 편심축의 스트로크 길이가 길수록 다이어프램을 구동시키는 것에 대하여 상대적으로 많은 힘이 필요하기 때문인 것으로 판단된다. 반면에 인가 전류의 증가로 인하여 모터의 회전수가 충분히 증가한다면 편심축의 스트로크 길이가 길수록 더 높은 진공압력을 발생시킨다는 것을 확인할 수 있다. 이는 다이어프램이 구동되면서 생기는 챔버의 용적이 편심축의 스트로크 길이가 길어질수록 커지기

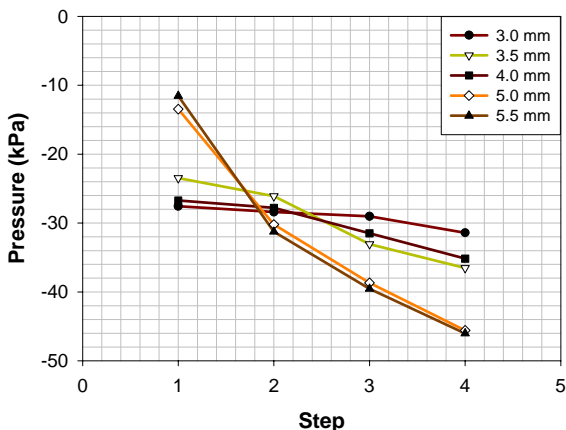


Fig. 6 Pressure distributions with various shaft heights and step of control circuit

때문이라고 판단된다.

Figure 6은 편심축의 스트로크 길이에 대한 각 단계별 진공압력 분포를 그래프로 나타낸 것으로 편심축의 스트로크 길이가 짧을수록 저회전 속도에서의 진공압력 크기는 증가하고, 편심축의 스트로크 길이가 길수록 고회전 속도에서의 진공압력의 크기가 증가함을 알 수 있다.

4. 결 론

소형 다이어프램 진공펌프의 진공압력에 대한 성능을 향상시키기 위하여 다이어프램을 구동시키는 편심축의 스트로크 길이 변화에 대한 압력 분포에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 다이어프램 펌프를 제어회로를 통하여 구동시켰을 때, 단계가 올라갈수록 모터의 회전 속도가 증가하였으며, 진공압력 또한 증가하였다.

2) 다이어프램과 모터를 연결하는 편심축의 스트로크 길이에 따른 압력 성능 특성은 모터가 저속으로 구동될 때에는 편심축의 스트로크 길이가 짧을수록 회전이 부드럽게 발생하여 같은 단계에서 다른 스트로크 길이의 편심축에서 발생하는 진공압력보다 더 크게 나타남을 알 수 있다.

3) 모터가 고속으로 구동될 시에는 편심축으로 인한 챔버의 용적 변화를 크게 할 수 있는 스트로크 길이가 긴 편심축이 짧은 스트로크 길이의 편심축보다 높은 진공압력을 얻을 수 있었다.

4) 편심축의 스트로크 길이 변화에 대한 진공압력 분포는 편심축 스트로크 길이가 5.0 mm일 때 가장 효과적으로 나타났다. 이러한 편심축 1단계의 경우 진공압력이 상당히 약하기 때문에 인가 전류를 증가시켜 진공압력을 높일 수 있는 제어회로를 제작하여 펌프를 작동시키는 것이 보다 효율적이라고 판단된다.

참고문헌

- (1) Chung, K. H., Hong, S. S., Lim, J. Y. and Sin, Y. H., 1998, "Measurement of Performance Characteristics of Vacuum Pumps and Parts," Korea Research Institute of Standards and Science, KRIS-98-016-IR.

- (2) Lim, J. Y, Sim, W. G. and Chung, K H, 2003, "Operating Characteristics of Low Vacuum Pumps," *Journal of the Korean Vacuum Society*, Vol. 12, No. 2, pp. 93~104.
- (3) Roth, A, 1982, *Vacuum Technology*, North-Holland.
- (4) Nguyen, N. T. and Huang, X. Y., 2001, "Miniature valveless pumps based on printed circuit board technique", *Sensors and Actuators A*, Vol. 88, pp. 104-111.
- (5) Olsson, A., Stemme, G. and Stemme, E., 2000, "Numerical and experimental studies of flat-walled diffuser elements for valve-less micropumps", *Sensors and Actuators A*, Vol. 84, pp. 165-175.
- (6) Van De Pol, F. C. M., Wonnink, D. G. J., Elwenspoek, M. and Fluitman, J. H. J., 1989, "A thermo-pneumatic actuation principle for a microminiature pump and other micromechanical devices", *Sensors and Actuators A*, Vol. 17, pp. 139-143.