

전도성 고분자를 이용한 BENDING 액츄에이터

*나승우, **김명순, *이승기, **이상훈

*단국대학교 공과대학 전기공학과, **단국대학교 의과대학 의공학교실

Bending Actuator Using Conducting Polymer

*Seung-Woo Na^o, **Myung-Soon Kim, *Seung-Ki Lee, **Sang-Hoon Lee

*Department of Electrical Engineering, Dankook University

**Biomedical Lab., College of Medicine, Dankook University

ABSTRACT

A strip-type bending actuator using perfluoro sulfonic acid film (Nafion[®] 117, Du Pont), which is a kind of conducting polymer, fabricated and characterized. Conducting polymer is a useful material as an actuator due to the simple structure, fabrication method and low driving voltage. Experimental results show that the fabricated bending actuator has about $\pm 10^\circ$ of bending angle at 4 V and fast response, which means that the conducting polymer can be used practically as actuator material.

1. 서 론

전도성 고분자는 도전성을 갖는 고분자 물질로서 1980년대 이후 2차전지, 디스플레이, 화학센서 등의 다양한 응용분야에의 연구가 활발히 진행되고 있는 기능성 재료이다 [1,2]. 전도성 고분자는 전계, 빛 등과 같은 외부로부터의 자극에 의해 부피의 변화를 나타낼 수 있으며 이러한 부피의 변화를 마이크로 액츄에이터에 응용하고자 하는 연구가 최근 들어 시도되어진 바 있다 [3,4].

전도성 고분자를 액츄에이터로 이용하는 방법에는 이온전도성 고분자를 이용하는 방법과 전자전도성 고분자를 이용하는 방법이 있다. 본 논문에서는 이온전도성 고분자의 일종으로서 이온교환수지로 널리 쓰이고 있는 perfluorosulfonic acid film (Nafion[®] 117, Du-Pont)을 이용하여 기본적인 특성들을 조사함으로써 bending 액츄에이터로 사용할 수 있는 가능성을 분석하였다.

이온전도성 고분자는 공중합 방법에 의해 고분자쇄상에 고정된 이온을 지니고 있으며 [5], 전해질 내에서 전압을 인가하면 극성에 대응하여 수축하는 성질을 가지고 있다. 본 연구에서는 Nafion[®] film에 금속 전극을 형성시킨 후, strip 형태로 가공하여, 전해질 내에서 전압, 주파수 등을 변화시키며 변위를 측정하고 시간에 따른 전류 변화를 측정하여 전도성 고분자의 동작 원리를 해석

함으로써 전도성 고분자를 마이크로 액츄에이터로 이용할 수 있는 가능성을 검토하였다.

2. 실험

2.1 전도성 고분자 막 액츄에이터의 구조

실험에 사용된 bending 액츄에이터는 이온 전도성 고분자인 Nafion[®] film에 금속전극을 형성한 후 strip 형태로 만들어 사용하였다. 금속 전극은 Cr/Au를 열증착하는 방법, Ag-paste를 polymer에 바르는 방법 및 Pt 전극을 E-beam 증착하는 방법을 사용하였다. Ag-paste는 그림 1과 같이 0.1 mm, Cr/Au는 각각 30 Å 및 2000 Å의 두께로 열증착 하였으며 Pt는 2000 Å의 두께를 가지도록 고분자 막 상에 전극으로서 형성시켰다. strip 형태의 액츄에이터는 길이 및 폭을 여러 가지로 변화시키며 실험하였으며 측정에 사용한 액츄에이터는 폭 1 mm, 길이 10 mm로 하였다. 제작된 액츄에이터는 그림 1에서 보는 바와 같이 콘덴서의 구조를 지니고 있어 전압인가 시 흐르는 전류 또한 콘덴서 전류와 유사한 파형을 나타낸다.

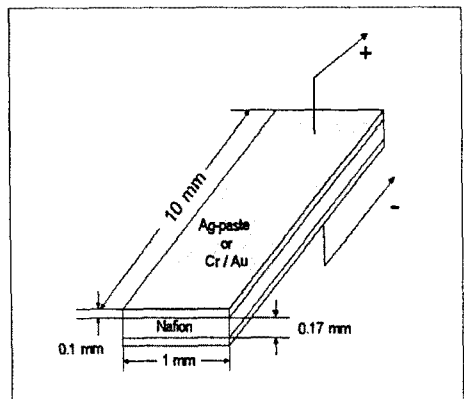


그림 1. 전도성 고분자 막 액츄에이터의 구조

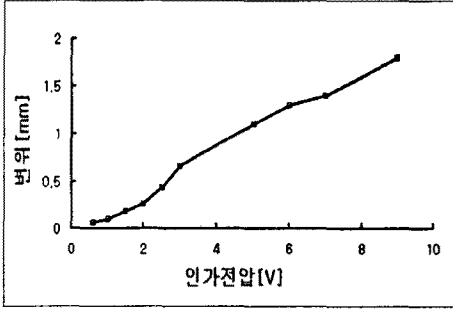


그림 2. 인가전압의 변화에 따른 변위의 변화 (0.5 Hz)

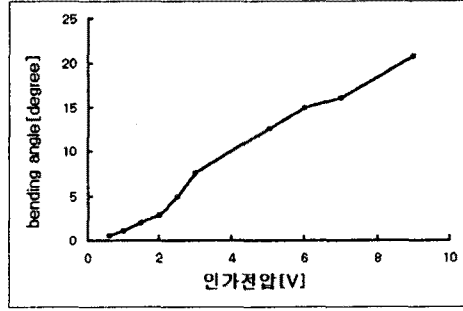


그림 4. 인가전압의 변화에 따른 bending angle의 변화 (0.5 Hz)

2.2 측정방법

그림 1과 같은 액츄에이터를 전해질 내 (0.9 % 생리 식염수)에서 동작시켰다. function generator를 사용하여 구형파를 인가함으로써, 인가되는 전압의 극성, 크기, 주파수를 변화시켰으며, 오실로스코프를 사용하여 인가되는 전압의 파형 및 흐르는 전류를 측정하였다. 인가하는 전압 및 흐르는 전류에 의한 변위를 관찰하기 위해 0.6 V ~ 10 V 사이의 전압을 단계적으로 변화시키면서 변위 및 전류를 측정하였다. 또한 액츄에이터의 주파수 특성을 알아보기 위해 0.5 Hz ~ 20 Hz 범위의 주파수를 갖는 구형파 형태의 전압을 인가하여 발생하는 변위 및 전류를 측정하였다.

전압을 인가하면 전도성 고분자 막 액츄에이터는 양극 쪽으로 휘어지게 되며, 이때의 변위는 현미경과 CCD 카메라를 이용하여 모니터 상에서 측정하였다.

3. 결 과

3.1 전압 및 주파수 변화에 따른 변위의 측정

제작된 액츄에이터에 구형파 형태의 전압을 인가시 발생하는 최대 변위는 그림 2와 같이 인가하는 전압에

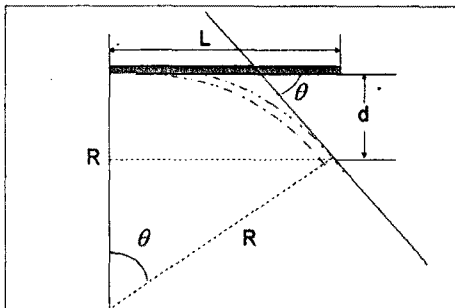


그림 3. 변위에 의한 bending angle의 계산
(d : 변위, θ : bending angle
R : 가상 원의 반경, L : 길이)

비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 0.5 V의 낮은 전압에서도 작은 변위가 발생하며, 10 V 정도에서는 2 mm 이상의 비교적 큰 변위가 발생하나, 전압을 증가시키면, 전기분해에 의한 기포의 발생 및 전극이 손상되는 문제가 발생하였다.

전극물질로서 Ag-paste 및 Cr/Au 전극보다 Pt를 사용하는 경우가 전극이 벗겨지지 않는 강인함을 보였으나, Pt 전극을 polymer 막에 증착하는 경우에 발생하는 열로 인한 polymer의 손상으로 bending 특성이 좋지 않았다.

측정한 변위로부터 액츄에이터의 bending angle을 계산하기 위해 그림 3과 같은 모델을 고려하였다. 전도성 고분자 막이 원의 형태로 구부러진다고 가정하면 주어진 변위에 대해 bending angle은

$$\frac{L}{\theta} (1 - \cos \theta) = d \quad (1)$$

의 식으로 주어지게 된다.

그림 4는 이와 같이 계산한 bending angle과 변위와의 관계를 도시한 것으로, bending angle과 변위는 선형의 관계를 가지고 있으며 4 V 정도의 전압으로 $\pm 10^\circ$ 의 bending을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

인가하는 전압의 주기를 변화시켰을 때 발생하는 변위는 그림 5와 같이 감소하는 것으로 나타났으며, 제작된 액츄에이터가 20 Hz 정도까지는 인가하는 전압에 대응하여 동작하는 것을 모니터 상에서의 직접 관찰 및 전류 측정을 통하여 확인할 수 있었다.

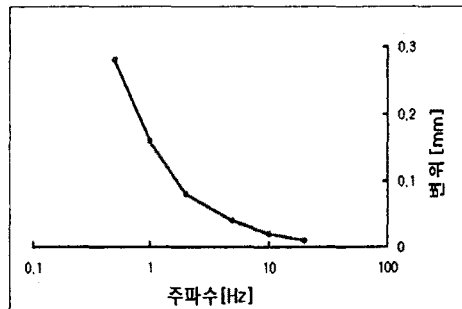


그림 5. 주파수 변화에 따른 변위의 변화 (1.5 V)

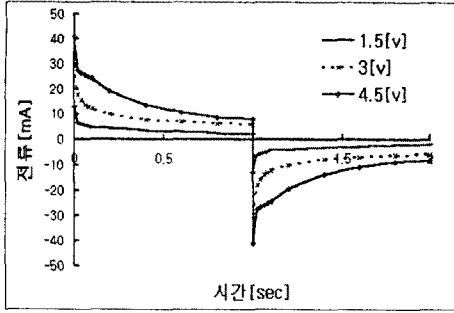


그림 6. 구형파 인가시 전류의 변화 (0.5 Hz)

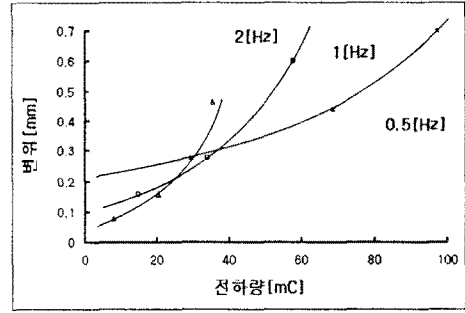
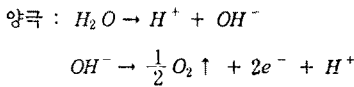
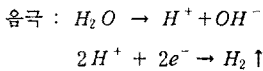


그림 8. 이동전하량 변화에 따른 변위의 변화

3.2 이동 전하량의 측정

본 액츄에이터 제작에 사용된 Nafion[®]은 이온교환수지로서 고분자쇄상에 고정된 음이온으로 sulfonic acid를 가지고 있으며, 고분자쇄상의 음이온은 전해질 내에서 수화된 양이온과 함께 쌍이온을 형성하고 있다. 이러한 형태의 Nafion[®]에 전압을 인가하면 각 전극에서는 다음과 같은 반응이 일어난다.



이때 음극에서 발생한 OH^- 는 고분자쇄상에 고정된 음이온들의 전위로 인하여 양극 쪽으로 이동하지 못하고 음극 근처에 쌓이게 된다. 고분자쇄상의 음이온과 쌍이온을 이루고 있던 수화된 금속염의 양이온은 음극으로 이동하고 양이온의 이동에 의해 비게된 자리는 양극에서 발생하는 H^+ 가 대체하게 된다. 음극 쪽으로 이동한 양이온은 음극 근처에 존재하는 OH^- 와 결합하면서 수화되어 있던 물분자들이 금속염 양이온의 이동과 함께 밖으로 빠져나감으로써 양극에서 부피감소가 발생하고 이에 따라 양극 쪽으로 휘어지게 되는 것이다. 이와 같은 사실을 확인하기 위해 전압인가시 흐르는 전류를 측정하였다.

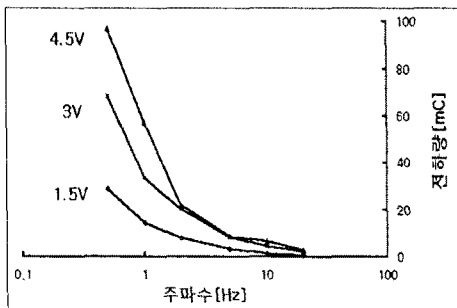


그림 7. 주파수 변화에 따른 이동 전하량의 변화

본 연구에 사용한 액츄에이터에 구형파 전압을 인가하였을 경우 흐르는 전류는 그림 6의 형태로 나타난다. 이것은 액츄에이터의 구조가 그림 1과 같이 콘덴서의 구조를 가지기 때문에 이러한 특성을 보이는 것으로 생각된다. 즉, 전압을 인가하면 고분자 막 내의 양이온이 이동하기 시작하여 전류가 흐르다가 전하의 이동에 따라 전류가 점차 감소하는, 콘덴서에 흐르는 전류와 비슷한 양상을 보이게 된다.

측정한 전류를 시간에 대해 적분함으로써 실제로 이동한 전하량을 계산할 수 있으며 그 결과가 그림 7과 그림 8에 나타나 있다. 인가하는 전압의 주기를 증가시키면 이동하는 전하량은 그림 7과 같이 감소하며 인가 전압의 크기의 감소에 대해서도 이동하는 전하량은 감소한다. 이동전하량의 양과 변위와의 직접적인 관계를 알아보기 위하여 그림 7의 결과와 각 경우의 변위 측정 결과로부터 그림 8과 같은 전하량에 따른 변위의 변화를 얻을 수 있다. 전체적으로 전하량이 증가하면 이에 따라 변위도 증가하는 것을 알 수 있다. 주파수가 높을수록 전하량 증가에 따른 변위가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 전도성 고분자의 부피변화에 의한 bending이 일반적인 탄성체와는 달리 점탄성을 띄고 있기 때문인 것으로 보인다. 즉, 주파수가 큰 경우는 부피의 변화속도가 빨라 bending을 일으키는 힘을 급격히 가하는 경우에 해당한다고 볼 수 있으며 이에 따라 변위의 변화가 매우 급격히 발생하고, 주파수가 작은 경우는 천천히 힘을 인가함으로써 그 힘에 대한 변위 변화가 지속적으로 나타나는 점탄성체의 특성을 보이고 있다.

3.3 전극물질에 따른 변위의 측정

액츄에이터의 전극으로 이용되는 물질로서 Ag-paste, Cr/Au 및 Pt를 사용하였다. Ag-paste 및 Cr/Au 전극은 높은 전압 (10 V)에서 반복 사용시 형성되어있던 금속막이 고분자 막과 분리되는 현상이 발생하였다. E-beam 증착법으로 형성된 Pt 전극은 고분자에 대한 부착 성능이 우수하였으나 E-beam 증착법의 낮은 증착율로 인해 증착시간이 길어지기 때문에 열에 의한 영향이 발생하여 Nafion[®] film이 손상되어 bending 특성이 나빠졌다.

그림 9는 Ag-paste 전극과 Cr/Au 전극을 사용한 액츄에이터의 동작을 비교한 그림이다. 그림에서는 Cr/Au

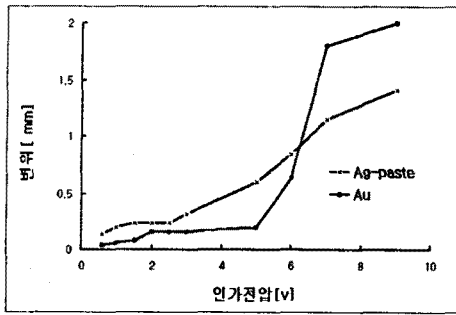


그림 9. 전극 물질에 따른 변위의 변화 (1 Hz)

전극을 사용한 것이 변위가 더 많이 발생하는 것으로 보이나 측정에 사용된 strip 형태의 액츄에이터의 길이가 약간 달라 실제로는 인가 전압에 대한 변위가 거의 비슷하게 발생하는 것으로 보인다. 따라서 전극 물질에 따른 발생 변위의 차이는 없는 것으로 보인다.

4. 결 론

본 논문에서는 전도성 고분자를 액츄에이터로 사용하기 위해 Nafion[®]을 이용하여 기본적인 특성을 분석하였다. 전도성 고분자를 이용한 액츄에이터는 구조 및 제작 방법이 매우 간단하고, 동작 전압이 낮으며, 동작시 열, 전자기파 등을 발생하지 않는 특성을 지닌다.

제작된 액츄에이터는 $\pm 10^\circ$ 정도의 bending angle 을 4 V 정도의 전압에서 안정적으로 얻을 수 있으며, 빠른 응답속도를 보여 bending 액츄에이터로서의 실제적인 응용 가능성을 갖는 것으로 평가된다.

본 논문은 선도기술개발사업 (초소형 작동형 내시경개발) 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] G. Mercouri, "Conductive Polymers", Journal of C&EN, pp. 36-54, 1990.
- [2] John R. Reynolds, "Electrically conductive polymers", Journal of CHEMTECH, pp. 440-447, 1988.
- [3] A. Torii and A. Ueda, "Biomimetic Actuator Using Ion-Conducting Polymer Film", Proc. Int. Symp. on Microsystems, Intelligent Materials and Robots, pp. 403-406, 1995.
- [4] Shuxiang Guo et. al., "Micro Cather System with Active Guide Wire" Proc. IEEE Int. conf. Robotics and Automat. pp. 79-84, 1995.
- [5] K. Dusek (ed.), Responsive Gel : Volume Transitions I, Springer-Verlag, 1993.