

# 곡률을 갖는 IPMC 다이어프램의 동적 스냅-스루

## Dynamic snap-through of buckled circular IPMC diaphragm

전진한\* · 오일권†

Jin-Han Jeon, Il-Kwon Oh

### 1. 서론

최근들어 낮은 구동전압에서 대변형을 구현할 수 있는 굽힘형 고분자 작동기에 대한 기초 및 응용 연구가 활발하다. 이러한 연구는 이온 및 전자 전도성 고분자의 기계적, 화학적, 전기적 물성을 개선하여 작동기의 굽힘 성능 향상에서부터 이에 기반한 인공 근육, 초소형 의료 디바이스 및 생체모방공학 등의 분야로의 적용까지 다양하게 활발히 진행되고 있다. 이중에 특히 이온성 고분자 금속 복합체(IPMC)는 생체적합성, 생체모방성, 낮은 전력 소모, 제작의 용이성 등에서 탁월하여 널리 연구되고 있다. 그러나 IPMC 작동기는 낮은 성능 재현성 및 굽힘력, DC 응답 시 relaxation back 현상, 비선형 특성 등으로 인해 실제 응용에 있어서 한계점을 가지고 있어, 이를 극복하기 위해 본 연구팀은 구조적 특성과 연계된 IPMC 작동기의 비선형 스냅-스루에 관한 연구를 진행해오고 있다. 1 차원 부재인 빔 형태의 작동기를 의팔보와 양단 지지 상태에서 동적 스냅-스루 현상을 구현하였으며 이를 이용한 응용 분야를 연구 중에 있다. 그러나 빔 타입의 경우는 단축 방향의 횡방향 변형에 초점이 맞춰져 있어 분포 하중 및 압력이나 다자유도를 갖는 변형을 구현하는 데는 한계가 있다. 이에 2 차원 부재인 다이어프램 형태의 IPMC 작동기를 제작하고 이를 동적 스냅-스루 대변형 메커니즘을 적용하고자 한다. 특히 곡률을 갖는 다이어프램형태의 IPMC 를 이용하여 방향성을 가지며 급격한 대변형을 이루어 작동 특성이 우수해지는 동적 스냅-스루 현상을 발견하고, 초기변형에 따라 작동기의 쌍안정 동적 스냅-스루 현상을 살펴, 능동형 생체의료 마이크로 펌프에 적용 가능한 안정성과 재현성을 지닌 작동기를 구현하고자 한다.

### 2. 제작

#### 2.1 IPMC 다이어프램

동적 스냅-스루 메커니즘과 횡방향 대변형이 가능한 IPMC 다이어프램을 구현하기 위해, 일정한 곡률의 초기변형을 갖는 원형 다이어프램을 제작하였다. 그림 1 은 버클된 원형의 IPMC 다이어프램의 구상도로, (a)는 초기 변형된 다이어프램과 성능 비교를 위한 flat 한 형태의 IPMC 다이어프램이며, (b)는 0.5, 1.0 mm 의 초기 변형량을 갖는 다이어프램을 나타내며, (c)는 각각의 측면 형상을 나타낸다.

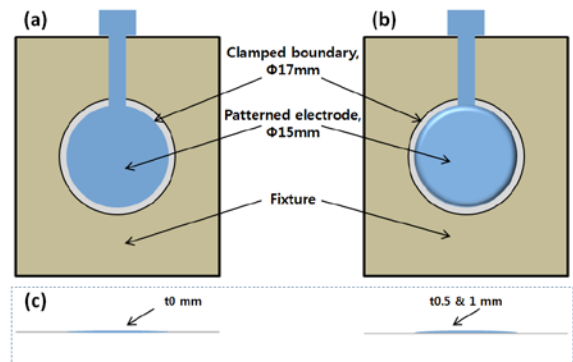


Figure 1. Design of curved circular IPMC diaphragm; (a) flat circular diaphragm, (b) curved circular diaphragm with 0.5 and 1 mm height, (c) side view of circular diaphragms.

동적 스냅-스루를 구현을 위한 초기 곡률을 갖는 원형 다이어프램 IPMC 작동기를 제작하기 위해, 평평한 형태와 다른 크기의 초기 곡률을 갖는 두 가지의 다이어프램을 제작하였다. 먼저, 제작 전에 적절한 크기의 상용 Nafion 117 을 90°C의 뜨거운 물에서 충분히 팽창시킨 후에 제작된 테프론 몰드 사이에 Nafion 117 을 압착시켜 한 시간 동안 뜨거운 물에서 초기 일정 곡률을 가질 수 있도록 열처리하여 초기 곡률을 갖는 Nafion 필름을 제작한다. 이후, 아래 그림 2 와 같이 원형의 다이어프램을 가질 수 있도록 패턴된 마스크 테이프를 이용하여 간단한 패터닝을 한 후 무전해 도금 과정을 거쳐 패턴된 전극층을 갖는 다이어프램 IPMC 작동기를 제작한다.

† 교신저자; 전남대학교 기계시스템공학부  
E-mail : ikoh@chonnam.ac.kr  
Tel : (062) 530-1685, Fax : (062) 530-1689  
\* 전남대학교 기계공학과

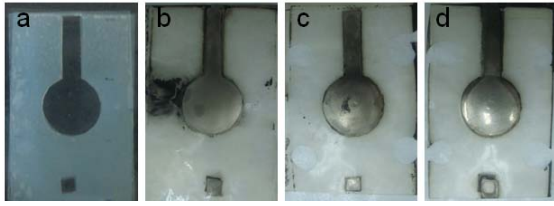


Figure 2. Patterned IPMCs by electroless chemical reduction with masking tape; (a) bonded tapes to Nafion, (b) flat circular diaphragm IPMC, (c) curved circular diaphragm IPMC with 0.5mm, (d) with 1.0mm; small square was used to monitor the electrode thickness.

제작된 다이어프램 IPMC 작동기의 전기-기계적 응답을 측정하기 위해, 레이저 변위계 (KEYENCE-LK310), NI-PXI 6252 데이터 수집 시스템과 LabVIEW 프로그램을 사용하여 공기 중에서 다이어프램 IPMC의 횡방향 변형을 측정하였다.

### 3. 성능 평가

#### 3.1 DC 응답 특성

Flat 한 형태의 원형 다이어프램의 DC 응답을 측정할 결과 그림 3 과 같이 전압 인가후 1 초 이내의 rising time 을 보였으며 약 0.05mm 의 응답 특성을 보였다. 반면 초기변형을 갖는 경우는 같은 전압에서 변형량은 증가하나 동시에 rising time 역시 증가하였다.

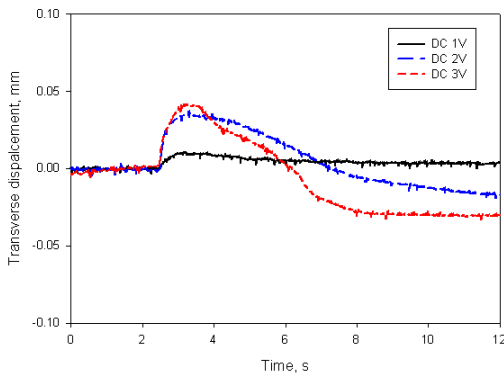


Figure 3. Step response of flat diaphragm IPMC actuator.

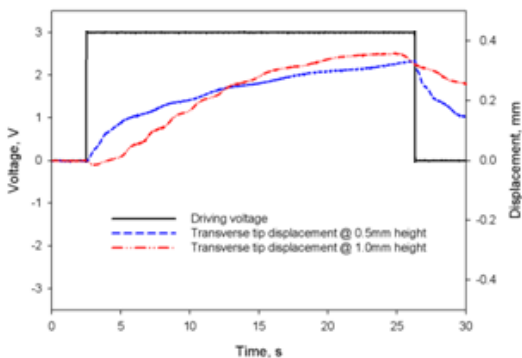


Figure 4. Step response of curved diaphragm IPMC actuators.

#### 3.2 AC 응답 특성

또한 그림 5 와 같이 2.5V, 0.1Hz 에서 일정 곡률을 갖는 IPMC 다이어프램이 조화 응답 특성을 보임으로써 횡방향 변형이 가능한 다이어프램이 제작되었음을 살펴볼 수 있었다.

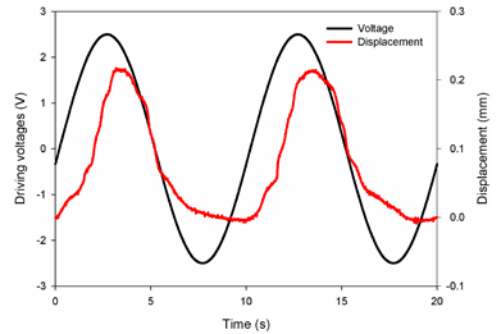


Figure 5. Harmonic response of the curved circular diaphragm IPMC.

#### 3.3 Buckled 응답 특성

그림 6 은 초기 변형된 상태에서 외력에 의해 post-buckled diaphragm 즉, 약 0.5mm 의 횡방향 변형을 준 후, 3V 전압을 인가하여 급격한 변형 특성을 보인 결과이다.

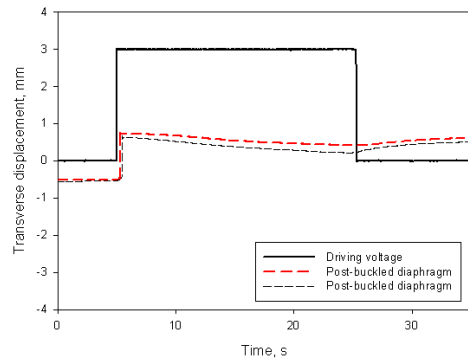


Figure 6. Experimental setup for measuring the electro-mechanical responses of circular diaphragm IPMC actuators.

### 4. 결론

본 연구를 통해서 구조적인 초기 곡률을 갖는 다이어프램 IPMC 작동기의 정/동적 응답을 살펴보고, 버클된 상태에서의 스냅-스루 특성을 평가하였다. 추가적으로 다양한 초기 곡률에 따른 응답 특성을 살펴보고 있으며 궁극적으로 동적인 비선형의 대변형 스냅-스루 현상이 구현 가능한 다이어프램 형태의 IPMC 작동기를 제작할 것이다.

### 후 기

이 논문은 2008 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. R0A-2008-000-20012-0)