

IPMC의 동적특성

Dynamic Characteristics of Ionic-Polymer-Metal-Composite

전진한*, 신동균*, 이관호*, 오일권**
J.H. Jeon, D.G. Shin, K.H. Lee and I.K. Oh

Key Words : IPMC, Actuator, Sandblasting, Surface Electroding, Counter Ions,

ABSTRACT

Ionic-polymer-metal-composite(IPMC), one of new actuation materials of electroactive polymers plated with noble metallic electrodes is known for the fast bending upon electric field. The IPMC strip bends towards anode under electrical field. It has many merits of low driving voltage, quick responsiveness, high durability, possibility of miniaturizability. In this paper, we studied for developing the large deflection of IPMC according several fabricating parameters. We measured the large deflection by the different process of sandpaper and sandblasting in surface treatment, the initial compositing process and the surface electroding process, and the different counter ions in ion exchanging process. In fundamental, the displacement of IPMC strip depends on voltage magnitude and applied signal frequency and its maximum deformation is observed at a critical frequency, resonant frequency.

1. 서론

IPMC는 Nafion(Dupont)과 같은 플루오르로 치환된 이온 교환 고분자 막에 금 또는 백금금속을 화학적으로 코팅한 형태를 이루고 있다.

IPMC는 Nafion 막의 양면에 전극을 형성하여, 액추에이터 혹은 센서로 사용할 수 있는 기능성 물질로, 고분자 자체가 갖는 생체 적합성을 가지고 있고, 수분을 함유하여 부드러운 조직을 갖는 특성으로 인해 생체내에서 구동 가능한 액추에이터 물질로서 장점을 가진다. 또한 가볍고 유연한 물리적 특성 이외에, 낮은 주파수, 구동전압에서 작동하며 반응시간이 상당히 높다는 특징을 갖는다[1].

본 연구에서는 Nafion 필름을 이용하여 IPMC 액추에이터를 제작하고 제작과정 상에 차이를 두어 IPMC의 기본원리 및 대변위 특성을 파악하고자 한다.

2. IPMC의 원리와 특성

2.1 IPMC 동작 원리

그림 1은 IPMC의 작동원리를 설명하는 도식도이다. IPMC는 전압 인가시 이온들의 움직임으로 수축과 팽창에 의해 구동된다. 즉, IPMC가 전기장에서 고분자 막의 양면에 적층된 전극으로 전류가 흐르면, 고분자 막내의 이온-수분클러스터들이 활

발히 움직이게 되어 양극에서 음극으로 이동하게 된다. 이때, 음극은 이온들의 과다분포로 팽창이 되고 양극은 수축이 되어 양극으로 굽힘이 일어나서 구동된다.

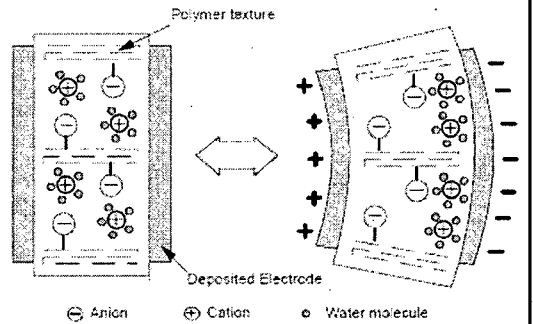


그림 1. IPMC의 작동 원리 도식도

2.2 IPMC 특성

IPMC는 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- ① 작은 전압 인가로 쉽게 구동될 수 있다.
- ② 수용액 속에서도 활발히 구동된다.
- ③ 외부에서 가해지는 힘에 의한 IPMC의 Bending은 Sensor로서의 역할도 할 수 있다.
- ④ 상대적으로 큰 변위를 만들며, 재료가 부드러워(생체적합성이 뛰어나) 활용분야가 넓다.
- ⑤ 인간의 근육과 비슷한 강인성(toughness), 변형-힘의 상관관계를 가지고 있다.

*전남대학교 기계시스템공학부

**전남대학교 기계시스템공학부 교수

(ikoh@chonnam.ac.kr)

3. IPMC 제작과정

3.1 IPMC 제작과정[2]

전처리(표면처리) ⇒ 이온흡착 ⇒ 1 차도금
 (reduction : 깊이 방향 금속화) ⇒ 2 차도금
 (developing : 표면전극화) ⇒ 이온교환

(1) 전처리(표면처리)과정

① 목적 - Nafion 필름은 플루오르화 구조로 되어있기 때문에 PTTE(polytetrafluoroethylene)와 유사한 특성을 가지며 표면 접착력이 낮다. 따라서 표면을 거칠게 하고 단면으로 백금의 흡착을 용이하게 하는 과정이 필요하다.

② sandpaper(2000mesh) 또는 sandblasting(A media 3bar)하여 막의 거칠기(roughness)를 크게 하여 표면 접착력을 높인다.

(2) 이온흡착

① 목적 - Nafion 의 hydrophilic 영역에 Pt Complex 를 뿌려 H⁺를 [Pt(NH₃)₄]²⁺ 으로 이온교환(흡착)시킨다.

(3) 1차 도금(reduction)

① 목적 - Nafion 내부로 흡착된 백금염을 백금 금속으로 환원시켜 내피온의 깊이 방향 금속화가 이루어지는 과정이다.

(4) 2차 도금(developing)

① 목적 - 흡착/환원의 도금 과정에서 Nafion 의 표면의 백금 입자에 백금이온을 결합하여 표면저항을 감소시키는 표면 전극화 과정이다.

(5) 이온교환

① 목적 - 제작한 IPMC 내부에 존재하는 H⁺이온을 양이온(Na⁺, Li⁺, Cu²⁺)으로 교환하는 과정이다. 1.5N 의 NaCl, LiCl, CuSO₄ 용액에 담궈 이온 교환시킨다.

4. 구동 특성 실험

4.1 구동 및 측정 장치

① 구동 Test 과정

㉠ 제작을 마친 IPMC 를 4mm×30mm 날카로운 칼날로 한번에 자른 후 미리 만들어진 구리전극에 clamping (4mm×25mm) 시킨다.

㉡ Function Generator(Tektronix AFG320) 장비로 사인파를 구동시켜 시편에 전압을 인가

시킨다.

㉢ 사인파형의 주파수와 진폭을 변화시키며, 그림 2 와 같이 레이저 변위계로부터 NI-PXI 장비로 신호를 받아 구동 테스트를 한다.

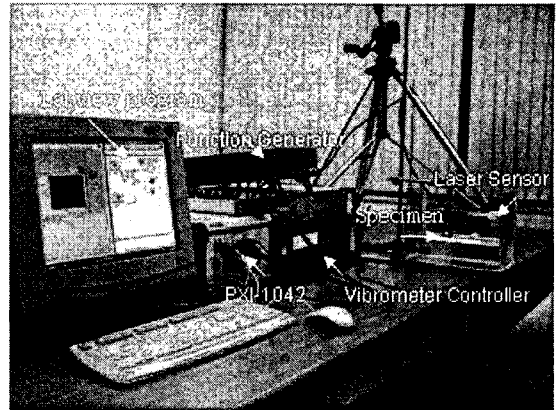


그림 2. 실험장비

4.2 기초 구동 특성

4.2.1 전압, 주파수에 따른 변위 특성

IPMC 는 기본적으로 구동 전압을 증가시킬수록 그 변위 및 힘이 증가한다.[3] 하지만, 2V 이상으로 전압을 가했을 경우 물의 전기분해가 일어나게 되어 오랜 시간 구동을 지속할 경우 IPMC 필름에 손상이 온다. 그림 3 를 보면 2V 에서 변위가 그리 크지 않은 것은 전기분해 현상의 영향이 커서인 것 같고, 2.5V 에서는 전압의 영향이 구동에 더 크게 미치기 때문인 것 같다. 3V 를 초과하면 변위의 변화량이 줄어드는 것을 볼 수 있는데 이것은 IPMC 를 구성하는 기본물질이 고분자 막이라는 특성에 기인한 것으로 보인다.

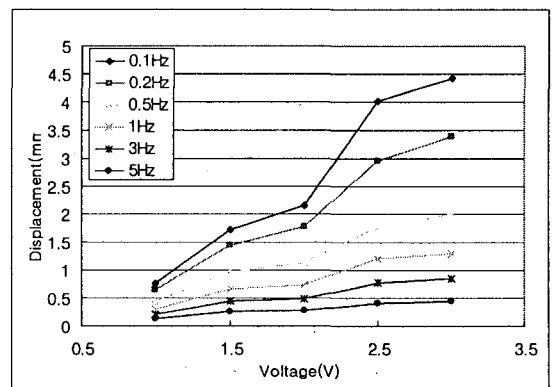


그림 3. 주파수와 전압에 따른 변위 특성 (Li⁺)

4.2.2 표면처리에 따른 변위 비교

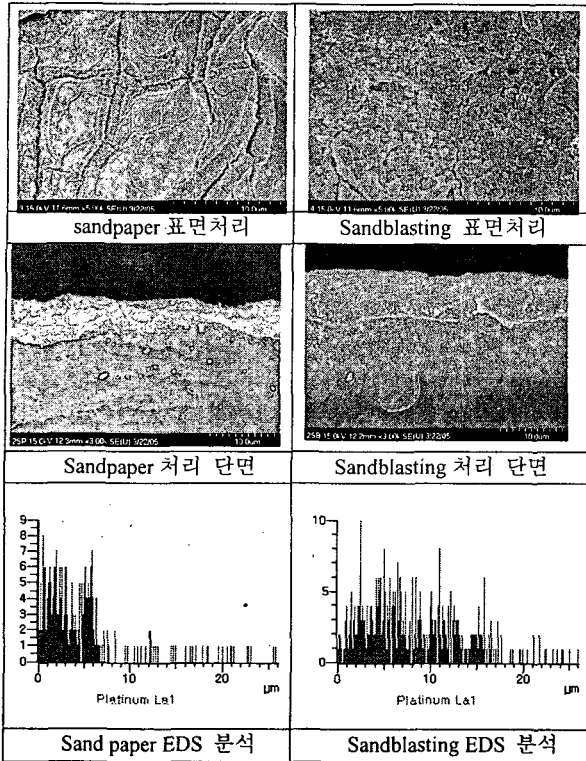


그림 4. SEM 및 EDS 분석

그림 4의 SEM 표면을 보면 Sandblasting 표면이 Sandpaper 보다 crack 이 적어 표면에 더 골고루 백금이 분포되어있고, 단면 및 EDS 분석을 보면 깊이 방향으로도 더 침투했음을 알 수 있다. 그로 인해 그림 5 와 같이 Sandblasting 에서 더 좋은 변위를 보였다.

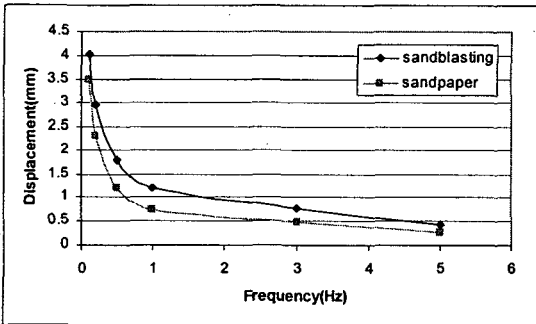


그림 5. 표면처리에 따른 변위 ($Li^+ \pm 2.5V$)

4.3 1차, 2차 도금 차이에 의한 변위 비교

Sandpaper 표면처리 후 그림 6 을 통해 1차와 2차 도금의 SEM 단면을 비교해보면, 2차 도금을 한 후에 표면의 울퉁불퉁한 부분이 flat 해짐을 알

수 있었다. 이로 인해 표면이 개질되며 전극화되기 때문에 표면저항이 적어져 그림 7 과 같이 변위가 잘 나온 것 같다.[4]

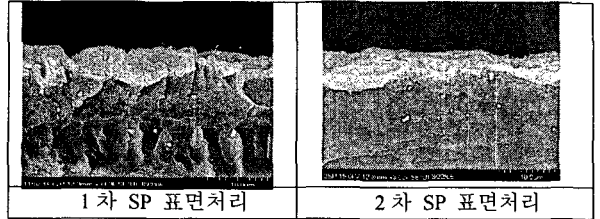


그림 6. SEM 단면 촬영

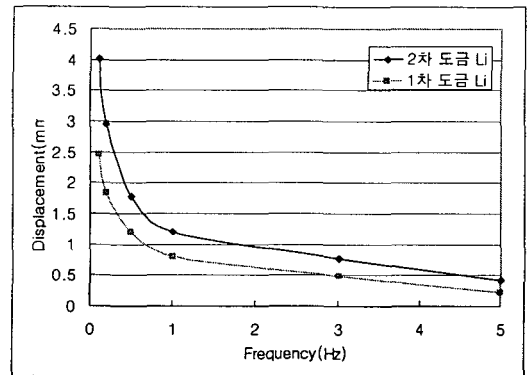


그림 7. 1차, 2차 도금 따른 변위 ($Li^+ \pm 2.5V$)

4.4 양이온(Na^+ , Li^+ , Cu^{2+})의 종류에 따른 특성

이온교환 과정에서 다양한 양이온을 이용하여 IPMC의 대변위 특성을 살펴보자. 그림 8에 따르면 변위측정 결과는 $Li^+ > Cu^{2+} > Na^+$ 로 Li의 분자크기가 작아 빠른 반응시간을 제공하여 변형이 더 크다[5,6].

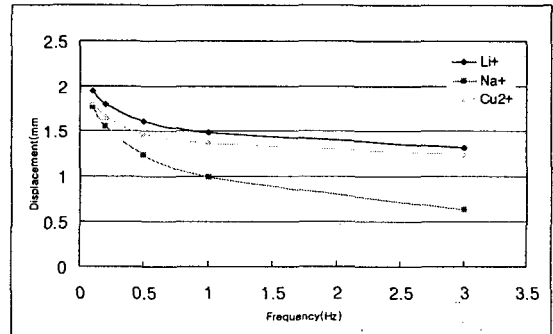


그림 8. 양이온에 따른 변위 특성 그래프 ($\pm 2V$)

4.5 구동파형에 따른 변위 특성

IPMC는 전기적으로 하이패스필터의 특성을 가진다. 아래 그림 9와 같이 사각파를 이용한 구동

시에는 전압이 변화하는 순간에 회로가 단락되고, 전류소모가 커 변위 또한 크다. 반면 사인파나 삼각파는 하이패스 필터의 효과에 의해서 소모 전류가 상당히 작아지고 이로 인해 변위가 다소 감소하는 것을 볼 수 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초 연구(R01-2005-000-10848-0(2005))지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- (1) Mohsen Shahinpoor, Kwang J Kim 2001 "Ionic polymer-metal composites : I. Fundamentals" *Smart Materials and Structures*, Vol. 10 pp. 819-833
- (2) Mohsen Shahinpoor, Kwang J Kim 2003 "Ionic polymer-metal composites : II. Manufacturing techniques" *Smart Materials and Structures*, Vol. 12 pp. 65-79
- (3) Seung-Eun Cha, Jungho Pak, Seung-Ki Lee, 2002 "백금의 무전해 도금에 의한 이온성 고분자-금속 복합물 액추에이터의 제작 공정 및 특성 측정" 대한전기학회 Vol. 51C No. 9 pp. 455-463
- (4) Mohsen Shahinpoor, Kwang J Kim 2000 "The effect of surface-electrode resistance on the performance of ionic polymer-metal composite(IPMC) artificial muscles" *Smart Material and Structures*, Vol. 9 no.4 pp. 543-551
- (5) Kazuo Onishi, Shingo Sewa, Kinji Asaka, Naoko Fujiwara, Keisuke Ogro 2001 "The effects of counter ions on characterization and performance of a solid polymer electrolyte actuator" *Electrochimica Acta*, Vol. 46 pp. 1233-1241
- (6) Mikio Uchida, Minoru Taya 2001 "Solid polymer electrolyte actuator using electrode reaction" *Polymer*, Vol 42 pp. 9281-9285
- (7) Jung K.M., Nam J.D., Choi H.Y. 2003 "Investigations on actuation characteristics of IPMC artificial muscle actuator" *Sensors and Actuators A*, Vol. 107 pp. 183-192

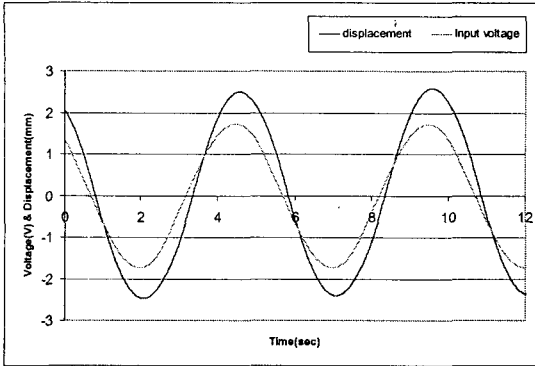


그림 9. 구동 파형에 따른 변위 특성 그래프

4.6 Hysteresis for tip displacement

그림 10 에서 같이 IPMC 자체가 저항체로서 전류를 소모하기 때문에 에너지 소산이 발생한다. 이런 이격현상은 작동기, 센서 그리고 감쇄특성 향상연구에 있어 매우 중요한 정보를 제공하고 있다.

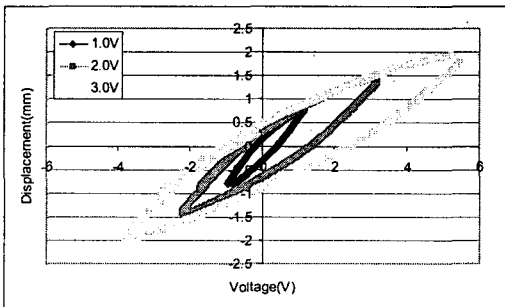


그림 10. 전압과 변위 hysteresis 특성 그래프 (2Hz)

5. 결 론

이번 연구에서는 IPMC 제조방법 구현과 대변위를 위한 다양한 실험을 하였다. 표면처리과정에서 새로운 샌드블래스팅 방법을 적용했고, 2차 도금을 통한 표면개질 및 양이온의 교체로 더 큰 변위를 얻을 수 있었다. 앞으로 다양한 샌드블래스팅 조건과 표면개질 방법에 대한 고찰로 IPMC 성능향상 연구 및 이를 바탕으로 제어이론들을 접목하여 IPMC 고유 특성인 Sensor - Actuator 기능에 대해 연구를 진행하고자 한다.