

PVC 젤 기반 밴딩 액추에이터

Bending Actuator based on PVC gel

이 승 현(SeungHyun Lee), 허 용 해(Yong Hae Heo), 김 상 연(Sang-Youn Kim)

Interdisciplinary Program in Creative Engineering
Korea University of Technology and Education
huice@koreatech.ac.kr

요 약

본 연구에서는 PVC 젤 기반 밴딩 액추에이터를 제작하고, PVC 젤의 길이에 따른 액추에이터의 굽힘 정도와 응답 시간을 평가하였다. PVC젤의 길이가 짧은 액추에이터는 긴 액추에이터보다 큰 각도 변화를 보였다. PVC 젤의 길이가 15, 17, 19 mm 인 밴딩 액추에이터는 최대 각각 36°, 33°, 19° 굽어졌으며, 최대치까지 도달하는데 걸리는 시간은 각각 5, 11, 12 초가 걸렸다. 이 실험결과는 PVC 젤의 길이에 따른 PVC 젤 기반 밴딩 액추에이터의 굽힘 각도 성능을 확인하였다.

키워드: 밴딩 액추에이터, 전기활성 폴리머, PVC 젤

Abstract

In this study, we fabricated a PVC gel-based bending actuator and evaluated its bending degree and response time based on the length of the PVC gel. The actuator with a shorter length of PVC gel exhibited a greater angular change compared to the longer actuator. The bending actuators with PVC gel lengths of 15, 17, and 19 mm bent to maximum angles of 36°, 33°, and 19°, with the time to reach these maximum angles being 5, 11, and 12 seconds. These experimental results demonstrate the bending angle performance of PVC gel-based bending actuators based on the length of the PVC gel.

Key words: Bending Actuator, Electroactive Polymer, PVC gel

1. 서론

밴딩 액추에이터(Bending Actuator)는 소프트 로봇, 웨어러블 기기, 의료 장비 등 다양한 응용 분야에서 그 중요성이 증가하고 있는 기술이며, 유연한 변형과 정밀한 제어가 가능하기 때문에 복잡한 작업을 수행하거나 인간의 움직임을 보조하는 데 적합하다[1-4].

밴딩 액추에이터는 공압 액추에이터, 형상기억합금, 전기활성고분자 등으로 개발되고 있다[5-7]. 본 연구에서는 전기활성 고분자인 PVC 겔을 기반으로 한 밴딩 액추에이터를 개발하였다. PVC 겔은 전기장이 인가되면, 양극 방향으로 움직이는 특성 때문에 다른 소재보다 높은 유연성과 변형 가능성을 갖추고 있으며, 전기적 구동을 통해 정밀한 제어가 가능하여 주목받고 있다[8-13].

PVC 겔 기반 밴딩 액추에이터의 PVC 겔은 길이에 따라 전극과의 거리가 멀어져서 액추에이터의 굽힘 정도, 응답 시간에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 그러므로, 본 연구에서는 길이가 다른 3가지 PVC 겔을 제작하고, 이 PVC 겔을 기반의 밴딩 액추에이터의 성능(굽힘 정도, 응답 시간)을 평가하였다.

2. PVC 겔의 제작

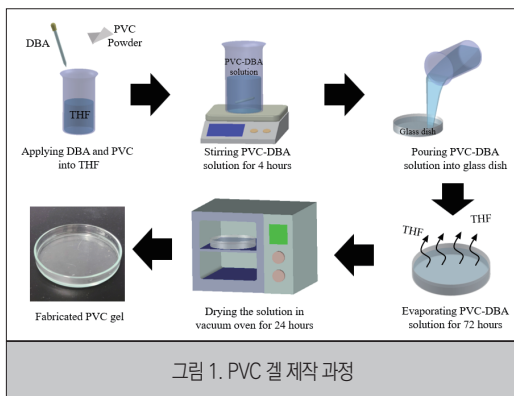


그림 1. PVC 겔 제작 과정

본 연구에서는 폴리염화비닐(PVC; Polyvinyl chloride) 분말과 디부틸 아디페이트(DBA; Dibutyl

Adipate)를 사용해 PVC 겔을 제작했다. 또한 테트라히드로푸란(THF; Tetrahydrofuran) 용액이 용매로 사용되었다. 그림 1은 PVC 겔의 제작 과정을 나타낸다. 먼저, 각 비율에 맞게 PVC 분말과 DBA를 THF 용액에 넣고, 스티어링 머신으로 4시간 동안 용액을 혼합시킨다. 다음으로, 완전히 용해된 혼합물을 유리 접시에 부어 72시간 동안 건조시켜 THF 용액을 증발시킨다. 마지막으로, 건조된 혼합물을 진공 오븐에 24시간 동안 넣어두는 과정을 통해 PVC 겔을 얻을 수 있다.

3. PVC 겔 기반 밴딩 액추에이터의 디자인

3.1. 구조

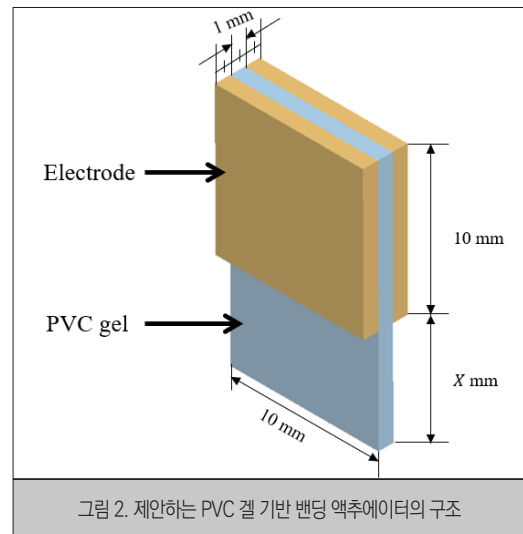


그림 2. 제안하는 PVC 겔 기반 밴딩 액추에이터의 구조

그림 2는 제안하는 PVC 겔 기반 밴딩 액추에이터의 구조이다. 전극의 크기는 가로 10 mm, 세로 1 mm, 높이는 10 mm이며, PVC 겔의 크기는 가로 10 mm, 세로 1 mm이고 높이는 (10 + X) (X는 본 연구에서 제작한 샘플들의 PVC 겔의 길이에 대응하는 값을 의미한다) mm이다. 이 연구에서는 길이가 다른 밴딩 액추에이터 샘플을 제작한 후, 이 액추에이

터의 성능 평가를 수행하였다. 표 1은 액추에이터의 길이에 따라 액추에이터 샘플 이름을 지정한 것을 나타낸다.

표 1. 길이에 따른 PVC젤 명칭

Sample name	Length(mm)
PD_15	15
PD_17	17
PD_19	19

그림 1. PVC 젤 제작 과정

3.2. 동작 원리

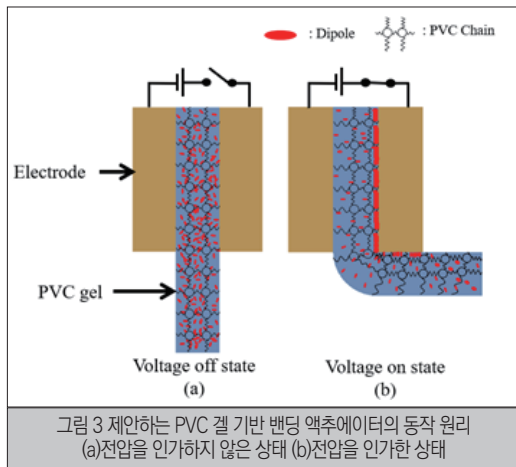
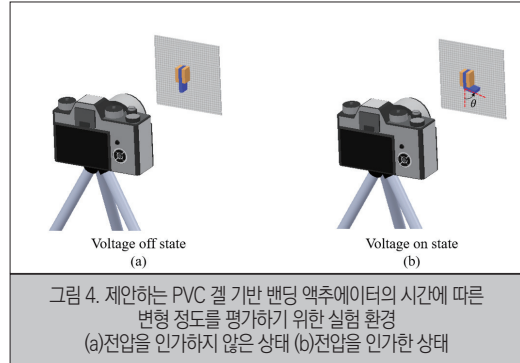


그림 3은 제안하는 PVC젤 기반 밴딩 액추에이터의 동작 원리를 설명한다. 그림 3(a)는 전극에 전압이 인가되지 않을 때의 상태를 보여주며, 그림 3(b)는 전극에 전압이 인가되었을 때의 상태를 나타낸다. PVC 젤에 전압을 인가하면, PVC 젤 내부의 쌍극자가 (+)극으로 이동하려는 성질을 가지게 되면서 PVC 체인을 (+)극으로 끌어당겨 그림 3(b)와 같이 액추에이터가 굽어진 상태가 된다[14].

4. 실험 및 결과

4.1. 실험 환경



본 연구에서는 PVC 젤 기반 밴딩 액추에이터의 시간에 따른 굽힘 정도를 평가하기 위해 모눈종이와 카메라를 사용하여 실험 환경을 설계하였다 (그림 4). 그림 4와 같이, 모눈종이를 부착한 벽에 밴딩 액추에이터를 설치하고 카메라(1 V3 Nikon, Tokyo, Japan) (촬영 프레임: 120fps)를 사용하여 시간에 따른 굽힘 각도를 측정하였다. 그림 4(a)는 밴딩 액추에이터에 전압이 인가되지 않은 상태이고, 그림 4(b)는 밴딩 액추에이터에 전압이 인가되어 PVC 젤에 굽힘 변형이 발생한 상태이다. 밴딩 액추에이터에 전압을 인가하여 변형되는 동안의 변형 각도를 시간에 따라 촬영하였다.

4.2. 측정 데이터

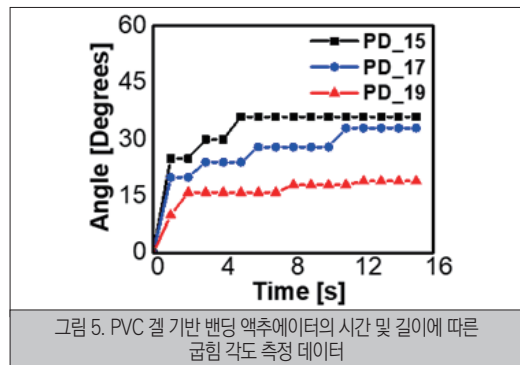


그림 5는 시간 및 길이에 따른 PVC 젤 기반 액추에이터의 측정된 굽힘 각도를 나타낸다. 각 실험은 신뢰성을 높이기 위해 5회씩 반복 수행되었으며, 최대값과 최소값을 제외한 나머지 값들의 평균을 계산하여 그래프를 작성하였다.

그림 5에서 PD_15는 1초에서 약 25° 굽어졌고, 이후 3초에서 한 번 각도가 변하였으며, 5초 후에는 초기 위치보다 약 36° 굽어졌다. 그 이후에는 각도가 더 이상 변화하지 않았다. PD_17은 1초에서 약 20° 굽어졌고, 이후 3초와 6초에서 각도가 변하여 11초 후에는 초기 위치보다 약 33° 굽어졌다. 이후에는 각도가 더 이상 변화하지 않았다. 마지막으로 PD_19는 1초에서 약 10° 굽어졌고, 이후 3초 동안 약 16°를 유지하다가 조금씩 각도가 변하여 12초 후에는 초기 위치보다 약 19° 굽어졌다. 이후에는 각도가 더 이상 변화하지 않았다.

이 그래프에서 길이가 짧은 액추에이터의 각도 변화보다 길이가 긴 액추에이터의 각도 변화가 더 작았다. 이는 길이가 길어질수록 액추에이터가 버텨야 하는 무게가 증가하여 변형률이 낮아지기 때문으로 추측된다.

5. 결론

본 연구에서는 PVC 젤과 PVC 젤 기반 밴딩 액추에이터를 제작하고, 이 밴딩 액추에이터의 동작 성능을 각각의 세 가지 길이에 따라 평가하였다. 액추에이터 길이가 PVC 젤의 굽힘 각도에 미치는 영향을 조사하였다.

실험결과, PVC젤의 길이가 짧은 액추에이터일수록 더 큰 각도 변화를 보였으며, 변화한 각도의 최대치까지 도달하는 시간이 더 짧았다. 이는 짧은 길이의 액추에이터가 더 적은 무게를 지탱하기 때문에 변형이 더 쉽게 일어나기 때문으로 추측된다. PVC 젤의 길이가 긴 액추에이터는 지탱해야 하는 무게가 증가함에 따라 변형률이 낮아져 각도 변화가 작은 것으로 추측된다.

참고 문헌

- [1] Leila Gharavi, Mohammad Zareinejad, Abdolreza Ohadi, "Dynamic Finite-Element analysis of a soft bending actuator," *Mechatronics*, p. 102690, 2022.
- [2] Jiangbei Wang, Yuxuan Wang, Yanqiong Fei, Weidong Chen, "Kinetostatic Analysis of Pneumatic Bending Soft Actuator Coupling With Revolute Joint," *J. Mechanisms Robotics*, vol. 15, no. 6, 2023.
- [3] Peilin Cheng, Yuze Ye, Bo Yan, Yebo Lu, Chuanyu Wu, "Eccentric High-Force Soft Pneumatic Bending Actuator for Finger-Type Soft Grippers," *J. Mechanisms Robotics*, vol. 14, no. 6, 2022.
- [4] Wen Zhou, Jiahuan Chen, Xudong Wang, Jiadong Hu, Yiqing Li, "Analysis and Application of the Bending Actuators Used in Soft Robotics," *Intelligent Robotics and Applications*, pp. 568-575, 2019.
- [5] Weiping Hu, Rahim Mutlu, Weihua Li & Gursel Alici, "A Structural Optimisation Method for a Soft Pneumatic Actuator," *Robotics*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [6] Georgino Kaleng Tshikwand, Lena Seigner, Frank Wendler & Manfred Kohl, "Coupled Finite Element Simulation of Shape Memory Bending Microactuator," *TECHNICAL ARTICLE*, vol 8, pp. 373-393, 2022.
- [7] Qingsong He, Hui Pan, Zefang Zhao, Hao Zhang, Guoxiao Yin, Yuwei Wu, Lei Cai, Min Yu, Jinjun Duan, Qi Shen, Kai Deng, Zhendong Dai, "Polyvinyl chloride gel based electro-active switchable bio-inspired adhesive," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 163, 2022.
- [8] Yi Li, Xuxin Feng, Lixiang Zhu, Ziqian Zhang,

- Mingfei Guo, Yanbiao Li, Minoru Hashimoto, "High performance fiber-constrained plasticized PVC gel actuators for soft robotics," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 393, 2023.
- [9] Kinji Asaka, Minoru Hashimoto, "Electrical properties and electromechanical modeling of plasticized PVC gel actuators," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 273, pp.1246-1256, 2018.
- [10] Hong Xia, Midori Takasaki, Toshihiro Hirai, "Actuation mechanism of plasticized PVC by electric field," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 157, Issue 2, pp. 307-312, 2010.
- [11] Tianyun Dong, Tao Liu, "The electrical response and self-sensing of the fully flexible PVC gel actuator based on flexible electrodes," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 340, 2022.
- [12] Yuwei Wu, Min Yu, Chengbo Tian, David Vokoun, Runqi Hu, Hengzao Ge, Hao Zhang, Ivo Stachiv, "Enhanced performance of electro-responsive PVC gel actuators prepared by advanced rapid thermal melting technique," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 401, 2024.
- [13] Chenping Lan, Zuowei Zhou, Hongwen Ren, Sungjune Park, Seung Hee Lee, "Fast-response microlens array fabricated using polyvinyl chloride gel," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 283, pp.155-159, 2019.
- [14] E. J. Shin, W. H. Park & S. Y. Kim, "Fabrication of a high-performance bending actuator made with a PVC gel," *Applied Sciences*, vol. 8, no. 8, 2018.