

구간분할 제어를 이용한 로봇핸드의 동특성에 관한 연구

정상화(조선대 기계공학과), 김현욱, 최석봉, 박준호*(조선대 대학원 기계공학과)
김광호(조선대 대학원 광응용공학과)

A Study on the Dynamic Characteristics of Robot Hand based on Segmented Control

S. H. Jeong(Mech. Eng. Dept., CSU), H. U. Kim, S. B. Choi, G. H. Kim, J. H. Park*(Grad., CSU)

ABSTRACT

In recent years, as the robot technology is developed, the researches on the artificial muscle actuator that enable robot to move dexterously like biological organ become active. The widely used materials for artificial muscle are the shape memory alloy and the electro-active polymer. These actuators have the higher energy density than the electro-mechanical actuator such as motor. However, there are some drawbacks for actuator. SMA has the hysterical dynamic characteristics. In this paper, the simulation of anthropomorphic robotic hand is performed using ADAMS and the segmented binary control for reducing the hysteresis of SMA is proposed. SMA is controlled by thermo-electric module. The relations between the force and the hysteresis are developed to verify the validity of the suggested method.

Key Words : Segmented binary control(구간분할 바이너리 제어), Robot Hand(로봇핸드), Shape Memory Alloy(형상기억합금), Thermo-Electric Module(열전소자)

1. 서론

로봇산업은 용도에 따라 산업로봇과 개인로봇으로 나눌 수 있는데 최근 들어 개인 로봇의 발달이 가속화되고 있다.¹ 로봇의 주요기술은 구동메커니즘, 구조설계, 정밀가공 그리고 제어 및 전자기술을 들 수 있는데, 로봇을 움직이게 하는 액츄에이터기술은 로봇산업에 필요한 다른 기술들의 방향을 결정하는 가장 중요한 핵심기술이다. 특히 로봇을 설계하고 제어하는 방식은 액츄에이터의 기술 수준정도, 무게당 힘 발생 비율이나 에너지 집적도 등에 의해 결정된다. 최근 들어 개인 로봇이 발전함에 따라 생명체와 같이 유연한 운동이 가능한 인공근육(Artificial Muscle) 액츄에이터에 대한 연구가 진행되고 있다.² 현재까지 개발된 인공근육 액츄에이터로 가장 많이 쓰이는 것은 형상기억합금(SMA)과 전기작동형 폴리머(Electroactive Polymer) 액츄에이터이다. 이 액츄에이터들은 모터와 같은 전기기계적(Electromechanical) 액츄에이터들에 비해 높은 에너지 집적도를 가지고 있고 자연스러운 운동을 할 수 있는 특징이 있다. 그러나 형상기억합금의 경우 비선형적 동특성이, 전기

작동 폴리머는 시간이 지날수록 반복성능과 내구성이 현저하게 저하되어 로봇 액츄에이터로 사용하기에는 문제점이 있다.^{3,4} 그러므로 로봇의 유연하고 부드러운 움직임과 높은 에너지 집적도를 보장하는 인공근육 액츄에이터를 사용하기 위해서는 재료가 가지고 있는 단점을 보완하는 연구가 필요하다.⁵

본 연구에서는 다축 디지털 스텝모터의 개발을 위해 열전소자(Thermo-Electric Module)를 이용하여 구간분할 바이너리 제어기법을 연구하였다. 또한 사람의 손동작과 유사한 운동능력을 갖는 Robotic Hand를 개발하기 위하여 ADAMS를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과를 바탕으로 Robotic Hand의 여러 가지 운동 형태에 필요한 액츄에이터의 입력조건과 변위와의 관계를 파악했고 구간분할된 형상기억합금(SMA)의 입력신호에 따른 구간별 발생하는 힘과 변위와의 관계를 측정하였다.

2. 구간분할 바이너리 제어

기존의 형상기억합금 액츄에이터의 제어방식은 형상기억합금 와이어 전 구간에 열 또는 전기를 입

력하고 변위 신호를 피드백 받아 제어하는 형태를 취하였다. 이러한 제어방식은 형상기억합금 재료가 갖는 비선형성 때문에 제어특성이 우수하지 못하였다. 본 연구에서는 형상기억합금의 비선형성을 극복하고 우수한 위치 추종능력을 갖는 새로운 제어 형태인 구간분할 바이너리 제어기법에 대해 연구하였다. 이 제어 기법은 기존의 제어기법과 달리 긴 형상기억합금 와이어를 여러 짧은 구간으로 나누고 각각의 구간을 독립적으로 바이너리(ON/OFF) 제어 하는 기법이다. Fig.1은 구간분할 바이너리 제어기법에 대한 블록선도를 나타낸 것이다.

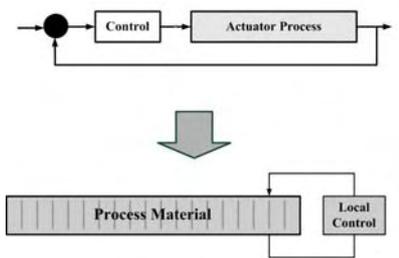


Fig. 1 Segmented Binary Control

3. 디지털 형상기억합금 스텝모터

바이너리 제어에서는 바이너리 신호 즉 ON/OFF 입력신호가 형상기억합금 와이어의 각 구간에 입력되고 그 때 발생하는 구간별 변위가 제어 대상이 된다. 이 때 변위가 발생된 상태를 1(ON), 발생이 없는 상태를 0(OFF)으로 한다. 그러므로 형상기억합금 액츄에이터는 각 구간의 신호에 따라 변위가 결정되는 디지털 방식의 제어가 가능하게 된다. Fig. 2는 바이너리 제어를 이용하여 디지털화시킨 제어 형태를 나타낸 것이다. 원하는 변위에 따라 구간별 입력신호를 패턴화하면 Fig. 3과 같이 디지털 스텝모터와 같은 역할을 하게 된다.

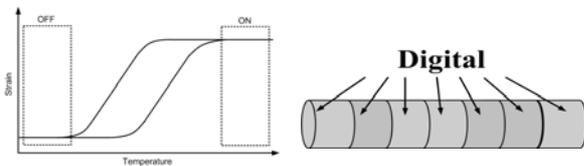


Fig. 2 Segmented Digital Control

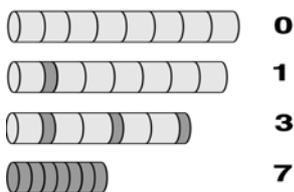


Fig. 3 SMA Digital Step Motor

4. 로봇핸드 모델링

로봇핸드는 구간분할 바이너리 제어 기법에 의해 발생된 형상기억합금 와이어의 직선변위 입력으로 구동된다. 입력된 직선변위는 커플링과 풀리를 통해 손가락 각 관절의 각변위로 변환된다. 각 손가락 관절의 움직임은 실제 손의 모델과 유사한 운동범위와 자유도를 갖도록 설계되었다. 본 장에서는 로봇핸드의 여러 가지 운동 형태에 따른 각 관절의 각변위에 요구되는 직선변위 입력 변위 데이터를 얻고자 ADAMS를 이용하여 시뮬레이션 하였다. Fig. 4는 로봇핸드를 모델링 한 것으로 손가락은 링크로 각 관절은 회전 조인트로 형상기억합금의 입력부분은 커넥터의 직선변위로 모델링 하였다. 직선변위를 각변위로 변환시키기 위해 풀리와 커플링으로 그리고 풀리의 입력이 각 손가락 관절의 출력으로 전달되는 부분은 체인 커플링으로 모델링 하였다. Table 1은 모델링 조건을 나타낸 것이다.

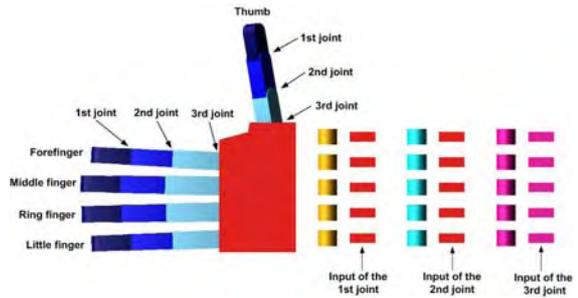


Fig. 4 Modeling of Robot Hand

Table 1 Conditions of ADAMS Modeling

Operation Time		1 sec	
Input Displacement		Translation	
Finger		Link + Revolute Joint	
SMA Displacement		Link + Translational Joint	
Coupling	Pulley : Joint	Rotational Ratio	1 : 1
	SMA : Pulley	Translation : Rotation	0.087266462 : 1

4.1 로봇핸드의 자세별 입력관계

Fig. 4를 초기 상태로 했을 때 로봇핸드의 최대변위는 주먹을 쥐고 있을 때의 형태로 설정하였다. Fig. 5는 최대 변위를 요구하는 First Grip의 손 모양을 나타낸 것이다. 이때의 손가락 마디 각 관절의 각변위와 입력변위를 시뮬레이션을 통하여 구하였다. 각 관절의 각변위와 그에 대한 입력변위는 Table 2에 나타내었다. 손동작의 형태에 따른 데이터를 얻고자 다양한 형태의 손동작을 시뮬레이션 하였다.



Fig. 5 First Grip

Table 2 Input and Output of First Grip

Fist grip	Output of the 1st joint (deg/sec)	Output of the 2nd joint (deg/sec)	Output of the 3rd joint (deg/sec)
	Input of the 1st joint (mm)	Input of the 2nd joint (mm)	Input of the 3rd joint (mm)
Thumb	60.0	30.0	70.0
	5.236	2.618	6.1087
Fore finger	110.0	100.0	80.0
	9.5993	8.7266	6.9813
Middle finger	110.0	100.0	80.0
	9.5993	8.7266	6.9813
Ring finger	110.0	100.0	80.0
	9.5993	8.7266	6.9813
Little finger	110.0	100.0	80.0
	9.5993	8.7266	6.9813

5. 구간분할 바이너리 제어 특성

로봇핸드가 사람 손과 같이 자연스러운 움직임을 하기 위해서는 요구되는 직선변위가 각 구간별로 발생되어야 한다. 그래서 열전소자(TEM)를 이용하여 형상기억합금 와이어를 여러 짧은 구간으로 나누고 각각의 구간에 입력 신호를 주어 각 구간별에서 발생하는 힘과 변위를 측정하였다. 형상기억합금 와이어는 70°C에서 변위가 발생됨을 감안하여 6V-6A SMPS를 선정 하였으며 균일한 전압과 전류를 공급하기 위해 MOSFET회로를 사용하였다. Fig. 6은 실험장치의 구성도를 나타낸 것이다.

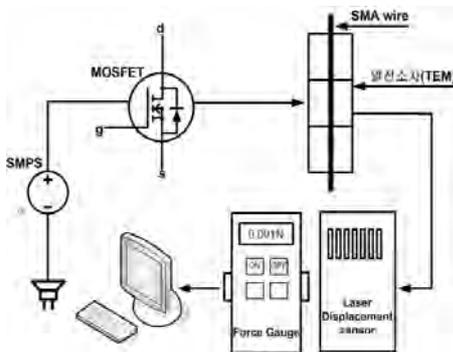


Fig. 6 Schematic Diagram of Positioning System

5.1 형상기억합금 와이어의 힘 측정

Fig. 7, 8은 직경 100 μ m와 150 μ m의 형상기억합금 와이어를 열전소자에 의해 10개 구간으로 나누고 입력신호를 주어 각 구간에서 발생하는 힘의 크기를 디지털 힘 측정기(Digital Force Gauge)를 이용하여 각각 측정한 것을 나타낸 것이다.

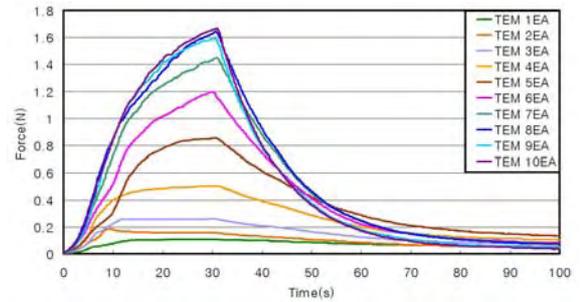


Fig. 7 Force Measurement of Diameter 100 μ m

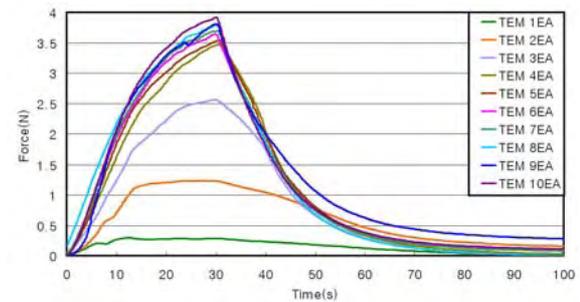


Fig. 8 Force Measurement of Diameter 150 μ m

5.2 형상기억합금 와이어의 변위 측정

로봇핸드의 운동은 형상기억합금 와이어의 직선 변위로 구동되기 때문에 자연스런 움직임은 분할된 구간에서 발생하는 변위에 따라 좌우된다. 따라서 각 구간에서 발생하는 변위를 레이저 변위 센서(Laser Displacement Sensor)를 이용하여 측정하였다. Fig. 9는 5구간에서 발생된 변위를 측정한 것이고 Fig 10은 10구간에서 발생된 변위를 측정한 것이다. Table 3은 1구간에서부터 10구간까지 발생된 변위를 나타낸 것이다.

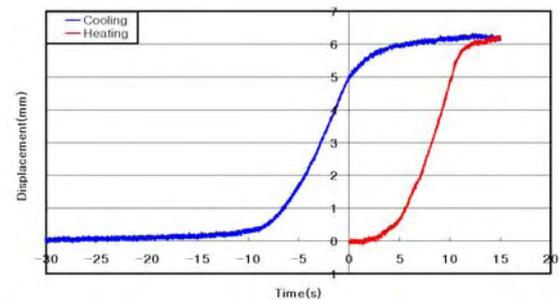


Fig. 9. Displacement of 5 Segmented SMA Wire

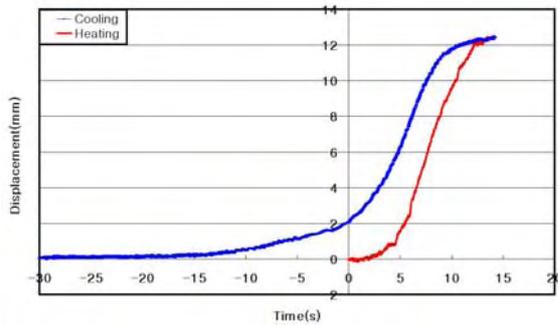


Fig. 10 Displacement of 10 Segmented SMA Wire

Table 3 Displacement of Segmented SMA Wire 1 to 10

구간	최대 변위 (mm)
1	1.47
2	2.67
3	3.90
4	5.26
5	6.44
6	7.97
7	8.98
8	10.33
9	11.63
10	12.99

5.3 형상기억합금 디지털 스텝모터 개발

구간분할 된 형상기억합금 와이어에 각각 입력신호를 주면 구간별로 변위가 일어난다. Fig. 12는 구간별로 입력 신호를 주었을 때 형상기억합금 와이어의 변위가 선형적으로 증가함을 나타낸 것으로써 이것은 디지털 스텝모터의 역할이 가능함을 보여준다.

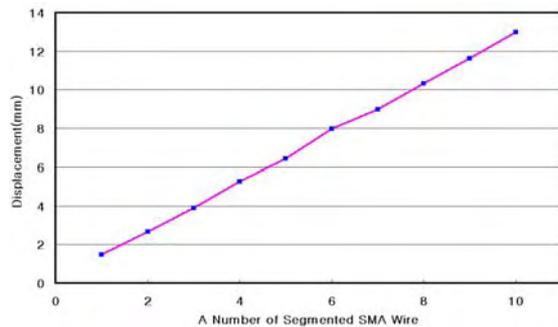


Fig. 11 Change of Displacement as a number of Segmented SMA Wire

5.4 히스테리시스 특성

Fig. 12는 전 구간에 열 또는 전기를 직접 입력했

던 기존의 제어 방식과 구간분할 된 형상기억합금 와이어의 히스테리시스를 분석하기 위해 10개 구간과 똑같은 길이에 대해 변위 곡선을 비교하였다.

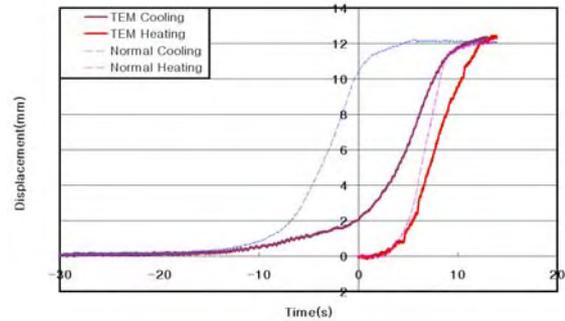


Fig. 12 Hysteresis Characteristics of Segmented SMA Wire & Normal control

6. 결론

본 연구에서는 형상기억합금 액추에이터의 히스테리시스를 감소시키고 제어특성을 향상시키기 위해 구간분할 바이너리 제어기만으로 구동되는 다축 디지털 스텝모터의 메커니즘을 연구하였다. 또한 사람의 손동작과 유사한 운동능력을 갖는 Robotic Hand를 개발하기 위하여 ADAMS를 이용하여 시뮬레이션하였다. 그 결과 Robotic Hand의 여러 가지 운동 형태에 필요한 액추에이터의 입력조건과 변위와의 관계를 파악하였다. 형상기억합금 와이어를 구간분할 바이너리 기법으로 제어하여 각각의 구간별 입력신호에 따라 발생하는 힘과 변위를 측정하였고 구간별 입력 신호에 따라 형상기억합금 와이어가 디지털 스텝모터의 역할을 할 수 있음을 확인하였다. 또한 형상기억합금을 구간분할 바이너리 제어한 결과 기존의 방법에 비해 히스테리시스가 현저히 감소되었음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. "산업판도를 바꿀 10대 미래기술," 삼성경제연구소, 2003. 6
2. "Accurate and Rapid Control of Shape Memory Alloy Actuator," Thesis of Degree of Ph.D. MacGill Univ., 1999
3. "Skeletal Muscle is a Biological Example of a Linear Electroactive Actuator," presented Smart Structures and Materials, 1999
4. "Modeling and Simulation of an Artificial Muscle and its Application to Biomimetic Robot Posture Control," Robotics and Automation Vol. 41, 2002
5. "A Binary Paradigm for Robotic Manipulators," Proc. IEEE ICRA, 1994