

액체금속과 백금촉매실리콘을 이용한 초탄성 스트레인게이지

김석범, 최범규
서강대학교 기계공학과

Development of Hyperelastically Stretchable Strain Gauge based on Liquid Metals and Platinum Catalyzed Silicone Elastomers

Seokbeom Kim, Bumkyoo Choi
Sogang University

Abstract - This paper reports hyperelastically stretchable strain gauges based on liquid metal (eutectic gallium-indium:EGaIn) and a platinum-catalyzed silicone elastomer (Ecoflex™). A custom liquidmetal patterning setup was operated to fabricate liquidmetal strain gauge on flexible substrate. The printed strain gauges were tested under cyclic uniaxial stretching, twisting, even bending of human finger. By engineering the orientation of solid wires placed over two terminals of the printed liquid metal resistor, we stably achieved the stretchability of ~800 % which is the highest value reported so far, to the best of our knowledge.

1. 서 론

웨어러블 디바이스가 개발됨에 따라, 유연하고 전기전도성을 갖는 기판과 소자를 제작하는 방법에도 관심이 많아지고 있다. 기존 연구에서는 polydimethylsiloxane(PDMS)과 같은 유연한 기판 위에 탄소나노튜브 [1], 금속나노와이어 [2] 등을 이용하여 소자들을 구현하였다. 하지만, 이와 같은 고체금속 및 전도성폴리머를 이용한 유연성 소자는 저항이 높거나 전극의 낮은 신장률에 의해 신뢰도와 안정성에 한계가 있었다. 따라서, 기존 PDMS기판 위에 액체금속을 이용하여 유연성 소자를 만드는 연구가 진행되었으나 이 역시 PDMS의 신장률(~160%)로 인해 한계점을 갖게 된다 [3].

본 연구에서는 액체금속(EGaIn)과 최대 900% 신장률의 백금촉매실리콘탄성체(EcoFlex)를 이용하여 초신장률에도 안정성을 갖는 스트레인게이지를 제작하고 특성을 파악하였다.

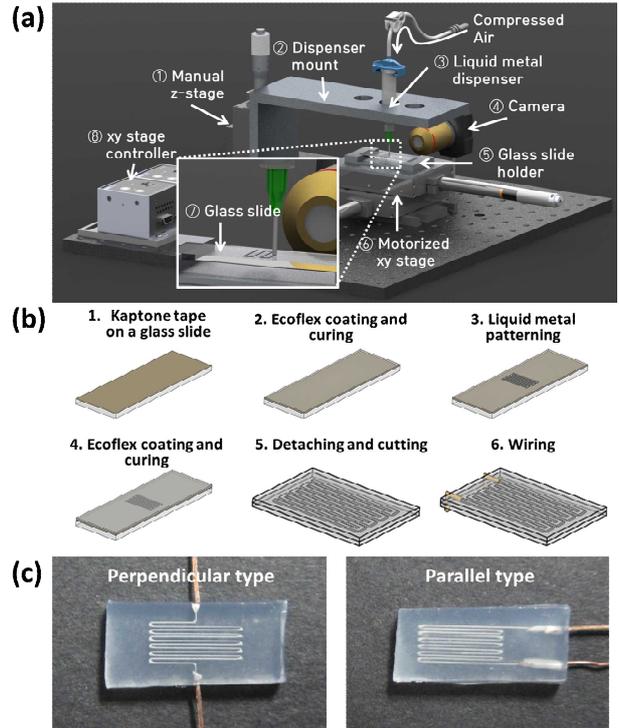
2. 본 론

2.1 제작 및 제작 장치

액체금속회로를 제작하기 위해서 <그림 1> (a)와 같이 스테이지와 디스펜서(노즐 내경 :159μm) 등을 이용하여 액체금속패턴 셋업을 구성하였다. 구성된 셋업은 수동 Z스테이지로 기판과의 높이를 약 20μm 이내로 조절한 후, 제작한 XY스캐너 프로그램으로 도면을 따라 액체금속을 공압으로 주사하여 1mm/s의 속도로 패턴한다. <그림 1> (b) 공정에 따라 먼저 Ecoflex를 기판으로부터 잘 분리하기 위해 슬라이드 글라스위에 캡톤테이프를 붙여 사용한다. 캡톤테이프가 붙은 슬라이드 글라스에 스프인코터를 이용하여 일정한 두께로 코팅된 Ecoflex 위에 제작한 액체금속패턴 셋업을 이용하여 원하는 스트레인게이지 회로를 패턴한다. 이후 다시 Ecoflex로 패키징하여 원하는 크기로 절단한 후에, 외부전극배선방법에 따라 <그림 1> (c)와 같이 수직배선형과 평행배선형 초신장 스트레인게이지로 제작되게 된다.

2.2 실험 장치 및 방법

제작된 초신장 스트레인게이지의 특성을 파악하기 위해 <그림 2> (a)와 같이 리니어 스테이지와 스텝모터, 지그 등을 이용하여 인장 및 비틀림 실험이 가능한 실험 셋업을 구성하였다. 비틀림 실험의 경우 <그림 2> (b)와 같이 스트레인게이지를 지그에 고정시키고 Labview로 제작된 프로그램으로 스텝모터를 순차적으로 돌려가며 각도에 따른 저항을 측정하였다. 인장 실험의 경우 <그림 2> (c)와 같이 스트레인게이지가 지그에 고정된 상태로 리니어 스테이지에 의해 일정한 거리를 움직이며 변형률에 따른 저항을 측정하였다. 또한 인장 및 비틀림 실험 이외에도 실제 손가락에 제작한 스트레인게이지를 부착하여 굽힘 정도에 따른 저항변화율을 측정하였다.



<그림 1> (a)액체금속패턴 셋업 개략도, (b)초신장 스트레인게이지 제작 공정, (c)전극배선위치에 따른 두 종류의 스트레인게이지 사진.

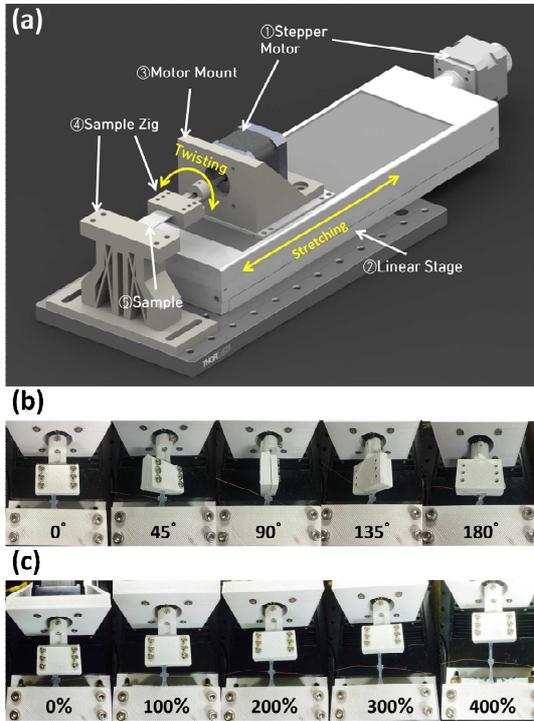
3. 실험결과 및 고찰

본 논문에서 제시한 방법을 이용해 액체금속을 Ecoflex에 직접적으로 패턴하여 제작한 스트레인게이지의 경우 기존 상용 스트레인게이지와 고체금속 기반의 유연성 스트레인게이지에 대비하여 높은 변형률(최대 800%)을 측정할 수 있었다. 따라서 기존 낮은 변형률에 의해 저항변화율이 작은 상용 스트레인게이지에서 저항측정을 위해 사용하던 휘트스톤 브리지 회로를 사용하지 않고도 큰 저항변화율에 의해 단순한 저항측정으로도 변형률을 측정할 수 있었다. 따라서 단순한 2-wire 저항측정 방법으로 <그림 3> (a)에서 0~700%까지 100%마다 반복적인 변형률을 주어 저항변화율을 측정했을 때 경향성이 변화하지 않을 것을 통해, 제작한 스트레인게이지의 반복적인 안정성을 확인할 수 있었다. 또한 외부전극과의 연결방법에 따라 최대 인장률을 측정하였을 때, 스트레인게이지에 평행하게 배선하는 것(최대인장률 330%)보다 수직하게 배선하는 것(최대인장률 800%)이 효율적임을 확인할 수 있었다. 이는 고체금속으로 제작된 외부전극과 액체금속으로 제작된 회로와의 접촉에 있어서, 외부전극, 내부회로, 기판의 변형률이 서로 다르기 때문에 외부에서 인장과 같은 변형을 주었을 때 외부전극과 내부회로간의 단성이 일어나기 때문에 나타나는 현상이다. 비틀림 실험 또한 <그림 3> (c)와 같이 0~180°까지 30°마다 반복적인 움직임에도 동일한 저항변화율의 경향성을 얻을 수 있어, 비틀림에 대한 안정성도 확인할 수 있었다. <그림 3> (d)와 같이 손가락을 0°에서 약 110°까지 구부렸을 경우 굽힘 정도에 따라 저항변화율이 증가함을 확인할 수 있었다. 각도에 따른 저항변화율을 확인하면 선형적인 관계에 있음을 확인할 수 있었다.

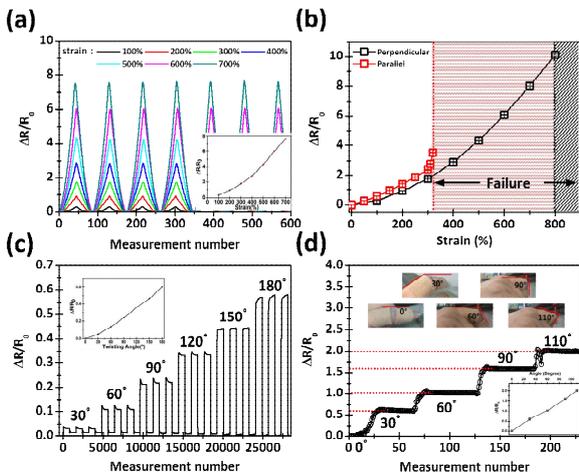
이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.'H111C1017')

[참 고 문 헌]

[1] T. Yamada et al., "A Stretchable Carbon Nanotube Strain Sensor for Human-Motion Detection", *Nat. Nanotechnol.*, 6, 296-301, (2011).
 [2] F. Xu, Y. Zhu, "Highly Conductive and Stretchable Silver Nanowire Conductors", *Adv. Mater.*, 24, 5117-5122, (2012).
 [3] Kubo et al., "Stretchable Microfluidic Radiofrequency Antennas", *Adv. Mater.*, 22, 2749-2752, (2010).



<그림 2> (a) 초신장 스트레인게이지의 인장 및 비틀림 실험 시스템 개략도, (b) 비틀림 실험 사진; 0°, 45°, 90°, 135°, 180° 비틀림, (c) 인장 실험 사진; 0%, 100%, 200%, 300%, 400% 인장.



<그림 3> (a) 변형률에 따른 저항변화의 반복 측정 그래프, (b) 전선 배선 방향에 따른 스트레인게이지의 최대변형률 측정 그래프, (c) 비틀림 정도에 따른 저항변화 측정 그래프, (d) 손가락 굽힘 각도에 따른 저항변화를 측정 결과.

4. 결 론

본 연구에서는 액체금속을 백금촉매실리콘 탄성체에 회로를 패터닝하고 인장에 영향을 적게 주는 진공연결방법을 통해 초신장률을 갖는 스트레인게이지를 제작하고, 인장, 비틀림, 굽힘 실험을 통해 특성을 파악하였다. 제작된 스트레인게이지는 기존 고체금속으로 제작된 스트레인게이지로는 측정할 수 없는 800%의 초변형률을 측정하였고 반복 실험을 통해 내부 회로의 안정성을 확인하였다.

현재 본 연구에서 개발된 액체금속기반의 초신장 스트레인게이지는 약 1mm의 두께가 있어 신체에 부착하여 사용하기에는 착용감이 떨어진다. 따라서, 추후 초신장 스트레인게이지의 두께를 줄이기 위한 연구와 현재 마이크로사이즈의 액체금속패턴을 나노사이즈의 패턴으로 제작하여 광학적인 투과성을 향상시켜 초 유연성 터치패널과 같은 디바이스에 적용하는 연구를 진행할 예정이다.