

# 투명 전극 기반 고분자 작동기

## Polymer Actuator based on Transparent Electrode

전진한\* · 오일권†  
Jin-Han Jeon, Il-Kwon Oh

### 1. 서 론

최근 낮은 전기장하에서 대변형의 작동 특성을 구현할 수 있는 전기활성고분자에 대한 기초 및 응용 연구가 활발하다. 이들 연구는 새로운 이온 및 전자 전도성 고분자의 합성 및 이들의 기계/전기/화학적 물성 개선을 통해 작동기의 성능을 향상시키고, 이를 인공 근육, 생체 로봇, 초소형 의료 디바이스 및 생체모방공학 등 분야로의 적용을 포함한다.

특히 전기장내에서 이온의 움직임에 의해 구동되는 이온 전도성 고분자 작동기(IPMC)의 기본 구조는 이온성 고분자와 그 양단에 전극층으로, 이로 인해 새로운 전극 재료에 대한 관심 또한 증가하고 있다. 기존의 IPMC 작동기는 백금, 금, 은, 팔라듐 등 귀금속을 이용하여 전극을 제조하였다. 이러한 금속 전극은 고가이며, 복잡한 도금 과정에 따라 전극과 작동기 성능 재현성 등에 문제점이 있었다. 또한 큰 강성을 갖는 금속전극층은 대변형 작동기의 변형량을 저해할 수 있으며, 일반적으로 2~10 $\mu\text{m}$ 의 두께를 갖는 전극층의 불투명도는 이들 작동기의 광학적 응용에 제한 조건이 된다.

최근에 투명하며 전도성을 가진 SWCNT 필름 기반의 전극을 만드는 기법이 소개되었다<sup>(1)</sup>. 또한 단원자층의 그래핀과 전도성 고분자를 기반으로 투명 전극을 만들고 이를 태양전지의 활성 전극층으로 이용하려는 연구도 활발하다. 현재 이를 이온성 고분자 작동기에 투명 전극으로 적용한 사례는 없다.

본 연구에서는 투명한 이온성 고분자로 SPI(Sulfonated polyimide)와 Nafion 을 이용하고, 투명 전극으로 우수한 광투과도와 전도성을 갖는

투명 그래핀 전극과 전도성 고분자(PEDOT-PSS)를 이용하여, 투명 인공근육형 작동기 모듈을 제작하고 성능을 평가하고자한다.

### 2. 제작

#### 2.1 이온성 고분자

Nafion과 SPI의 화학적 구조는 그림 1과 같이 움직일 수 있는 양이온(H<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>)과 고정된 음이온(술포산기(SO<sub>3</sub><sup>-</sup>))으로 구성되어 이온성 고분자 작동기로 적용 가능하다.

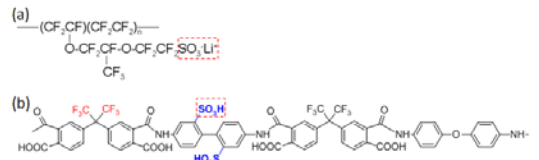


Figure 1 Chemical structure of Ion-exchangeable polymer (a) Nafion, (b) SPI.

#### 2.2 투명 그래핀 전극 기반 고분자 작동기

투명 그래핀 전극은 Thermal CVD 방법을 이용하여 약 1000 $^{\circ}\text{C}$ 의 고온에서 메탄, 수소 혼합가스를 구리 (25 $\mu\text{m}$  thick Cu foil) 촉매층에 반응시켜 적절한 양의 탄소가 촉매층에 흡착시켜 제조하였고, roll-to-roll<sup>(2)</sup> 방법을 이용하여 전극을 이온성 고분자 양면에 전사하였다. 또한 투명 그래핀 전극의 전기전도도를 향상시키기 위해 무전해도금(Pt)과 스퍼터링(Au, 약 10nm)으로 추가 적층하는 방법을 도입하였다.

#### 2.3 투명 PEDOT-PSS 전극 기반 고분자 작동기

우수한 광투과도와 전도성을 갖는 전도성 고분자 (PEDOT-PSS)에 DMSO<sup>(3)</sup>를 첨가하여 전도성을 향상시킨 후, 이 용액에 준비된 이온고분자막을 1차레 코팅하여 투명성을 지닌 고분자 작동기를 제작하였다.

† 교신저자; 정희원, 한국과학기술원 기계항공시스템공학부 해양시스템전공

E-mail : ikoh@kaist.ac.kr

Tel : (042) 350-1520, Fax : (042) 350-1510

\* 한국과학기술원 기계항공시스템공학부 해양시스템전공



Figure 2 Transparent actuator: (a) Graphene electrode, (b) after electroless plating of Pt, (c) after sputtering of Au.

### 3. 성능

#### 3.1 표면 전기저항

각 시편의 전극의 전기 저항을 2 probe 방식으로 측정하였다. Table 1은 SPI와 Nafion 이온성 고분자의 표면 전극 적층 조건에 따른 저항값으로 그려진 투명 전극 기반의 경우 Pt와 Au 적층함으로써 저항이 상당히 감소하였으며, 전도성 고분자도 전극으로 사용할 수 있을 정도의 저항치를 보였다.

Table 1 Surface resistance of electrode layers

Sample	Resistance [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]
SPI with transparent Graphene (G-SPI)	1.8 M
G-SPI after electroless plating of Pt	63 K
G-SPI after sputtering of Au	41
PEDOT-PSS coated Nafion	60.5

#### 3.2 작동 성능

(1) 투명 그래핀 전극기반 고분자 작동기 성능 그림 3은 5와 10V, 0.1Hz에서 그래핀 기반 고분자 작동기의 조화 응답 특성으로 현재까지 결과는 투명 그래핀 전극의 경우 저항이 너무 커서 작동 성능이 매우 낮으나, 무전해도금과 스퍼터링 방법 도입을 통해 전극의 전도도를 향상시킴으로써 끝단 변형량이 증가하였음을 확인할 수 있었다.

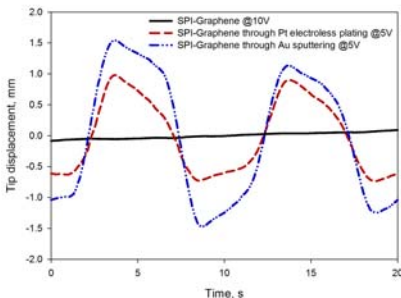


Figure 3 Harmonic response of SPI based on transparent Graphene electrode.

(2) 투명 PEDOT-PSS 기반 고분자 작동기 성능 그림 4는 PEDOT-PSS 전극 기반 작동기의 조화 응답 특성을 보여주며 인가 전압에 따라 변형량이 증가하였으며 뛰어난 조화응답 특성을 보였다.

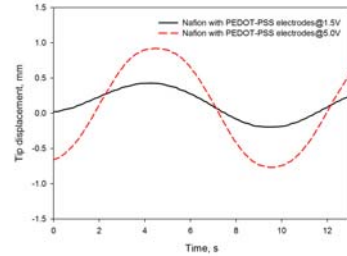


Figure 4 Harmonic response of PEDOT-PSS coated Nafion actuator.

### 4. 결론

본 연구를 통해서 투명 전극을 갖는 이온성 고분자 작동기 모듈을 제작하고 성능을 평가하였다. 이에 지속적으로 투명 전극의 투명도를 유지하면서 전기전도도를 향상시킬 수 있는 기법을 개발하고 이를 고분자 작동기 모듈에 적용하여 우수한 작동성능의 투명 작동기 모듈 개발 및 응용 연구를 수행할 것이다.

### 후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0018423).

### 참고 문헌

- (1) Kang, J., Park, C., Lowther, S., Harrison, J., Park, C., 2008, "All-Organic Actuator Fabricated with Single Wall Carbon Nanotube Electrodes", J. Polymer Science Part B, Vol. 46, pp. 2532-2538.
- (2) Bae, S., Kim, H, Lee, Y., et. al., 2010, "Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes", Nature Nanotechnology, Vol. 5, pp. 574-578.
- (3) Kim, J., Jung, J, Lee, D., Joo, J., 2002, "Enhancement of electrical conductivity of poly(3,4-ethylenedioxythiophene)/poly(4-styrenesulfonate) by a change of solvents", Synthetic Metals, Vol. 126, pp. 311-316.