

IPMC-EMIM을 이용한 AF Lens Actuator 설계

Design of AF Lens Actuator using IPMC-EMIM

김성주† · 김철진* · 양현석* · 박영필* · 박노철* · 박강호** · 이형근** · 최낙진**

Sung-Joo Kim, Chul-Jin Kim, Hyun-Seok Yang, Young-Pil Park, No-Cheol Park, Gang-Ho Park, Hyung-Gun Lee and Nak-Jin Choi

Key Words : ionic polymer-metal composites(IPMC), AF Lens Actuator

ABSTRACT

IPMC-EMIM (Ionic Polymer Metal Composites + 1-ethyl-3-methyl imidazolium trifluoromethane sulfonate, EMIM-Tfo) is fabricated by substituting ionic liquid for water in Nafion film, which improves water sensitiveness of IPMC and guarantees uniform performance regardless of the surrounding environment. In this paper, we will introduce the design and analysis of AF Lens Actuator using IPMC-EMIM. We will briefly introduce the procedure of fabrication of IPMC-EMIM first, and proceed on to define the necessary variables, analyze performance by changing the value of the variables, make a designed AF Lens Actuator, and measure the performance of one of them.

기 호 설 명

- l_i : IPMC actuator의 길이
- l_b : 힌지부분에 연결된 Bar의 길이
- θ_i : IPMC actuator의 굽힘에 의해 발생한 각도
- θ_b : 수직축과 Bar가 이루는 각도
- h : 렌즈가 움직이는 수직축 변위
- d : IPMC에 의해서 발생한 변위
- F : IPMC에 의해서 발생하는 힘
- F_L : 렌즈부가 가지고 있는 반력
- F_y : IPMC에 의해 렌즈부에 전달되는 힘

1. Introduction

휴대기기에 카메라, 게임, 멀티미디어 기능이 부가되고 DMB, 휴대인터넷, 화상 통화 등 새로운 개념의 서비스가 등장하는 등 모바일 컨버전스가 심화되고 있다. 특히, 휴대폰시장에서 2002년 4.3%에 불과했던 카메라

폰 비중이 2006년에는 46.9%까지 높아지고, 경쟁이 심해지면서 고화소수, 접사, 원사 기능 등을 갖춘 고사양, 초소형 카메라 모듈의 개발이 이뤄지고 있다.

접사 기능을 위해서는 자동 초점 조절 (AutoFocus, 이후 AF) 기능이 필요하다. 현재 AF 렌즈 구동 방식으로는 직경 3mm이하 소형 스텝모터 방식, 광픽업 액추에이터에 사용되었던 VCM 방식, PZT 방식 등이 적용되어 사용되고 있다. 이 중 가장 많이 사용되는 VCM의 경우, 간단한 구조와 안정적인 구동의 장점이 있지만, 소형화되며 소모전력 증가, 구조적 취약성 등의 문제점도 가지고 있다.

Electro Active Polymer Actuators(EAP Actuator)의 한 종류인 Ionic polymer metal composite (IPMC)는 연구된 EAP 중 가장 실용가능성이 높은 소재이다. 폴리머 소재라 가볍고, 유연하며, 소음이 전혀 없고, 3V이하의 저전압, 저전력으로 수mm의 구동이 가능하다. [1]. 특히 저전력에서 작동이 가능하다는 점과 마이크로 구조물 제작이 용이하다는 점이 휴대용기기 AF 렌즈 Actuator로 매력적이다. 그러나 IPMC는 내부에 존재하는 물분자의 이동으로 구동하기 때문에, 외부 수분 상태에 따라 민감하게 반응하고, 건조한 곳에서 장시간 구동할 때, 내부의 수분이 증발되면서 구동력이 현격하게 변화하는 성질이 있다.

IPMC-EMIM은 수분에 민감한 IPMC의 내부 수분을 ionic liquid로 대체하여 제작한 IPMC이므로, 수분에 민

† 교신저자; 연세대학교 기계공학과
E-mail : bluedahlia7@yonsei.ac.kr
Tel : (02) 2123-2824, Fax : (02) 365-6769

* 연세대학교 기계공학과

** 한국전자통신 연구원

감한 IPMC를 개선하여 외부 환경 변화에 둔감하고 안정적인 구동을 보장해 줄 수 있다. 본 연구는 IPMC-EMIM을 이용한 AF 렌즈 Actuator의 설계와 해석을 소개한다. 먼저 간략하게 IPMC-EMIM 제작 과정을 소개하고, Actuator module 설계에 필요한 변수를 정한 후에 변수에 따른 성능차이를 분석해 보았으며, 나아가 간단하게 제작하여 설계된 구동기의 성능을 측정해보았다.

2. Working Principle of IPMC-EMIM and Fabrication Method

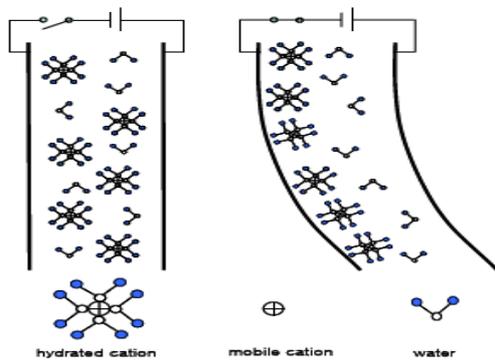
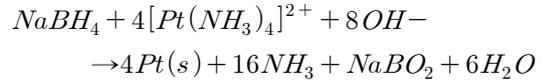


Figure 1 Working principle of IPMC

IPMC는 Nafion 필름 양쪽에 금속을 도금하여 제작되며, 그림 1에서 보는 것과 같이 양쪽 전극에 전압이 인가되면 Nafion 필름 내부에 전기장이 형성 되고, 필름 내부의 양이온에 붙어있는 물분자가 음극 쪽으로 이동하게 되므로 양극 쪽은 수축, 음극 쪽은 팽창하여 양극 방향으로 굽힘이 발생하게 되는데, 이것이 구동 원리다. 여기서 사용된 용매가 물이기 때문에, 전기분해 및 자연 증발로 인한 손실로 IPMC 작동성능에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위하여 양이온과 용매를 변경하여 작동성능과 작동시간을 개선하려는 연구가 꾸준히 진행되어 왔다[2]. 그 연구의 일환으로 용매를 Ionic Liquid (1-ethyl-3-methyl imidazolium trifluoromethane sulfonate, EMIM-Tfo)로 치환하여 단점을 극복하려는 시도가 있었고, 본 연구는 이러한 IPMC를 IPMC-EMIM로 명명하여 제작 사용하였다.

IPMC-EMIM의 제작과정은 다음과 같다. 먼저, Nafion 필름과 Pt와의 접촉력 증가를 위해 O₂ 플라즈마 또는 샌드 블라스트처리를 실시한 후, 이온교환을 통해 Nafion의 친수성기인 술포산기

(-SO₃H)의 H⁺를 Pt 이온기 [Pt(NH₃)₄]²⁺로 치환한다. 그 후에 앞의 과정에서 Nafion 내부에 흡착된 백금염을 백금금속으로 환원한다. 1차 환원에 관련된 화학식은 아래와 같다.



1차 환원이 끝난 후에는 전극(Pt)의 저항을 줄이기 위해서 1차 환원된 금속(Pt)층 위에 추가의 금속(Pt)을 환원시킨다. 그 후에 Nafion 내부에 존재하고 있는 H⁺이온을 양이온으로 치환한다[5]. 그 후에 마지막 과정으로 진공상태에서 건조시켜서 물을 제거한 후, EMIM-Tfo와 MeOH의 혼합 용액에서 용매를 치환하므로 용매가 물에서 이온릭 리퀴드로 치환된 IPMC-EMIM의 제작이 완료된다.

3. Design of IPMC-EMIM AF Lens Actuator

제안한 AF 렌즈 Actuator는 기존의 IPMC 구동 방식과 다르게 힌지 구조를 사용하여 IPMC-EMIM의 수평운동을 수직운동으로 변환하는 구조로 설계하였다. 이전 IPMC 구동 방법은 IPMC의 굽힘 변형을 그대로 이용하여 변위를 발생시키므로 변위 확대를 위해서는 모듈의 크기가 커져야 하는 단점을 가지고 있었다. 그러나 제안한 방식은 모듈의 크기를 일정하게 유지 하면서 변위 확대가 가능하다는 장점이 있다.

그림 2는 힌지 메커니즘을 간단하게 도시하였다. 그림에서 화살표가 폴리머 구동기의 굽힘력으로 힌지구조를 통해 수평 방향 운동을 수직 방향 운동으로 변환하는 모습이다. 그림 3은 이와 같은 구조를 통해 제작될 자동 초점용 구동기의 렌즈 구조물의 형상이다.

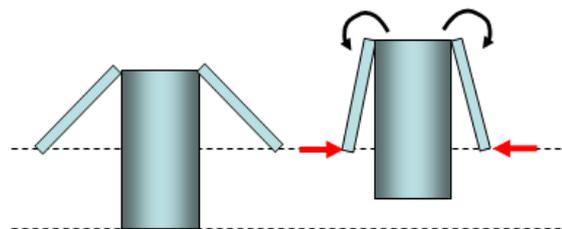


Figure 2 Principle of proposed AF Lens Actuator

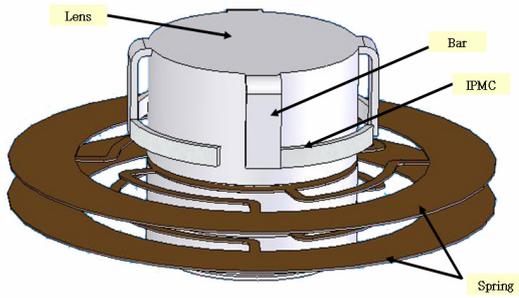


Figure 3 Concept of proposed AF Lens Actuator

그림에서 보는 바와 같이 구조물은 크게 렌즈가 위치할 부분과 힌지와 IPMC-EMIM의 구동 부분, 전체를 지지하는 판 스프링 부분으로 나뉜다. 먼저 렌즈의 틸트를 막기 위하여 두 개의 판 스프링으로 지지되는 구조로 설계 하였다. 상용 FEM 프로그램인 ANSYS를 이용하여 기존의 판스프링 1개 보다 우수한 틸트 성능을 보임을 확인할 수 있었다. (그림4,5 참조)

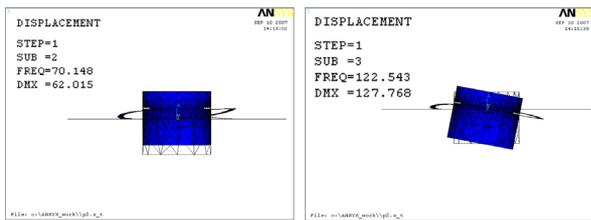


Figure 4 Modal Analysis of AF Lens Actuator with 1 spring

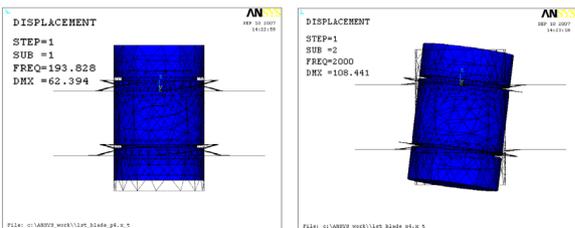


Figure 5 Modal Analysis of AF Lens Actuator with 2 springs

모듈의 크기의 제약으로 IPMC-EMIM의 길이는 6mm로 설계 하였다. 그에 따른 최적 힌지의 길이를 찾기 위해 다음과 같이 수학적으로 예측 하였다. 이 과정에서 IPMC-EMIM과 힌지부를 강체로 가정하였고, 회전 부에서의 모멘트를 무시 하였고, 힌지부분에서의 에너지 손실이 없다고 가정하였다. IPMC-EMIM의 굽힘에 의해 발생하는 변위는 렌즈부의 힌지에 연결되어 있는 굽힘동작을 발생시키며 이 굽힘은 렌즈부의 수

직운동을 발생시키게 되고 이를 수식으로 정리 하면 다음과 같다.

$$h = l_b \left\{ 1 - \cos \left[\sin^{-1} \left(\frac{l_i}{l_b} \sin \theta_i \right) \right] \right\} \quad (1)$$

or

$$h = l_b \left\{ 1 - \cos \left[\sin^{-1} \left(\frac{d}{l_b} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

(1)식을 이용하여 구한 힌지의 길이에 따른 렌즈부의 수직방향 변위발생 및 (2)식을 이용하여 구한 IPMC-EMIM의 끝부분의 변위발생에 따른 렌즈부의 변위발생결과는 그림 5에서 볼 수 있듯이 bar의 길이가 짧을수록 구동하는

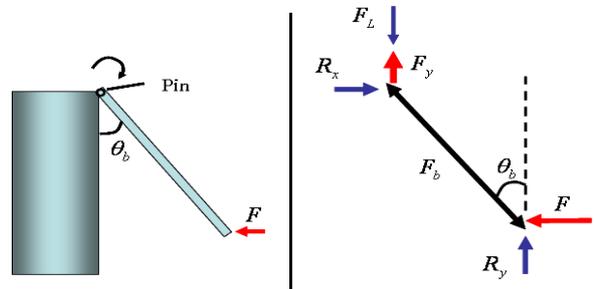


Figure 6 Force to Lens by IPMC

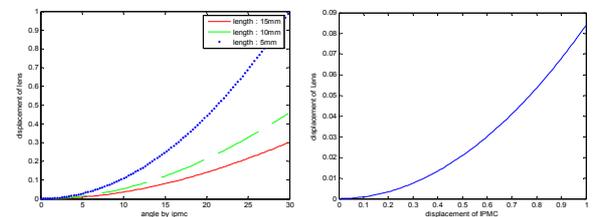


Figure 7 Displacement of Lens by changing length of Bar and motion of IPMC

범위 내에서는 더 빠른 속도로 작동하며 더 많은 변위를 만들어 낼 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 IPMC-EMIM가 1mm의 변위를 발생시킬 경우 렌즈부는 83.9μm정도의 변위가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 Pin에 의해서 렌즈부와 연결되어 있는 Bar에 의해서 전달되는 IPMC-EMIM의 힘은 그림 6과 같이 표현되며 이를 식으로 정리하면 (3)과 같다.

$$F_y = 2F \sin \left(2 \sin^{-1} \frac{d}{l_b} \right) - F_L \quad (3)$$

식 (3)을 통해서, IPMC-EMIM에 의해서 발생하는 힘의 크기는 발생하는 변위에 비례하여 선형적으로 증가하여 렌즈부에 전달되는 것을 확인할 수 있다.

4. Experimental Results

렌즈 구동기에 사용하기 전, 제작된 IPMC-EMIM의 특성을 알아보기 위해 바 형태의 구동기 특성을 확인해 보았다. 실험에 사용된 IPMC-EMIM는 길이와 폭이 6mm×3mm로 제작되었으며, 한쪽 부분을 전극에 고정시켜 전압을 인가할 수 있도록 했다. IPMC-EMIM의 양쪽 전극에 전압을 인가하게 되면, 전압에 따른 IPMC-EMIM의 굽힘이 발생하게 되며, 이는 Bar(stiffness : 1gf/mm)에 힘을 가하여 Bar의

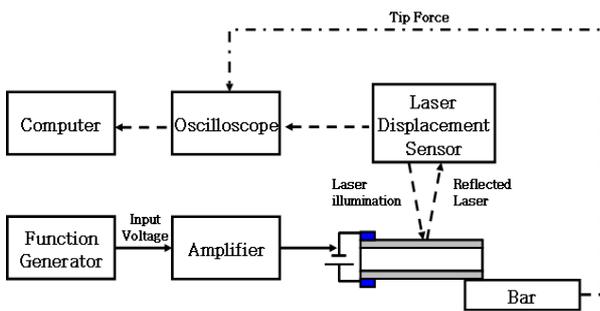


Figure 8 Experimental setup

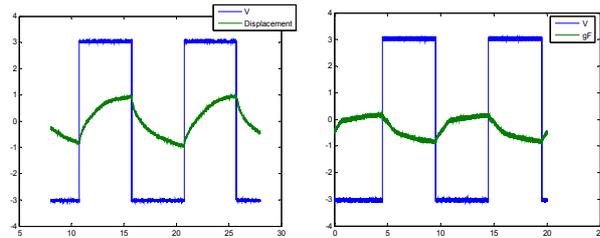


Figure 9 Displacement and gram Force of IPMC under 3V

처짐을 발생시키게 된다. Laser Displacement (Keyence LC2440)를 이용하여 IPMC-EMIM의 변위를 측정하였다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 0.1Hz의 사각파를 인가하였을 때 최대 ±1mm의 변위를 발생시켰고, 발생된 힘은 0.578gf임을 확인 하였다.

AF 렌즈 모듈은 그림 8과 같이 제작하였다.

3V 0.1Hz의 사각파를 인가하였으며 그에 따른 렌즈부의 변위는 그림 9에서 확인할 수 있과 같이 나타났으며, 최대 ±14.8μm의 변위가 발생하였다.

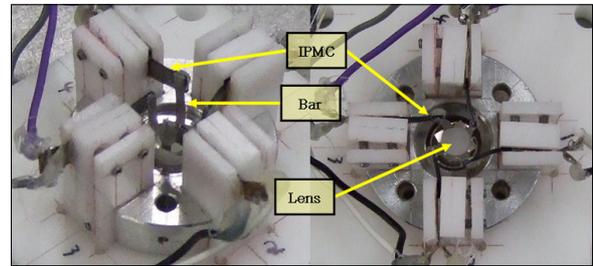


Figure 10 AF Lens Module

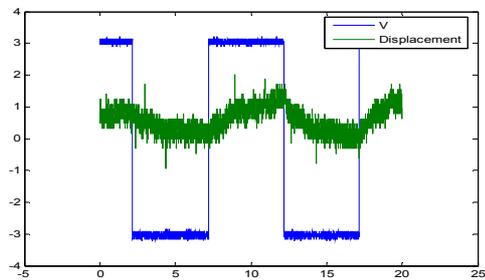


Figure 11 Displacement of Lens by IPMC

5. Future Works

본 연구에서는 카메라 모듈의 크기를 줄일 수 있는 IPMC-EMIM를 이용한 카메라용 AF 렌즈 Actuator의 새로운 모델을 제안하였다. 새로 제안하는 모델은 기존 Actuator 구조와는 달리 렌즈의 측면 부분에 장착이 가능하여 전체적인 모듈의 크기를 소형화하는데 매우 유리하다. 모델을 설계하는데 있어서 필요한 여러 변수를 선정하여 결과를 예측해보았으며, 제작하여 실험을 통해 모델의 타당함을 검증해보았다. 하지만 실험을 위해 제작한 모델을 이용하여 측정한 결과 IPMC-EMIM의 변위와 렌즈의 변위간의 비율이 너무 낮음을 확인하였고, 렌즈의 움직임 원하는 목표인 250μm에 미치지 못함을 확인하였다. 이는 우리가 실험을 위해 제작한 모델의 힌지부분을 pin구조로 제작하지 못하여 그 부분에서 많은 에너지를 손실되어 IPMC-EMIM에 의해 발생하는 에너지를 렌즈에 효과적으로 전달하지 못하였기 때문으로 추측된다. 따라서 이를 높이기 위한 힌지부분에 의한 에너지 손실을 줄이기 위한 모델 개선과 더불어 IPMC-EMIM

의 변위와 힘을 증가시키기 위한 실험을 지속적으로 수행할 계획이다.

Acknowledgement

본 연구는 정보통신부 유비쿼터스 단말용 부품/모듈 사업의 일환으로 한국전자통신 연구원의 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- (1) Mohsen Shahinpoor and Kwang J Kim, "Ionic polymer metal composites : I Fundamentals ", Smart Structures and Materials, 2001, pp.819-833
- (2) Soon-Gie Lee and Hoon-Cheol Park, "Performance Improvemet of IPMC for a Flapping Actuator." International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 4, no. 6, pp. 748-755, 2006
- (3) Conway, N.J. and Sang-Gook Kim, "Large-strain, piezoelectric, in-plane micro-actuator Micro Electro Mechanical Systems", 17th IEEE International Conference on, pp.454-457
- (4) Kwang J Kim and Mohsen Shahinpoor and, 2003, "Ionic polymer metal composites : II Fundamentals ," Smart Structures and Materials, pp65-79.
- (5) K.Oguro., "Ion-exchange polymer metal composites(IPMC) membranes." Preparation Procedure, http://ndea.jpl.nasa.gov/nasa-nde/lommas/eap/IPMC_Prep_Procedure.htm