

# 구간분할 바이너리 제어를 이용한 로봇핸드의 동특성에 관한 연구

정상화\*, 차경래+, 김현욱+, 최석봉+, 김광호++, 박준호+

## A study on Dynamic Characteristics of the Robot Hand Using the Segmented Binary Control

Sanghwa Jeong\*, Kyoungrae Cha+, Hyunuk Kim+, Sukbong Choi+,  
Gwangho Kim++, Juneho Park+

### Abstract

In recent years, as the robot technology is developed the researches on the artificial muscle actuator that enable robot to move dextrously like biological organ become active. The widely used materials for artificial muscle are the shape memory alloy and the electroactive polymer. These actuators have the higher energy density than the electromechanical actuator such as motor. However, there are some drawbacks for actuator. SMA has the hysterical dynamic characteristics.

In this paper the segmented binary control for reducing the hysteresis of SMA is proposed and the simulation of anthropomorphic robotic hand is performed using ADAMS.

**Key Words :** Segmented binary control(구간분할 바이너리 제어), Peltier Effect(펠티어 효과), Thermoelectric module(열전소자), Robot Hand(로봇핸드), Shape Memory Alloy(형상기억합금)

## 1. 서론

로봇 산업은 용도에 따라 산업로봇과 개인로봇으로 나눌 수 있는데 최근 들어 개인 로봇의 발달이 가속화되고 있다.<sup>1</sup> 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 힘발생 비율이나 에너지집적도 등에 의해 결정된다. 최근 들어 개인 로봇이 발전함에 따라 로봇이 생명체와 같이 유연한 운동을 가능하게 하는 인공근육 액츄에이

\* 정상화, 조선대학교 기계공학과 (shjeong@chosun.ac.kr)

주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동 375번지

+ 조선대 기계공학과

++ 조선대 광응용공학과

터에 대한 연구도 진행 중이다. 현재까지 개발된 인공근육 액츄에이터로 가장 많이 쓰이는 것은 형상기억합금(SMA)과 전기작동형 폴리머(Electroactive Polymer) 액츄에이터이다.<sup>2</sup> 이러한 액츄에이터들은 모터와 같은 전기기계적(Electromechanical) 액츄에이터들에 비해 높은 에너지집적도를 가지고 있다. 그러나 로봇 액츄에이터로 사용하기에는 많은 어려운 점이 있다. 형상기억합금의 경우 비선형적 동특성을 문제점으로 들 수 있고 전기 작동 폴리머는 시간이 지날수록 반복성능과 내구성이 현저하게 저하된다는 단점을 가지고 있다.<sup>3,4</sup> 그러므로 로봇의 유연하고 부드러운 움직임과 높은 에너지 집적도를 보장하는 인공근육 액츄에이터를 사용하기 위해서는 재료가 가지고 있는 단점을 보완하는 연구가 필요하다.<sup>5</sup>

본 연구에서는 구간분할 바이너리 제어기반으로 구동되는 다축 디지털 스텝모터의 메커니즘을 연구하였다. 또한 이를 이용하여 사람의 손동작과 유사한 운동능력을 갖는 Anthropomorphic Robotic Hand를 개발하기 위하여 ADAMS를 이용하여 시뮬레이션하였다. 그 결과로 Robotic Hand의 여러 가지 운동 형태에 필요한 액츄에이터의 입력조건과 변위와의 관계를 파악하였고, 다양한 운동 형태에 따른 입력신호의 관계를 규명 하였다.

## 1. 구간분할 바이너리 제어

기존의 형상기억합금 액츄에이터의 제어방식은 형상기억합금 와이어 전 구간에 열 또는 전기를 입력하고 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 기법인 구간분할 바이너리 제어기법에 대해 연구하였다. 이 제어 기법은 형상기억 합금 전체에 입력을 가하는 기존의 제어 기법과 달리 긴 형상기억합금 와이어를 여러 짧은 구간으로 나누고 각각의 구간을 독립적으로 바이너리(ON/OFF) 방식으로 제어하는 기법이다. Fig. 1은 구간분할 바이너리 제어 기법에 대한 블록선도를 나타낸 것이다.

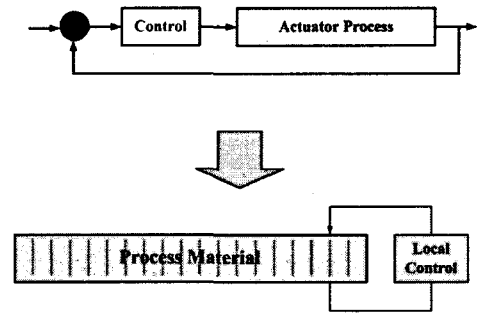


Fig. 1 Segmented Binary Control

구간별 온도제어를 하기 위하여 펠티어 효과(Peltier Effect)를 이용한 열전소자(Thermoelectric device : Peltier Module)를 사용하여 제어한다. 열전소자는 P형과 N형 반도체를 조합하여 접합시켜놓은 것으로 순방향으로 전류를 통해주면 한쪽 면은 온도가 증가하는 히터로 사용되고 반대편 쪽은 열펌프의 역할을 하게 되며 역전류를 통해주면 반대 역할을 하는 소자이다. 열전소자는 현재 자동차용 냉장고와 같은 소규모 온도 유지장치에 사용되고 있으며 구조가 간단하고 부피에 비해 에너지 효율이 좋아 그 사용이 점차 확대되고 있다. Fig. 2는 형상기억합금 액츄에이터를 구간분할 바이너리 제어하고자 열전소자를 형상기억합금 와이어에 구간별로 샌드위치 형태로 장착해놓은 기구도이다. 한쪽 소자는 가열을 위하여 다른 한쪽은 냉각을 위해 사용된다.

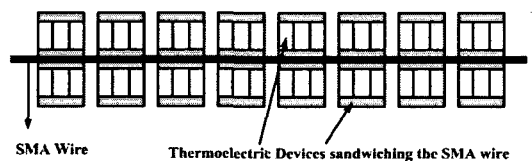


Fig. 2 SMA Wire Stack with Peltier Module

## 2. 구간분할 바이너리 제어기법을 이용한 디지털형상기억합금 스텝모터

기존의 형상기억합금 액츄에이터의 제어방식은 와이어 전체에 신호를 입력하여 그때의 와이어에서 발생하는 전체 변위가 제어 대상이었다. 반면 바이너리 제어에서는 바이너리 신호 즉 ON/OFF 입력신호로 하여 여러 작은 구간으로 구분된 형상기억합금 와이어의 각 구간에 입력되고 그때 발생하는 구간별 변위가 제어 대상이 된다. 이때 변위가 발생될 때

의 상태를 1(ON) 변위 발생이 없는 상태를 0(OFF)으로 한다. 그러므로 형상기억합금 액추에이터는 각각의 구간의 상태에 따라 변위가 결정되는 디지털 방식의 제어가 가능하게 된다. Fig. 3은 바이너리 제어를 이용하여 디지털화시킨 제어 형태를 나타낸 것이다.

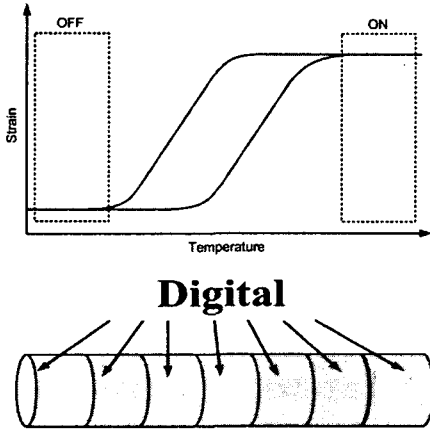


Fig. 3 Segmented Digital Control

Fig. 4는 형상기억합금 액추에이터의 구간분할 바이너리 제어의 블록선도를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 제어신호를 입력하면 제어입력은 구간신호 조정기에 의해 각각의 구간 제어기로 배분되어 각 구간별로 변위를 발생시킨다. 이러한 디지털화된 변위들이 합성되어 전체의 합성변위를 발생된다. 각 구간의 온도 상태는 구간신호 조정기로 피드백 되고 이 신호를 참조로 하여 냉각이 완료된 구간에 다음 신호를 입력한다. 그러므로 형상기억합금 액추에이터를 구간 분할 바이너리 제어함으로써 와이어 전체가 작동되었을 때 발생하는 히스테리시스를 감소시킬 수 있으며 신호가 바뀔 때마다 발생하는 지연시간을 줄여 우수한 위치 추종 성능을 가질 수 있다.

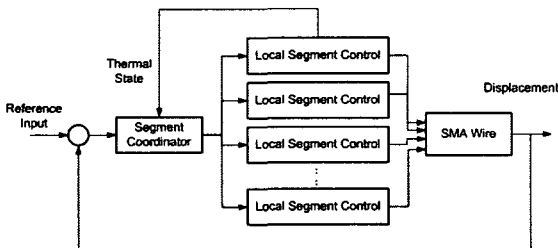


Fig. 4 Block Diagram of Segmented Binary Control

원하는 변위에 따라 구간별 입력신호를 패턴화하면 Fig.5와 같이 형상기억합금 액추에이터는 디지털 스텝모터와 같은 역할을 하게 된다. 모든 구간 신호가 0이었을 때는 0상태이고 제 2구간의 신호가 1이면 변위 1의 상태, 제 2, 5, 7구간의 신호가 1이었을 때는 변위 3상태, 그리고 모든 구간의 신호가 1이 되었을 때는 변위 7의 상태가 된다.

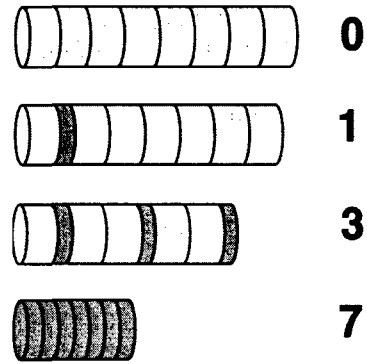


Fig. 5 SMA Digital Step motor

### 3. 로봇핸드 모델링

로봇핸드는 구간 바이너리 제어 기법에 의해 제어되는 형상기억합금 와이어의 직선변위의 입력으로 구동된다. 입력된 직선변위는 커플링과 풀리를 통해 손가락 관절의 각변위로 변환된다. 각 손가락 관절의 움직임은 실제 손의 모델과 유사한 운동범위와 자유도를 갖도록 설계되었다. 본 장에서는 로봇핸드의 각 관절의 운동에 요구되는 형상기억합금 와이어의 직선변위와의 관계와, 로봇핸드의 여러 가지 운동형태에 따른 각 관절의 각변위 및 요구되는 입력변위 데이터를 얻고자 ADAMS를 이용하여 로봇핸드를 시뮬레이션하였다. 보통 형상기억합금의 변위는 일정하므로 시뮬레이션 데이터를 바탕으로 형상기억합금의 사양을 설정할 수 있었다. Fig. 6은 로봇핸드를 모델링 한 것으로 손가락은 링크로 각 관절은 회전조인트로 그리고 형상기억합금의 입력부분은 커넥터의 직선변위로 모델링하였다. 직선변위를 각변위로 변환시키는 장치는 풀리와 커플링으로 그리고 풀리의 입력을 각 손가락 관절의 출력으로 전달되는 부분은 체인커플링으로 모델링하였다. Table 1은 모델링 조건을 나타낸 것이다.

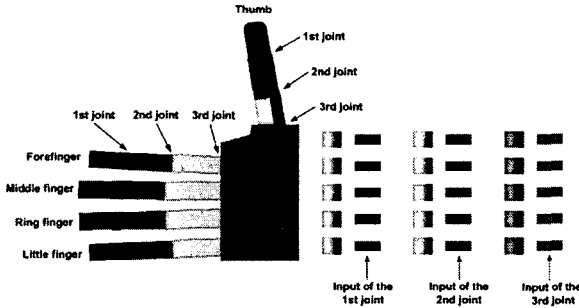


Fig. 6 Modeling of Robot Hand

Table 1 Conditions of ADAMS Modeling

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

### 3.1 로봇핸드의 자세별 입력관계

Fig. 6의 상태를 초기상태로 했을 때 로봇핸드의 최대변위는 로봇핸드가 주먹을 쥐고 있을 때의 형태로 설정하였다. Fig. 7은 최대변위를 요구하는 First Grip의 손모양을 나타낸 것이다. 이때의 손가락 마디 각 관절의 각변위와 입력변위를 시물레이션을 통하여 구하였다. Fig. 8은 검지(Fore Finger)의 관절의 각변위를 나타낸 것이다. 첫 번째 관절에서는 110°, 두 번째 관절은 100°, 그리고 세 번째 관절은 80°의 최대변위를 나타내었다. 그에 대한 입력변위는 첫 번째 관절이 9.5993 mm, 두 번째가 8.7266 mm, 세 번째가 6.9813 mm로 파악되었다. Fig. 9는 각관절에 대한 직선 입력 변위를 나타낸 그래프이다. 각관절의 각변위와 그에 대한 입력 변위는 Table 2에 나타내었다.



Fig. 7 Fist 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
Fore finger	5.236	2.618	6.1087
Middle finger	110.0	100.0	80.0
Ring finger	9.5993	8.7266	6.9813
Little finger	110.0	100.0	80.0
	9.5993	8.7266	6.9813

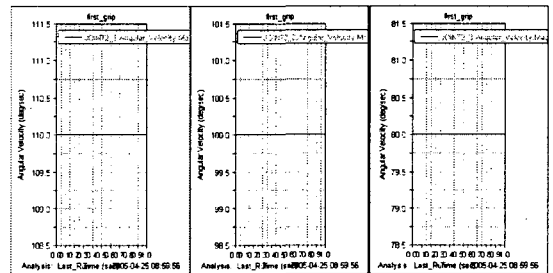


Fig. 8 Angular Displacement of Fore finger

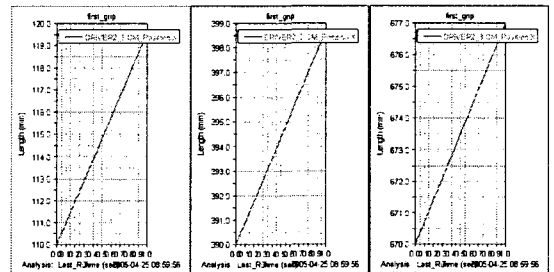


Fig. 9 Translational Input of Fore Finger

손동작의 형태에 따른 각 관절의 각변위와 입력 변위에 대한 입력데이터를 얻고자 다양한 형태의 손동작을 시물레이션하였다. 세개의 그립(Grip)형태, 세 개의 핀치, 감싸는 동작(Envelope), 포인트(Point) 형태, 서베이 형태(Survey)의 손동작을 시물레이션하고 그에 대한 입력 데이터를 파악하였다. Fig. 10은 볼을 쥐고 있을 때의 손모양을 시물레이션한 것이다. 시물레이션 한 결과 Table 3과 같이 손가락 마디관절에 대한 형상기억합금 액추에이터에서의 입력 관계 데이터를 얻을 수 있었다. Fig. 11은 작은 물체를 들어올릴 때의

모습을 시뮬레이션 한 것으로 그때의 손가락 마디 관절의 각 변위와 그에 대한 입력 데이터를 나타낸 것이다. Fig. 12는 세 손가락을 이용하여 물체를 끄집어 올릴때의 손동작을 시뮬레이션한 것이다. 그때의 각변위와 형상기억합금의 직선변위의 관계는 Table 5에 나타내었다. Fig. 13은 손가락으로 지시할 때의 손동작을 시뮬레이션한 것이고 Table 6은 입출력관계를 나타낸 것이다.

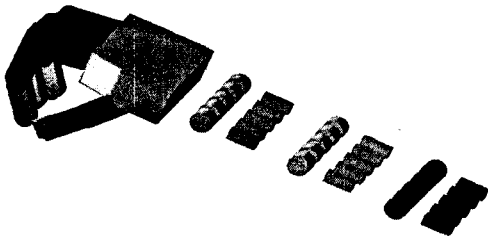


Fig. 10 Ball grip 1

Table 3 Input and Output of Ball Grip

Ball grip 1	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	50.0
	5.236	2.618	4.3633
Fore finger	35.0	80.0	9.0
	3.0543	6.9813	0.7854
Middle finger	35.0	80.0	9.0
	3.0543	6.9813	0.7854
Ring finger	35.0	80.0	9.0
	3.0543	6.9813	0.7854
Little finger	35.0	80.0	9.0
	3.0543	6.9813	0.7854

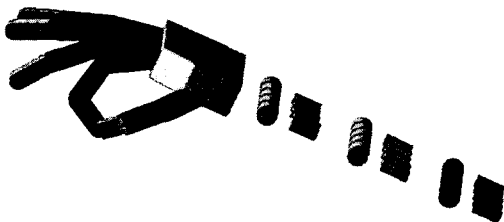


Fig. 11 Pinch 1

Table 4 Input and Output of Pinch 1

Pinch 1	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	30.0	45.0	45.0
	2.618	3.927	3.927
Fore finger	70.0	50.0	30.0
	6.1087	4.3633	2.618
Middle finger	10.0	25.0	20.0
	0.8727	2.1817	1.7453
Ring finger	1.0	15.0	10.0
	0.0873	1.309	0.8727
Little finger	1.0	10.0	10.0
	0.0873	0.8727	0.8727

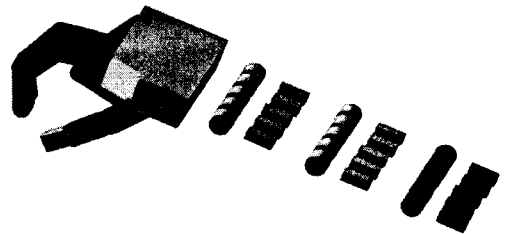


Fig. 12 Pinch 3

Table 5 Input and Output of Pinch 3

Pinch 3	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	20.0	30.0	50.0
	1.7453	2.618	4.3633
Fore finger	50.0	50.0	10.0
	4.3633	4.3633	0.8727
Middle finger	50.0	55.0	10.0
	4.3633	4.7997	0.8727
Ring finger	100.0	110.0	60.0
	8.7266	9.5993	5.236
Little finger	100.0	110.0	60.0
	8.7266	9.5993	5.236

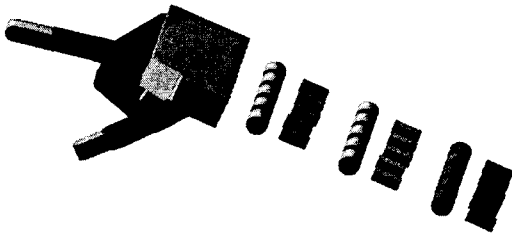


Fig. 13 Point

Table 6 Input and Output of Point

Point	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	10.0	10.0	50.0
	0.8727	0.8727	4.3633
Fore finger	0	0	10.0
	0	0	0.8727
Middle finger	100.0	100.0	60.0
	8.7266	8.7266	5.236
Ring finger	100.0	110.0	60.0
	8.7266	9.5993	5.236
Little finger	100.0	110.0	60.0
	8.7266	9.5993	5.236

#### 4. 결론

본 연구에서는 형상기억합금 액추에이터의 히스테리시스를 감소시키고 제어특성을 향상시키기 위해 구간분할 바이너리 제어기반으로 구동되는 다축 디지털 스텝모터의 메커니즘을 연구하였다. 또한 이를 이용하여 사람의 손동작과 유사한 운동능력을 갖는 로봇핸드를 개발하기 위하여 ADAMS를 이용하여 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션을 통하여 로봇핸드의 최대운동 범위와 그때의 입력을 파악함으로써 형상기억합금 액추에이터의 사양을 결정할 수 있었다. 또한 로봇핸드의 실제 구동시와 같은 다양한 손동작에 대응하는 입력 데이터를 얻고자 여러 가지 손동작을 시뮬레이션하였다. 그 결과 손동작에 대한 각 손마디 관절의 각변위와 그에 필요한 입력데이터를 구할 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