

형상 기억 합금 기반 인공 근육을 활용한 소프트 웨어러블 로봇의 힘 센서리스 제어 기법

이주찬¹, 서현욱¹, 박철훈^{1*}
 한국기계연구원 첨단로봇연구센터¹

Force sensorless control method of soft wearable robots using shape memory alloy-based artificial muscles

Juchan Lee¹, Hyunuk Seo¹, Cheol Hoon Park^{1*}
 Korea Institute of Machinery and Materials, Advanced Robot Research Center¹

ABSTRACT

본 논문은 형상 기억 합금 (Shape Memory Alloy, SMA) 기반 인공 근육을 활용한 소프트 웨어러블 로봇의 힘 센서리스 제어 기법을 제안한다. 현재, 형상 기억 합금 기반 인공 근육을 활용한 소프트 웨어러블 로봇의 구동은 센서의 피드백 없이 일정한 듀티비를 적용하여 구동한다. 따라서 소프트 웨어러블 로봇의 힘 제어에 어려움을 겪고 있다. 또한 힘 센서의 가격 및 부착 문제로 인하여 적용 가능한 힘 센서의 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 인공 근육의 온도와 변위 정보를 통해 인공 근육에서 발생하는 힘을 추정하는 힘 센서리스 제어 기법을 제안한다. 소프트 웨어러블 로봇의 힘 센서리스 기법은 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

어러블 로봇의 제어 알고리즘 개발을 위해 실험적 방법에 의존하여 알고리즘 개발에 많은 시간과 비용이 소모된다. 따라서 기존 형상 기억 합금 기반 인공 근육을 활용한 소프트 웨어러블 로봇을 구동하기 위해 지정한 시간 동안 일정한 듀티를 인가하는 방식을 사용한다. 인공 근육을 구동하기 위해 부착된 힘 센서 및 온도 센서, 변위 센서 등을 제어에 사용하지 않고 개회로 (Open Loop)로 인공 근육을 구동한다. 또한 사용되는 센서는 부착되는 위치나 부착 방법에 따라 성능의 차이를 보여 센서의 종류 및 개수를 줄이려는 방안이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 형상 기억 합금 기반 인공 근육을 활용한 소프트 웨어러블 로봇의 힘 센서리스 기법을 제안한다. 힘 센서리스 제어를 위해 온도와 변위 센서의 정보를 통해 형상 기억 합금 기반 인공 근육에서 발생하는 힘을 추정하여 제어에 사용한다. 힘 센서리스 제어 기법은 인공근육을 모사한 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서론

최근 작업자 및 노약자의 운동능력을 보조하기 위한 웨어러블 로봇 (Wearable Robot)이 주목받고 있다. 웨어러블 로봇은 산업 및 재활 분야뿐만 아니라 인간의 근력을 보조할 수 있는 다양한 분야에서도 활용된다^[1]. 이러한 웨어러블 로봇은 산업 및 재활 분야뿐만 아니라 장애인 및 노약자를 위한 일상생활에서도 사람의 운동능력을 보조해야 하므로 편안한 착용감이 보장되어야 한다^[2]. 하지만 일반적인 웨어러블 로봇은 전동기를 구동기로 사용하여 단단한 외골격 (Exoskeleton)의 형태를 갖는다. 이러한 형태의 웨어러블 로봇은 무게와 불편한 착용감으로 인해 장애인이나 노약자들의 일상생활에 사용되기에 한계가 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 웨어러블 로봇을 착용한 상태에서 자유롭게 움직이며 동작을 수행할 수 있는 가볍고 유연한 특성을 갖는 소프트 웨어러블 로봇 (Soft Wearable Robot)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[3]. 이러한 소프트 웨어러블 로봇은 사람이 필요로 할 때 즉시 착용할 수 있어야 하며 접거나 말아서 휴대할 수 있도록 높은 휴대성이 요구된다.

본 연구에서는 이러한 요구를 만족하기 위하여 형상 기억 합금 (Shape Memory Alloy, SMA)기반 인공 근육을 활용한 소프트 웨어러블 로봇을 사용하였다. 하지만 형상 기억 합금 기반 인공 근육을 활용한 소프트 웨어러블 로봇은 전기적 모델링 및 제어 기법에 대한 연구가 부족하여 인공 근육과 전력변환기를 통합한 구동 시뮬레이션이 동시에 이루어지지 어렵다. 이로 인해 형상 기억 합금 기반 인공 근육을 활용한 소프트 웨

2. 형상 기억 합금 기반 인공 근육을 활용한 소프트 웨어러블 로봇의 힘 센서리스 제어 기법

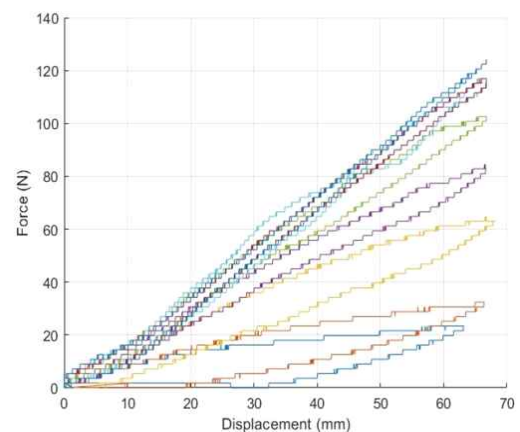


그림 1 형상 기억 합금 기반 인공 근육의 온도 및 수축 변위에 따른 발생 힘

Fig. 1 Forces as a function of temperature and contractile displacement in SMA-based artificial muscles

그림 1은 형상 기억 합금 기반 인공 근육의 온도 및 수축 변위에 따른 발생 힘을 나타낸다.

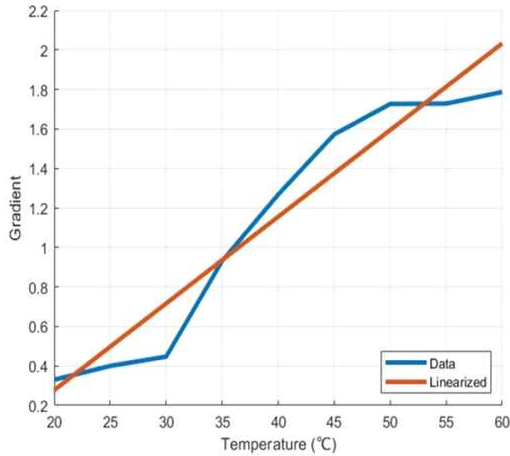


그림 2 선형화를 통해 간략화된 형상 기억 합금 기반 인공 근육의 온도에 따른 발생 힘
 Fig. 2 Simplified shape-memory alloy-based artificial muscle force as a function of temperature through linearization

그림 2는 온도 및 수축 변위 정보를 통해 힘을 추정하기 위해 그림 1의 정보를 통해 curve fitting을 통해 선형화하여 온도에 따른 발생 힘을 간략히 정리하여 나타내었다.

기존 형상 기억 합금 기반 인공 근육을 활용한 소프트 웨어 러블 로봇은 제어 알고리즘 개발의 어려움으로 인해 반복 실험을 통해 얻어진 정보를 통해 일정한 시간동안 일정한 듀티의 전압을 인가하여 그림 3와 같이 open loop로 구동하여 힘을 발생시킨다.

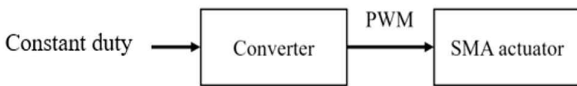


그림 3 기존 형상 기억 합금 기반 인공 근육 구동 방식
 Fig. 3 Existing SMA-based artificial muscles control method

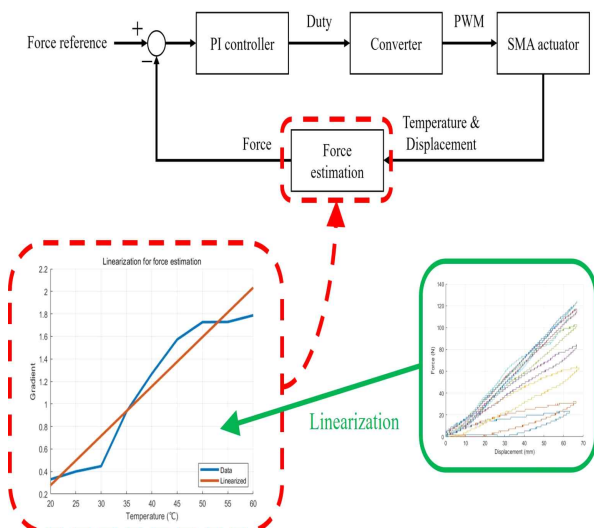


그림 4 제안하는 형상 기억 합금 기반 인공 근육의 힘 센서리스 기법
 Fig. 4 Proposed force sensorless control of shape memory alloy-based artificial muscle

인공 근육에 사용되는 센서는 힘 센서 및 온도 센서, 변위 센서 등이 사용된다. 하지만 센서의 정보가 제어에 사용되지 않고 실험 후 정보 가공이나 인공 근육을 보호를 위해서 사용된다. 또한 센서 부착 위치나 방안에 따라 성능의 차이를 보여 센서리스 제어 기법이 요구된다. 사용된 온도 및 변위 센서를 통해 힘 추정 기반 힘 센서리스 기법을 제안하며 힘 센서리스 방안은 그림 4와 같다.

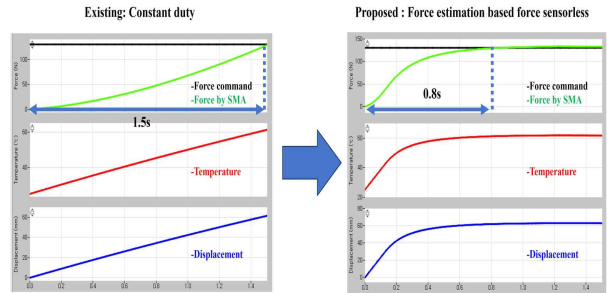


그림 5 형상 기억 합금 기반 인공 근육의 제어 시뮬레이션 결과
 Fig. 5 Simulation results of shape memory alloy-based artificial muscle control

그림 5는 기존 구동 방안과 제안하는 힘 센서리스 제어 방안의 시뮬레이션 결과이다. 목표하는 힘 지령까지 소요되는 시간으로 성능 비교를 한다. 기존 구동 안의 경우 약 1.5초가 소요되었으며 제안하는 센서리스 제어 방안의 경우 약 0.8초로 응답 특성이 향상되었음을 확인하였다.

3. 결론

본 연구는 형상 기억 합금 기반 인공 근육을 활용한 소프트 웨어 러블 로봇의 힘 센서리스 제어 기법을 제안한다. 인공 근육을 구동하기 위해 부착된 온도 센서 및 변위 센서를 통해 힘을 추정하여 제어에 사용한다. 힘 추정을 위해 형상 기억 합금 기반 인공 근육의 힘과 온도, 변위에 따른 특성을 선형화하여 인공 근육에서 발생하는 힘을 간략히 추정할 수 있다. 또한 추정된 힘을 제어에 사용하여 힘 센서리스 제어 기법을 달성하였다.

본 연구는 산업통상자원부 로봇산업핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다 (과제고유번호 1415187105).

참고 문헌

[1] S. J. Park, U. Kim, and C. H. Park, "A novel fabric muscle based on shape memory alloy springs," *Soft Robot.*, vol. 7, no. 3, pp. 321 - 331, 2020.
 [2] S. J. Park and C. H. Park, "Suit-type wearable robot powered by shape-memory-alloy-based fabric muscle," *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1 - 8, 2019.
 [3] S. J. Park, K. Choi, H. Rodrigue and C. H. Park, "Soft Exosuit Based on Fabric Muscle for Upper Limb Assistance," in *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 28, no. 1, pp. 26-37, Feb. 2023.