

# 마이크로 펌프 응용을 위한 이온성 고분자-금속 복합체를 이용한 멤브레인형 마이크로 액추에이터 제작에 관한 연구

論 文  
52C-7-5

## A Study on the Fabrication of a Membrane Type Micro-Actuator Using IPMC(Ionic Polymer-Metal Composite) for Micro-Pump Application

趙成桓\* · 李承起\*\* · 金柄奎\*\*\* · 朴政浩§  
(Sung-Hwan Cho · Seung-Ki Lee · Byungkyu Kim · Jungho Pak)

**Abstract** - IPMC(Ionic Polymer-Metal Composite) is a highly sensitive actuator that shows a large deformation in presence of low applied voltage. Generally, IPMC can be fabricated by electroless plating of platinum on both sides of a Nafion (perfluorosulfonic acid) film. When a commercial Nafion film is used as a base structure of the IPMC membrane, the micro-pump structure and the IPMC membrane are fabricated separately and then later assembled, which makes the fabrication inefficient. Therefore, fabrication of an IPMC membrane and the micro-pump structure on a single wafer without the need of assembly have been developed. The silicon wafer was partially etched to hold liquid Nafion to be casted and a 60- $\mu\text{m}$  thick IPMC membrane was realized. IPMC membranes with various size were fabricated by casting and they showed 4-20 $\mu\text{m}$  displacements from 4mm $\times$ 4mm, 6mm $\times$ 6mm, 8mm $\times$ 8mm membranes at the applied voltage ranging from 2Vp-p to 5Vp-p at 0.5Hz. The displacement of the fabricated IPMC membranes is fairly proportional to the membrane area and the applied voltage.

**Key Words** : IPMC(Ionic Polymer Metal Composite), MEMS, Membrane, Casting, Micro-pump, Actuator, Nafion

### 1. 서 론

이온성 고분자-금속 복합체(Ionic Polymer-Metal Composite)는 내피온(Nafion®: perfluorosulfonate ionomer, Dupont)막의 양면에 전극을 형성하여, 액추에이터 혹은 센서로 사용할 수 있는 기능성 물질로서, 고분자 자체가 갖는 생체 적합성이나 수분을 함유하며 부드러운 조직을 갖는 특성으로 인해 생체 내에서 구동 가능한 액추에이터 물질로서 상당한 가능성을 가진다[1]. IPMC는 가볍고 유연한 물리적 특성 이외에, 1-2V의 낮은 전압에서 상대적으로 큰 변형을 가지며 빠른 반응시간(120Hz 이상) 및 연속적인 구부러짐(약 100,000회 이상), 그리고 마이크로 구조물로의 제작이 용이하다고 알려져 있다. 또한 동작 시 열이나 전자기파 등이 발생하지 않기 때문에 생체기계적(biomechanical) 응용 및 생체모방형(biomimetic) 응용, 인공근육처럼 작동하는 액추에이터 제작 등에 응용되고 있다[1, 2].

IPMC의 응용 사례로는 Osada 등에 의한 내시경(catheter)에의 응용, 타원형의 마찰구동(EFD : Elliptical

Friction Drive) 액추에이터 소자 등을 들 수 있다[3,4]. 또한 생체 근육의 모방에도 응용할 수 있는데 Caldwell 등은 인공근육 액추에이터를 개발하였으며, Shahinpoor 등은 연동 운동 형태의 펌프(peristaltic pump)와 인체 근육 강화를 위한 응용, 물고기 로봇(robot fish) 등의 응용을 제안한 바 있다[5,6]. Bar-Cohen 등은 액추에이터의 구동부가 간단하여 유지보수가 어려운 환경에 적합한 IPMC 액추에이터를 우주 관련 응용(space-based application)에 응용하였다[7,8]. 그러나 이러한 응용은 대부분 스트립 형태의 액추에이터를 이용한 경우로, 멤브레인형 액추에이터에 대한 응용은 미흡하였다.

Guo 등은 IPMC가 빠른 반응시간과 연속적인 구부러짐이 가능하고 마이크로 구조물 제작이 용이한 점에 착안하여 멤브레인 형태의 액추에이터를 이용한 캡슐형 마이크로 펌프를 제안하였다[9]. 이 IPMC 마이크로 펌프는 상용화된 내피온 필름(Nafion® 117 film(두께: 180 $\mu\text{m}$ ), dupont)의 양면에 백금을 도금하여 멤브레인형 액추에이터를 제작하고, 이를 펌프의 구조물과 조립한 형태이다. 그러나 상용화된 필름을 사용하기 때문에 다양한 두께의 멤브레인을 얻는 것이 어렵고 내피온 필름의 백금 도금 공정과 펌프 구조물 제작 공정을 개별적으로 진행하여 조립해야 하는 불편함이 있다. 때문에 마이크로 펌프에 응용하기 위한 다양한 두께의 멤브레인형 액추에이터를 제작하고, 개별적인 공정 진행과 조립과정을 최소화하기 위해서는 액상 내피온을 캐스팅하는 방법을 도입할 필요가 있다.

본 논문에서는 MEMS 공정을 이용하여 마이크로 액추에

\* 準 會 員 : 高麗大 電氣工學科 碩士課程  
\*\* 正 會 員 : 檀國大 전기전자컴퓨터공학부 副教授 · 工博  
\*\*\* 正 會 員 : 韓國科學技術研究院 前任研究員 · 工博  
§ 正 會 員 : 高麗大 電氣工學科 教授 · 工博  
接受日字 : 2003年 4月 4日  
最終完了 : 2003年 5月 14日

이터 구조물을 제작하고, 이 구조물에 직접 액상 내피온을 캐스팅하여 별도의 조립과정 없이 IPMC 멤브레인을 얻을 수 있는 공정의 설계를 시도하고, 다양한 멤브레인 크기를 갖는 IPMC 액추에이터의 인가전압에 따른 변위를 측정된 결과를 보인다. 이러한 실험 결과들은 액상 내피온의 캐스팅으로 별도의 조립과정이 필요 없는 IPMC 멤브레인형 마이크로 액추에이터 제작의 가능성을 보이며, 이러한 액추에이터를 이용하면 마이크로 펌프나 밸브 등 다양한 실제적인 응용이 가능할 것이다.

2. 본 론

2.1 IPMC의 동작 원리

IPMC가 동작하는 기본 원리는 이온을 포함한 액체로 채워진 내피온의 양 표면에 전압이 인가될 때, 막 내부의 양이온이 음극(cathode) 방향으로 이동하는 전기-삼투(electro-osmosis) 현상에 기인한다. IPMC의 기본 구성 물질인 내피온은 소수성(hydrophobic)을 띄는 플루오르화탄소 기본사슬(backbone fluorocarbon)로 구성된 고분자가 친수성(hydrophilic)인 클러스터(cluster)로부터 분리되어 있는 구조로 되어 있으며[10] 일반적인 내피온의 화학구조는 그림 1과 같다. 내피온은 PTFE(polytetrafluoroethylene)의 3차원 구조로 되어있으며, 여기에 부분적으로 술폰산 이온기(sulfonic ionic functional group:  $-SO_3H$ )가 걸가지처럼 매달려 규칙적으로 공간을 차지하고 있다.

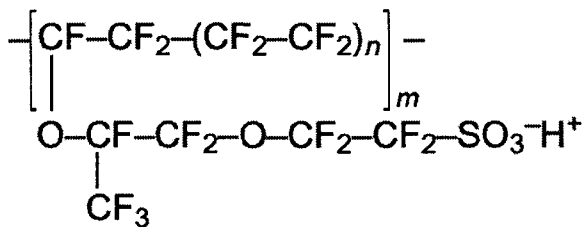


그림 1 내피온의 분자구조  
Fig. 1 Molecular structure of Nafion

술폰산 이온기의  $H^+$ 이온은 이온 교환 과정을 통해  $Na^+$ (혹은  $Li^+$ )이온으로 치환이 가능하다. 치환된  $Na^+$ 이온은 전계 하에서 음극방향으로 이동하는데 이러한 이온의 재배치 현상은 IPMC의 한쪽 면(음극면)을 팽창시키며, 그 결과 구부러짐을 발생시킨다. 양이온이 전기-삼투에 의해 음극 쪽으로 이동하는 원리이므로 낮은 전압에서 변형을 보이며, 교류 신호를 인가하면 공진주파수보다 낮은 주파수에서는 인가한 신호의 진동수 및 진폭에 비례하는 진동을 얻을 수 있다.

그림 2에서와 같이, 제작된 IPMC의 양면에 전압을 인가하면 양이온이 물분자와 함께 음극 쪽으로 이동한다. 따라서 음극 면에서는 물분자의 증가에 의해 부피가 팽창하고 반대로 양극 면에서는 물분자의 감소에 의한 수축이 되어 결국 막이 양극 쪽으로 구부러진다[11].

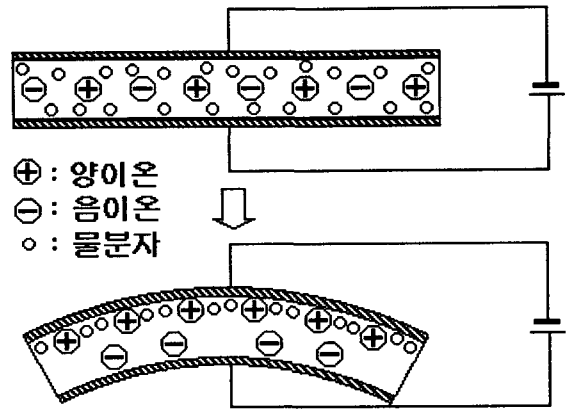


그림 2 이온성 고분자-금속 복합체의 동작원리  
Fig. 2 Bending mechanism of IPMC(Ionic Polymer-Metal Composite)

2.2 액상 내피온 캐스팅을 이용한 IPMC 멤브레인형 마이크로 액추에이터 제작

2.2.1 액상 내피온 캐스팅 및 내피온 박막에 대한 백금 무전해 도금 최적화 과정

상용화된 내피온 필름은 몇 가지 두께로 한정되어 있다. 따라서 마이크로 펌프에 응용하기 위한 얇은 두께의 필름을 얻기 위해 액상의 내피온을 캐스팅하였다. 액상 내피온 캐스팅 과정은 기존의 논문[12]에서 소개한 바와 유사하나, 별도의 조립과정을 필요로 하지 않는 마이크로 액추에이터 제작에 이용하기 위하여, 필름의 자연건조 후 캐스팅 틀을 분리하지 않고 후속공정을 진행하였다. 액상 내피온 캐스팅 과정은 그림 3과 같다. 먼저 액상의 내피온 용액(EW 1000, Dupont)을 기포가 발생하지 않도록 주의하여 캐스팅 몰드에 붓는다.(액상의 내피온은 원하는 필름 부피의 8-9배 정도의 양을 붓는다) 용액의 용매가 적정량만큼 증발할 수 있도록 조절하며, 상온에서 건조시킨다. 자연건조 과정 후 100℃에서 1시간 가량 열처리하여 고분자 결합구조를 강화시킴으로써 필름의 기계적 강도를 향상시키고, 마지막으로 80℃ 내외의 과산화수소와 탈이온화수(DI water)에서 1시간씩 끓여 불순물을 제거한다. 이러한 과정을 통해 얇은 두께의 내피온 필름을 얻는 것이 가능하였다.

일반적으로 IPMC는 상용화된 내피온 필름(Nafion® 117 film(두께: 180μm, dupont)의 양면에 백금을 무전해 도금하여 제작된다. 기존의 연구 결과에서 제시된 백금 무전해 도금 공정[13]은, 180μm 두께의 내피온 필름에 최적화된 전극을 형성하는 것에 초점을 맞춰 진행되었다. 그러나 마이크로 펌프에 응용하기 위한 IPMC 멤브레인형 마이크로 액추에이터에 사용된 내피온 필름의 두께가 더 얇으므로 기존의 내피온은 117 필름보다 얇은 두께의 필름에 백금을 무전해 도금하는 과정이 필요하다. 따라서 얇은 두께의 내피온 막에 최적화된 백금 무전해 도금 과정을 도출하기 위한 실험을 진행하였다.

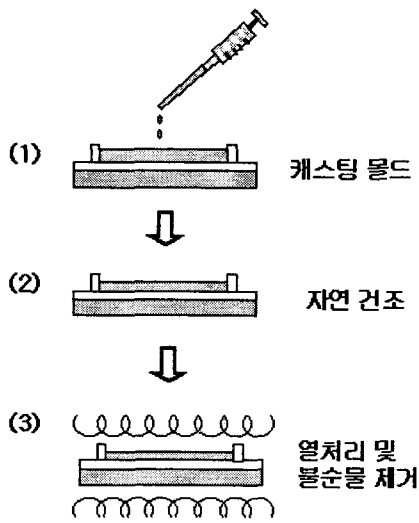


그림 3 액상 내피온 캐스팅 과정  
Fig. 3 Casting process of liquid Nafion

얇은 두께의 내피온 막에 적합한 백금 무전해 도금 과정을 도출하기 위하여, 상용화된 내피온 필름 중 가장 얇은 두께로 판매되는 내피온 112 필름(두께 50 $\mu$ m)에 백금 무전해 도금 과정에 사용되는 백금염과 환원제, 확산제의 양을 조절하여 도금 공정을 진행하였다. 기존의 내피온 117 필름의 도금공정에 사용된 백금염과 환원제, 확산제의 양을 사용한 경우와 사용된 시약의 양을 2/5와 1/5의 양만큼으로 줄일 경우로 나누어 각각 도금 공정을 진행하였고, 도금 공정이 완료된 필름을 스트립형 액추에이터(4mm $\times$ 30mm)로 제작하여 변위를 측정·비교하였다. 스트립형 액추에이터의 변위 측정 방법은 기존 논문[13]에 자세히 기술한 관계로 생략하였다.

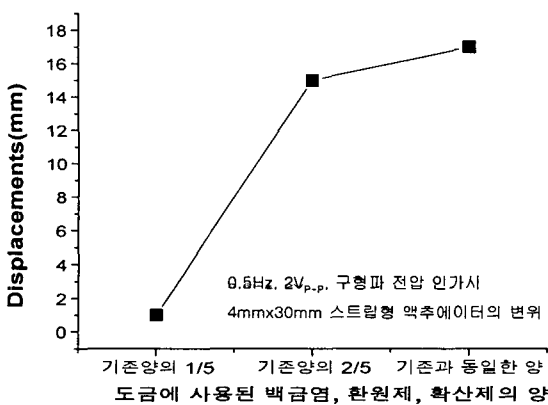


그림 4 백금 무전해 도금에 사용된 백금염, 환원제, 확산제의 양의 감소에 따른 변위 변화  
Fig. 4 Displacement of IPMC versus amount of Pt salt, reducing agent and PVP used for Pt electroless plating

그림 4를 살펴보면 기존 도금 공정과 동일한 양의 백금염, 환원제, 확산제를 사용한 경우와 기존 양의 2/5만큼의 시약만을 사용한 경우는 거의 유사한 결과를 보였다. 그러나 1/5의 시약만으로 도금 공정을 진행한 경우는 변위가 급격히 감소한 것을 관찰할 수 있다. 따라서 기존 시료의 2/5만큼의 양을 사용하여, 시료를 적게 사용하면서 원하는 백금 무전해 도금을 수행할 수 있었다.

### 2.2.2 내피온 필름의 MEMS 공정 적합성 여부 확인 과정

IPMC 마이크로 액추에이터 구조물 제작 과정에 액상 내피온 캐스팅 과정을 도입하여 별도의 조립과정 없이 마이크로 펌프와 같은 MEMS 구조물과 동일 기판에 제작 가능한 액추에이터 공정을 개발하고자 하였다. 이를 위해 우선 MEMS 구조물 제작 공정에 사용되는 화학용액에 의한 내피온 필름의 특성 변화 여부를 확인하는 과정이 필요하였다.

액상 내피온 캐스팅으로 박막을 제작한 후 실리콘 습식식각 용액에 넣어둔 후 꺼내어 IPMC 액추에이터로 제작하였고 이 때 어떠한 특성 변화를 갖는지 확인하기 위한 실험을 진행하였다. 본 실험에서는 실리콘 습식식각에 사용되는 용액 중 5wt% TMAH(Tetramethylammonium Hydroxide) 용액을 사용하였다. 액상 내피온 캐스팅으로 박막을 형성한 이후 5wt% TMAH 용액으로 실리콘웨이퍼 뒷면을 식각하는 공정이 4시간 정도의 시간이 소요되므로, 캐스팅에 의해 형성한 내피온 필름을 TMAH 용액에 4시간 동안 넣어둔 후의 특성 변화를 확인하고자 하였다.

액상 내피온 캐스팅을 통해 얻은 필름 시료와 이 필름을 TMAH 용액에 4시간 동안 넣어둔 시료를 준비하고 백금 무전해 도금을 수행하였다. 전극 도금이 완료된 IPMC는 스트립형 액추에이터(4mm $\times$ 30mm)로 제작하고 변위를 측정하여 비교하였다.

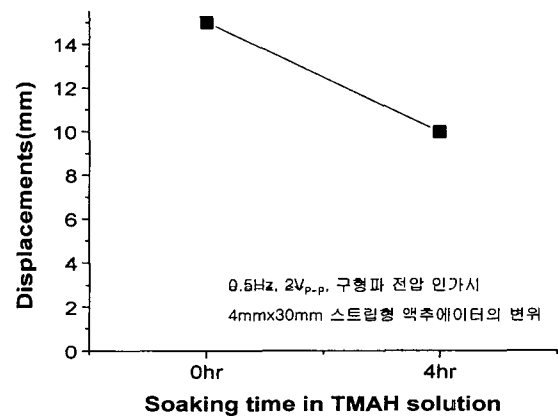


그림 5 Nafion film이 TMAH solution에 노출된 시간에 따른 변위 변화  
Fig. 5 Displacement of IPMC versus soaking time in TMAH solution of Nafion film

그림 5는 이 두가지 시료를 이용하여 제작한 IPMC 스트립형 액추에이터의 변위 그래프이다. TMAH 용액에 4시간 동안 넣어둔 필름을 이용하여 제작한 액추에이터의 경우 그렇지 않은 필름을 이용하여 제작한 액추에이터에 비하여 변위가 33% 감소하였다.

이러한 변위 감소의 원인을 파악하기 위하여 TMAH 용액에 4시간 동안 넣어둔 내피온 필름과 그렇지 않은 필름의 성분 분석을 수행하였다. 성분 분석 결과 내피온 필름이 TMAH 용액에 4시간 동안 노출될 경우 내부의 수소의 함량이 0.73%에서 0.51%로 약 30% 감소하는 것을 확인하였다. IPMC 액추에이터는 내피온 필름의 수소이온이 양이온으로 치환되는 정도에 따라 변위가 영향을 받기 때문에, 내피온 필름 내부의 수소 이온의 감소가 IPMC 액추에이터의 변위 감소의 원인이 된 것으로 볼 수 있다. 성분분석으로부터 TMAH 용액에 4시간 담근 내피온 필름의 수소 함량이 그렇지 않은 내피온 필름보다 30% 감소한 것과 그림 5로부터 변위가 33% 정도 감소한 것이 서로의 연관성을 보여준다. 따라서 이러한 결과를 보완하기 위하여, 내피온 필름이 TMAH 용액에 의해 손상을 받는 시간을 줄여야 하며, 이를 위해 액상 내피온을 캐스팅하기 이전에 마이크로 액추에이터 구조물의 뒷면을 TMAH 용액으로 가능한 깊이까지 미리 식각하는 공정이 필요하다.

2.2.3 IPMC 마이크로 액추에이터 제작 과정

마이크로 펌프 응용을 위한 멤브레인형 IPMC 마이크로 액추에이터는 MEMS 공정을 이용하여 액상 내피온의 캐스팅 몰드 역할을 하는 구조물을 제작하고, 액상 내피온을 캐스팅하여 멤브레인을 형성한 후 백금 무전해 도금 과정을 거쳐 완성된다. 그림 6은 액상 내피온 캐스팅을 이용한 멤브레인형 IPMC 마이크로 액추에이터의 제작 과정이다.

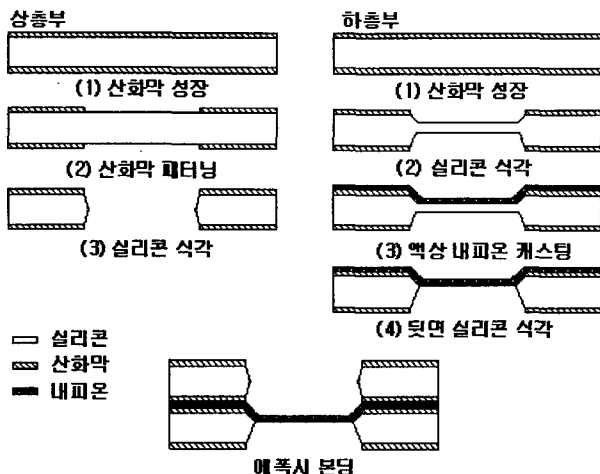


그림 6 액상 내피온 캐스팅 공정을 이용한 IPMC 마이크로 액추에이터의 제작 공정

Fig. 6 Fabrication process of IPMC micro-actuator using Nafion solution casting

이 마이크로 액추에이터는 내피온 멤브레인을 기계적으로 고정하는 상층부와 액상 내피온의 캐스팅 몰드 역할을 하는 하층부로 이루어진다. 상층부는, 500 $\mu$ m 두께를 갖는 4인치 p형 (100) 실리콘 웨이퍼에 산화막을 성장시킨 후, 식각할 부분(하층부의 멤브레인이 형성될 부분과 동일한 부분)의 산화막 양면을 패터닝하고 TMAH(Tetramethylammonium Hydroxide)로 관통식각(through-etch)하여 제작된다. 하층부는 500 $\mu$ m 두께를 갖는 4인치 p형 (100) 실리콘 웨이퍼에 산화막을 성장시키고, 멤브레인이 형성될 부분의 양면을 패터닝한 후 TMAH로 식각한다. 식각한 윗면에 액상 내피온을 캐스팅한 후 건조과정과 열처리 과정을 거쳐 약 50 $\mu$ m 두께의 필름을 형성하고, 아랫면의 남아있는 실리콘을 TMAH로 식각하여 내피온 필름의 양면 모두 노출되도록 한다. 마지막으로 상층부와 하층부를 에폭시 본딩하고 내피온 필름에 백금을 무전해 도금하여 IPMC 마이크로 액추에이터를 완성한다. 백금의 무전해 도금 과정은 표면처리과정, 백금 이온 흡착과정과 흡착된 백금 이온의 표면 환원과정, 표면전극화 과정과 이온 교환 과정으로 이루어지며 각 과정에 대해서는 기존의 논문[13]에 자세히 기술하였기 때문에 본 논문에서는 자세한 언급을 생략하겠다. 멤브레인 크기에 따른 변위의 변화를 관찰하기 위하여 4mm $\times$ 4mm, 6mm $\times$ 6mm, 8mm $\times$ 8mm의 크기를 갖는 다양한 멤브레인형 IPMC 마이크로 액추에이터를 제작하였다. 그림 7은 4mm $\times$ 4mm의 멤브레인 크기를 갖는 완성된 IPMC 마이크로 액추에이터이다.



그림 7 완성된 IPMC 마이크로 액추에이터  
Fig. 7 Fabricated IPMC micro-actuator using Nafion solution casting

2.3 액상 내피온 캐스팅을 이용하여 제작한 멤브레인형 IPMC 마이크로 액추에이터의 동작 실험

2.3.1 액추에이터 변위 측정 시스템

제작된 멤브레인형 IPMC 마이크로 액추에이터의 동작 특성을 분석하기 위하여, 그림 8과 같이 시스템을 구성하여 IPMC 양면에 전압이 인가하고 멤브레인 가운데 부분의 변위를 레이저 변위기로 측정하였다. 측정된 변위는 레이저

센서에서 전압으로 출력되므로 이 파형은 오실로스코프로 관찰되고, 변위 파형의 데이터는 컴퓨터에 저장된다.

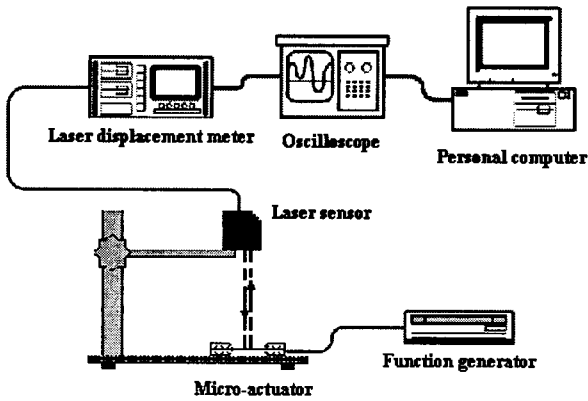


그림 8 액추에이터 변위 측정 시스템  
Fig. 8 Displacement measurement system of Micro-actuator

### 2.3.2 멤브레인형 IPMC 마이크로 액추에이터의 동작 실험

액상 내피온을 캐스팅하여 멤브레인형 IPMC 마이크로 액추에이터를 제작한 것은 처음 시도된 것이다. 따라서 액상 내피온의 캐스팅으로 제작된 내피온 필름이 MEMS 공정을 거쳐 마이크로 액추에이터로 완성되었을 때, 변형이 일어나는가를 확인하기 위해서 다양한 멤브레인 크기를 갖는 액추에이터를 제작하였으며, 이 액추에이터에 다양한 크기의 전압을 인가하면서 동작 실험을 수행하였다.

멤브레인형 IPMC 마이크로 액추에이터를 탈이온화수(DI water)에 담가 충분히 수화시킨 후, 표면의 물기를 제거하고, 레이저 센서를 멤브레인 중앙의 변위를 측정할 수 있도록 고정하였으며 0.5Hz 주파수를 갖는 2V<sub>P-P</sub>, 3V<sub>P-P</sub>, 4V<sub>P-P</sub>, 5V<sub>P-P</sub>의 전압을 인가하여 4mm×4mm, 6mm×6mm, 8mm×8mm의 크기를 갖는 멤브레인형 액추에이터 각각에 대해서 동작 실험을 수행하였다. 측정 결과 4~20 $\mu$ m의 변위를 얻었으며, 액상 내피온을 캐스팅하여 제작한 멤브레인형 마이크로 액추에이터가 동작하는 것이 입증되었다. 그림 9는 인가 전압이 일정(0.5 Hz, 5V<sub>P-P</sub> 구형파)할 때, 멤브레인의 크기에 따른 변위를 나타낸 그래프이다. 멤브레인의 크기가 커짐에 따라 변위가 증가하는 것을 관찰하였다.

그림 10은 동일한 면적(6mm×6mm)의 멤브레인형 액추에이터에 인가전압 크기(0.5Hz, 구형파)를 변화 시켜가며 동작 실험을 수행한 경우의 변위를 나타낸 그래프이다. 기존의 스트림형 IPMC 액추에이터와 마찬가지로 인가전압이 증가할수록 변위가 증가하는 것을 관찰하였다. 이러한 동작 실험을 통해 액상 내피온을 캐스팅하여 제작한 멤브레인형 IPMC 마이크로 액추에이터가 공정의 개선과 성능 향상을 위한 추가 실험을 거쳐 마이크로 펌프 등에 응용할 수 있는 액추에이터로서의 가능성이 입증되었다.

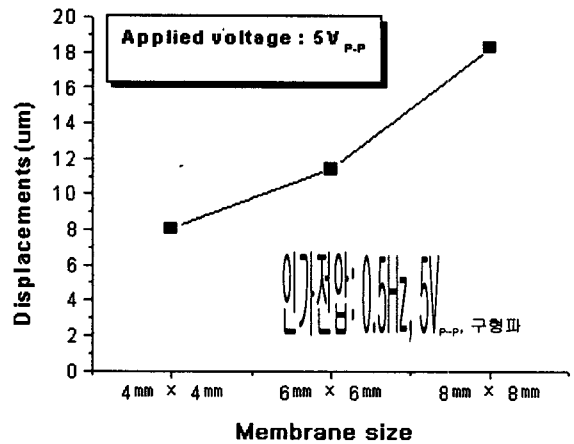


그림 9 이온성 고분자-금속 복합체 막의 크기에 따른 변위 변화

Fig. 9 Displacement of IPMC versus Membrane size

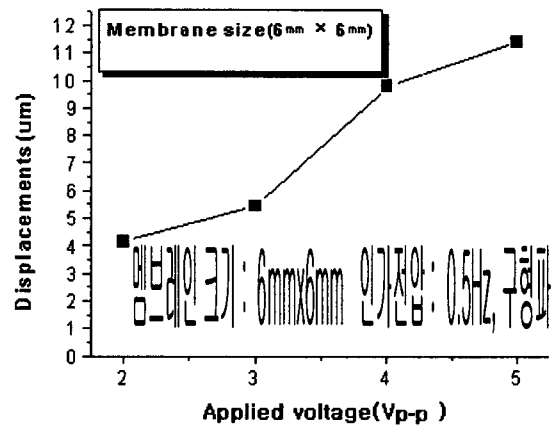


그림 10 인가 전압의 크기에 따른 변위 변화

Fig. 10 Displacement of IPMC versus applied voltage

### 3. 결 론

생체 적합성이 우수하다고 알려진 IPMC 액추에이터를 마이크로 펌프의 구동을 위한 구동박막으로 사용하기 위해 멤브레인형 IPMC 액추에이터 제작을 하고 기초적인 구동 특성을 측정하였다. 마이크로 펌프 구조물과 멤브레인형 IPMC 액추에이터를 별도로 제작하여 조립하는 과정을 배제하고 마이크로 펌프에 필요한 구조물과 IPMC 멤브레인 액추에이터를 단일 기판 상에서 제작이 가능하도록 하기 위해 액상 내피온을 캐스팅하는 방법을 이용하였으며, 캐스팅을 위한 틀은 마이크로 펌프의 구조물이 될 실리콘을 이방성 식각액으로 일부 식각하여 제작하였다. 액상 내피온을 캐스팅하여 멤브레인형 IPMC 마이크로 액추에이터를 제작한 것은 처음이며, 마이크로 펌프에 적용 가능함을 확인하였다.

멤브레인형 IPMC 액추에이터 제작을 위한 공정을 진행하면서 다음과 같은 결과를 얻었다. 첫째, IPMC 멤브레인에 전압을 인가하여 구동하기 위해서는 내피온 박막의 양면을 백금도금으로 전극화하는 것이 효과적인데, 캐스팅으로 제작한 얇은 (약 50  $\mu\text{m}$  두께) 내피온을 도금하는데 사용하던 기존에 도금 용액의 양을 2/5만 사용해도 IPMC 액추에이터의 변위가 거의 동일함을 발견하였다. 둘째, 마이크로 펌프에 필요한 구조물과 IPMC 멤브레인 액추에이터를 단일 기판 상에서 제작하기 위해서, 액상 내피온을 캐스팅한 후 마이크로 펌프의 구조물이 될 실리콘을 이방성 식각액인 TMAH로 식각해야 하는데 이 식각 공정동안 내피온의 구동 특성이 실리콘 이방성 식각액에 의해 변화하는 것을 발견하였다. TMAH에 4시간 노출된 내피온과 노출되지 않은 내피온의 성분분석 비교를 한 결과 TMAH에 4시간 노출된 내피온의 수소 함량이 약 30% 정도 적었다. IPMC의 구동 원리로부터, 내피온의 수소 이온이 다른 양이온으로 치환되는 정도에 따라 변위에 영향을 미치므로 구동 변위에서의 33% 감소의 원인이라 추정한다. 따라서 실리콘 식각액에 의한 영향을 최소화하기 위해 액상 내피온 캐스팅 공정 이전에 마이크로 액추에이터 구조물의 뒷면을 가능한 깊이까지 마이크로 식각하는 과정이 필요하다.

4mm×4mm, 6mm×6mm, 8mm×8mm의 크기를 갖는 멤브레인형 IPMC 액추에이터를 제작하여 0.5Hz 주파수를 갖는 2V<sub>P-P</sub>, 3V<sub>P-P</sub>, 4V<sub>P-P</sub>, 5V<sub>P-P</sub>의 전압을 인가하여 동작 실험을 수행하고 레이저 센서로 멤브레인 중앙의 변위를 측정하여 4~20  $\mu\text{m}$ 의 변위를 얻었다. 인가전압이 일정할 때, 멤브레인의 크기가 커짐에 따라 변위가 증가하였고, 동일한 면적(6mm×6mm)의 경우 인가전압이 증가할수록 변위가 증가하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 초미세 생체전자 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다

#### 참고 문헌

- [1] Y. Bar-Cohen, "Electroactive polymers as artificial muscles - capabilities, potentials and challenges", Handbook on Biomimetics, Section 11, Chap. 8, pp. 1-13, 2000.
- [2] R. Kanno, S. Tadokoro, T. Takamori and K. Oguro, "3-dimensional dynamic model of ionic conducting polymer gel film(ICPF) actuator", Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 2179-2184, 1996.
- [3] S. Guo, T. Fukuda, T. Nakamura, F. Arai, K. Oguro and M. Negoro, "Micro active guide wire catheter system -characteristic evaluation, electrical model and operability evaluation of micro active catheter-", Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2226-2231, April 1996.
- [4] S. Tadoko et al., "Development of a distributed actuation device consisting of soft gel actuator elements", Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2155-2160, May 1998.
- [5] M. Shainpoor and Kwang J Kim, "Novel ionic polymeric hydraulic actuators", Proceedings of SPIE, Vol. 4329, pp. 164-173, 2001.
- [6] A. Keshavarzi, M. Shahinpoor, Kwang J. Kim and J. Lantz, "Blood pressure, pulse rate, and rhythm measurement using ionic polymer-metal composites sensors", Proceedings of SPIE, Vol. 3669, pp. 369-376, 1999.
- [7] Y. Bar-Cohen et al., "A CAE approach in application of Nafion-Pt composite(ICPF) actuators -analysis for surface wipers of NASA MUSES-CN nanorovers", Proceedings of SPIE, Vol. 3987, pp. 262-272, 2000.
- [8] Y. Bar-Cohen, T. Xue, M. Shainpoor, J. Simpson and J. Smith, "Flexible, low-mass robotic arm actuated by electroactive polymers and operated equivalently to human arm and hand", Robotics 98: The 3rd Conference and Exposition/Demonstration on Robotics for Challenging Environments Sponsored by American Society of Civil Engineers, April 1998.
- [9] S. Guo, S. Hata, K. Sugumoto, T. Fukuda, K. Oguro "Development of a new type of capsule micropump", Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Detroit, Michigan, pp. 2171-2176, May 1999.
- [10] S. Nemat-Nasser and J. Y. Li, "Electromechanical response of ionic polymer-metal composites", Journal of Applied Physics, vol. 87, pp. 3321-3331, 2000.
- [11] M. Shahinpoor and Kwang J. Kim, "Design, development and testing of a multi-fingered heart compression/assist device equipped with IPMC artificial muscles", Proceedings of SPIE, Vol. 4329, pp. 411-420, 2001.
- [12] 이승기, 김병목, 김병규, 박정호, "캐스팅 방법에 의해 제작한 이온성 고분자-금속 복합체 액추에이터의 기계적 특성 분석", 대한전기학회논문지, 제52권, 3호, pp. 144-151, 2003. 3.
- [13] 차승은, 박정호, 이승기, "백금의 무전해 도금에 의한 이온성 고분자-금속 복합체 액추에이터의 제작 공정 및 특성 측정", 대한전기학회논문지, 제51권, 9호, pp.455-463, 2002. 9.

저 자 소 개



**조 성 환 (趙 成 桓)**

1977년 2월 15일생, 2001년 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업. 현재 고려대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 02-3290-3238

Fax : 02-921-0544

E-mail : umjigolmoo@empal.com



**김 병 규 (金 柄 奎)**

1965년 2월 7일생. 1997년 Univ. of Wisconsin 기계공학과 (공학박사). 2000년~현재 한국과학기술 연구원(KIST) 선임연구원. 관심분야는 마이크로 로봇, Micro Actuator, MEMS Simulation



**이 승 기 (李 承 起)**

1963년 5월 15일생. 1986년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사), 1988년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 1992년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1992년~1993년 일본 Tohoku 대학교 기계전자 공학과 특별연구원(JSPS fellow), 1994년~현재 단

국대학교 전기전자컴퓨터공학부 부교수

Tel : 02-709-2785, Fax : 02-795-877

E-mail : skilee@dku.edu



**박 정 호 (朴 政 浩)**

1960년 2월 5일생, 1985년 미국 Purdue 대 전기공학과 졸업(학사), 1988년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 1992년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1992년~1995년 미국 Intel사 책임연구원, 1995년~현재 고려대학교 전기공학과 교수

Tel : 02-3290-3238

Fax : 02-921-0544

E-mail : pak@korea.ac.kr