

두께에 따른 생체 모방 종이 작동기의 성능평가

The Performance of EAPap Actuators with Thickness Variation

송춘석† · 김재환** · 강유근*** · 윤성률**

Chunseok Song, Jaehwan Kim and Yu-keun Kang and Sungryul Yun

Key Words : Electro-active Paper (EAPap), Tip Displacement (변위), Resonance Frequency (공진 주파수), Blocked Force (정지력), Actuator Efficiency (작동기 효율)

ABSTRACT

Electro-Active Paper (EAPap) is attractive as an EAP actuator material due to its merits in terms of lightweight, dry condition, large displacement output, low actuation voltage and low power consumption. This paper presents the performance of EAPap actuators with thickness variation. The EAPap is made with cellulose paper, and is shown to bend in response to an external electric field. Up to the present, we have tested displacement, current and force of EAPap with 20 μm thickness. The thickness of EAPap is important factor that affects the performance of the actuator. Therefore, three different thickness of EAPap, 20, 30, and 40 μm are investigated that inference the tip displacement, blocked force, the resonance and the actuator efficiency. There is an optimum thickness of EAPap, which is resulted from the stiffness and the mass. The performance of EAPap with thickness is discussed.

1. 서론

수년간 전기 활성 고분자 (Electro-active polymer, EAP) 는 사용할 수 있는 분야가 적고 제한된 능력으로 지능재료로서 관심을 많이 받지 않았지만 지난 10 여 년간 외부 자극에 의해 큰 변형을 일으킬 수 있는 지능재료들이 출현하면서 인공 근육을 만들 수 있는 가능성을 가진 EAP 가 많은 주목을 받고 있다. EAP 재료는 전기적 가진에 의해 변형하는 재료로서 탄력이나 손상에 대하여 유연성이 있는 점과 큰 변위를 낼 수 있는 점들로 인해 생물의 근육과 유사한 작동성을 갖고 있다[1-3]. 따라서 EAP 는 차세대 마이크로 로봇, 오락산업 또는 초소형 비행체의 구동과 같은 폭넓고 다양한 응용 분야에 가능성을 가지고 있다. 하지만 지금까지 개발된 EAP 는 제한된 성능으로 인해 작동력 증가, 빠른 응답, 내구성 등의 개선이 필요하다. 특히 초 경량 EAP 작동기에 있어서 이에 필요한 전력의 공급이 응용 디바이스와 연계하여 매우 중요한 문제이다.

최근에 종이를 이용한 EAP 가 개발되어 큰 관심을 받고 있다[4]. EAPap (Electro-active paper) 로 불리는 이것은 셀룰로오스를 모체로

하는 생체모방 종이 작동기로서 전기를 가했을 때 변위가 발생하는 것을 발견하였다[5]. EAPap 작동기는 1~5 Vpp 의 낮은 전압 하에서도 구동하여 큰 변위가 나오며 소모전력이 ~10 mW/cm² 로 낮다 특히 습도 60 %RH 이상의 대기 상태에서 이러한 변위를 가진다는 장점을 가지고 있다. 하지만 EAPap 는 모체인 셀룰로오스 종이의 굽힘 강성이 낮아 전기적 가진에 의해 발생하는 굽힘에 의한 힘이 작고, 작동 주파수가 낮은 단점이 있다. 힘과 작동 주파수를 키우기 위해서는 굽힘 강성을 키워야 하는데, EAPap 의 두께를 키우거나 탄소 나노 튜브와 같이 강도를 증가시키는 재료를 코팅하게 되면 굽힘 강성을 키울 수 있다. 그러나 두께가 두꺼워지면 반대로 변위가 줄어들 수 있다. 따라서 두께에 따른 EAPap 작동기의 성능을 고찰할 필요가 있다.

이제까지는 두께가 20 μm 인 셀로판을 토대로 하여 온도, 습도에 따른 변위, 힘, 효율 등을 측정하여왔다. 실험 결과 공진 주파수 4 Hz 이후에 변위가 줄어들었고, 작동력이 적게 발생하였다[6,7]. 따라서 본 논문에서는 강성을 높이고 공진 주파수를 높이기 위하여 EAPap 의 두께를 변화시켜가며 변위, 힘, 효율을 측정하여 종합적인 성능을 평가하였다.

† 인하대학교 기계공학과 대학원
E-mail : molscs97@hanmail.net
Tel : (032) 874-7325, Fax : (032) 868-1716

* 인하대학교 기계공학과

** 인하대학교 기계공학과 대학원

*** 인하대학교 기계공학과 대학원

2. EAPap

2.1 EAPap

EAPap 는 셀룰로오스 종이를 모체로 하는 생체

모방 종이 작동기이다. 셀룰로오스는 EAPap 작동기의 모체이며 내부의 수산기는 공기중의 물과 반응하며 비결정질 영역에서 흡수 될 수 있기 때문에 전압을 인가 했을 때 흡수된 물이 반응하여 극성을 띠는 이온 상태로 되며 이런 이온들의 전이 현상은 EAPap 의 변위 발생에 영향을 미친다. 한편 비결정 영역에 분포한 전기적 쌍극자 모멘트는 압전 효과를 발생시킬 수 있다. 이 두가지 효과가 온도, 습도의 환경 조건에 따라 성능에 영향을 미치는 것으로 여겨지고 있다.

EAPap 은 셀룰로오스 펄프를 녹여서 시트형태로 압출한 셀로판의 양면에 Evaporator 를 이용하여 셀로판 양쪽에 금을 증착시켜 만든다. 본 연구에서 사용하는 셀로판은 셀룰로오스 종이로서 Viscose 방법으로 만든 제품이다. 본 연구에서는 그림 1 과 같이 직사각형의 셀로판에 (10 mm x 40 mm)의 금을 증착시켰다. EAPap 의 두께는 20, 30, 40 μm 의 세 종류를 사용하였다. 증착된 금은 전극을 이루며 두께는 0.1 μm 범위로 매우 얇아서 셀룰로오스 종이의 굽힘 강성에 그다지 영향을 미치지 않는다.

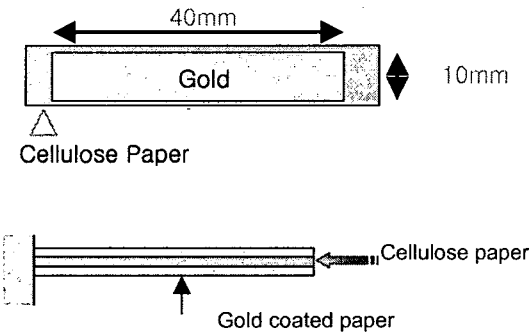


그림 1. 셀룰로오스 EAPap 구성

3. 실험 방법

3.1 실시간 측정 (변위, 전압, 전류)

전기가 가해지는 동안에 끝 단 변위의 신호를 실시간으로 받아 들이기 위하여 그림 2 와 같이 컴퓨터로 데이터를 받을 수 있는 장치를 구성하였다. EAPap 샘플은 환경 챔버 안에 고정되어 있고 컴퓨터에 의해 조정되는 함수 발생기로 교류 전압과 주파수를 바꾸면서 전기를 가진다. 레이저 도플러 속도계 (LDV)를 이용하여 EAPap 끝단의

속도 신호를 받고 Labview 소프트웨어를 통하여서 컴퓨터에서 이를 처리한다. 또한 전류 측정기를 이용하여 실시간으로 전류 값을 Labview 소프트웨어를 통하여 컴퓨터에서 다룬다.

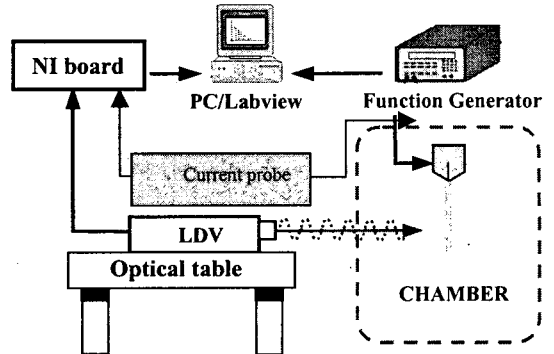


그림 2. EAPap 작동기 실시간 측정 장치

3.2 정지력의 측정

EAPap 샘플에서 나오는 힘의 측정은 성능 평가에 있어서 매우 중요하다. 그림 3 과 같이 컴퓨터로 데이터를 받을 수 있는 장치를 구성하였다. EAPap 샘플은 환경 챔버 안에 고정되어 있고 함수 발생기로 전기 가전을 조정한다. 미소 저울 (Precias XT220A)은 EAPap 샘플의 끝 단의 정지력을 측정하기 위하여 광학 테이블 위에서 설치되어 있다. Fixture 는 측면으로 작용하는 힘을 수직으로 작용하는 힘으로 바꾸어 주도록 구성하였다. 저울의 신호는 Labview 소프트웨어에 의해 컴퓨터에서 처리한다.

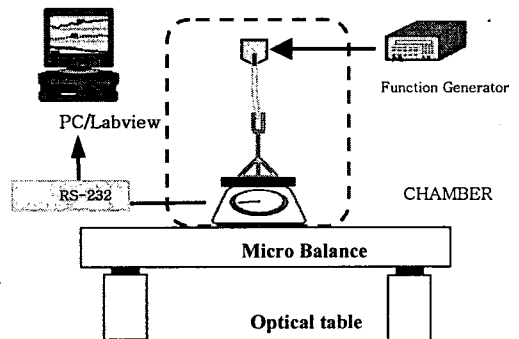


그림 3. EAPap 작동기 정지력 측정 장치

4. 성능평가

4.1 두께에 따른 EAPap의 실시간 측정

(1) 변위

EAPap (S2) 두께가 20 μm (S1), 30 μm (S9), 40 μm (S8)의 전압과 주파수의 변화에 따른 변위를 측정하였다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 변위는 S1과 S9가 비슷하지만 S8에서는 줄어듦을 알 수 있다. 하지만 강성의 증가로 인해 공진 주파수는 4Hz에서 7Hz, 10Hz로 점점 증가함을 볼 수 있다. 최대변위는 S1, S9, S8에서 각각 4.38 mm, 4.19 mm, 0.33 mm가 발생하였다. 두께가 40 μm (S8)에서 변위가 줄어든 것은 굽힘 강성이 너무 커서 전기장을 인가시켰을 때 충분한 작동이 일어나지 않은 것으로 사료된다.

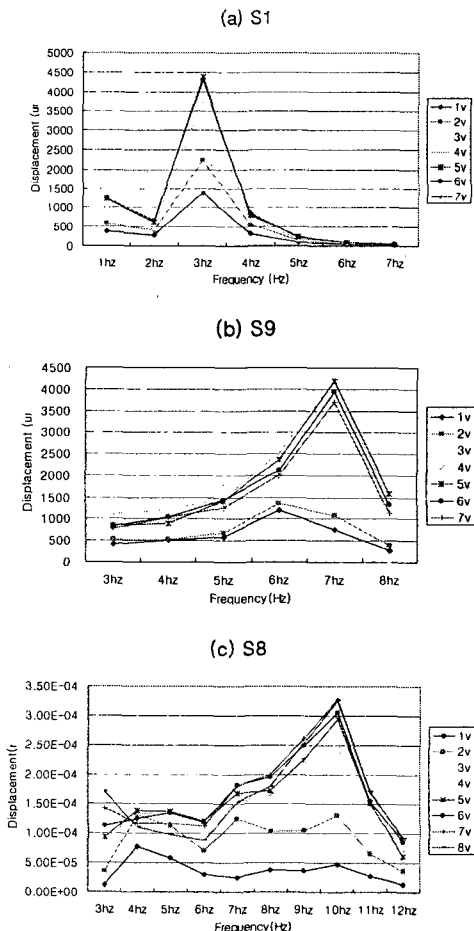


그림 4. 두께에 따른 EAPap의 변위 변화

(2) 정지력

EAPap에서 발생하는 굽힘에 의한 힘을 Fixture로 수직력으로 변환되어 미세저울로 작용되게 하여 이를 바탕으로 나온 힘의 값을 그림 6에 나타내었다. 대체적으로 주파수가 증가함에 따라 힘이 증가하다가 거의 포화된 작동력을 나타내고 있다. S1의 공진 주파수 4 Hz에서의 힘은 1110 μN , S9의 공진 주파수 7 Hz에서의 힘은 30000 μN , S8의 공진 주파수 10 Hz에서의 힘은 10460 μN 의 최대 힘을 나타내었다. 두께가 두꺼워지면서 강성이 좋아져 S9에서는 힘이 크게 증가하였으나 S8에서는 변위가 오히려 1/10로 작게 나오면서 힘도 증가하지 못하였다. 여기서 알 수 있는 것은 EAPap의 두께를 키운다고 무조건 힘이 커지는 것은 아니라는 것이다. 변위와 힘의 성능이 극대화 되기 위해서는 최적의 EAPap 두께가 있음을 시사한다.

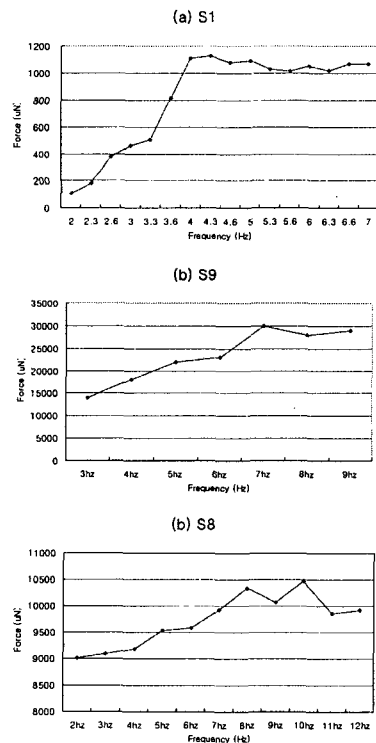


그림 6.5 볼트에서 두께에 따른 EAPap의 힘 측정

4.2 EAPap의 기계적 출력 및 효율

EAPap의 기계적 출력은 식 (1)에 따라 구할 수 있다. 여기서 F_{max} 는 정지력, V_{max} 는 최대 속도, X_{max} 는 최대 변위이다.

$$\begin{aligned} \text{Mechanical Power} &= 1/4 \cdot F_{\text{max}} \cdot V_{\text{max}} \\ &= 1/4 \cdot F_{\text{max}} \cdot X_{\text{max}} \cdot 2\pi f \quad (1) \end{aligned}$$

표 1 은 각 샘플의 공진 주파수에서의 기계 출력, 소비 전력 및 효율을 나타낸다. 두께가 30 μm 인 S9 에서 최대 기계출력이 2.8 mW 이었다. 전기적 입력은 S1, S9 에서는 약 40 mW 이었으나 S8 에서는 오히려 136 mW 매우 크게 나타났다. 따라서 효율은 기계적 출력을 전기적 입력으로 나눈 값인데 S9 의 경우 7%로 가장 높게 나타났으며 S8 은 매우 낮게 나타났다.

표 1. EAPap 의 기계 출력, 소비전력, 효율

	S1(@4Hz) 20 μm	S9(@7Hz) 30 μm	S8(@10Hz) 40 μm
기계 출력 (mW)	0.12	2.8	0.48
소비전력 (mW)	40	39	136
효율 (%)	0.3	7	0.04

5. 결론

EAPap 의 두께에 따른 작동기 성능을 최대 변위, 정지력, 소비전력 및 효율로 평가하였다. EAPap 의 두께가 두꺼워질수록 공진 주파수가 증가하고 굽힘 강성이 증가하여 기계적 출력이 커진다. 하지만 EAPap 의 두께가 40 μm 로 아주 커졌을 때 변위와 정지력이 줄어 들었다. 따라서 두께를 무조건 크게 하는 것이 힘의 증가에 효과적이지 않다. 응용 장치에 따라 성능에 알맞은 최적의 두께를 선정하는 것이 필요하다.

참고문헌

- (1) Y. Bar-Cohen Ed., *Electro-active Polymer(EAP) Actuators as Artificial Muscles: Reality, Potential, and Challenges*, SPIE Press, 2001
- (2) M. Shahinpoor, Y. Bar-Cohen, J.O. Simpson and J. Smith, "Ionic polymer-metal composites(IPMCs) as biomimetic sensors, actuators and artificial muscles-a review," *Smart Materials & Structures*, 7 (6), R15-R30, 1998
- (3) R. Pelrine, R. Kornbluh and J. Joseph, "Electrostriction of Polymer Dielectrics with Compliant Electrodes as a Means of Actuators", SPIE's 7th Annual Symposium on Smart Structure and Materials, Vol.3987, 203-209, Newport Beach, CA, USA, March 2000.
- (4) J. Kim, J.Y. Kim and S.J. Choe, "Electroactive Paper: Its possibility as Actuator" SPIE's 7th Annual Symposium on Smart Structure and Materials, vol. 3987, 203-209, Newport Beach, CA, USA, march 2000.
- (5) J. Kim, Y. B. Seo, "Electro-active paper Actuators," *Smart Materials & Structures*, 11, 355-360, 2002
- (6) J. Kim, J. Park and W. Jeong, "Temperature and humidity effects on electro-active paper actuators" SPIE's 11th Annual Symposium on Smart Structure and Materials, vol 5385, 508-512, Newport Beach, CA, USA, march 2004.
- (7) J. Kim, C. Song and S. Bae, "Actuation performance of cellulose based electro-active papers" SPIE's 11th Annual Symposium on Smart Structure and Materials, vol.5759, 75-81, San Diego CA, USA, March 2005.