

## 와이어프레임 기반의 3차원 형상제시기의 실시간 SMA 제어

김영민\*(고려대 메카트로닉스학과), 추용주(고려대 기계공학과), 송재복(고려대 기계공학과)

Real-time SMA control for wire frame-based 3D shape display

Y. M. Kim (Korea Univ.), Y. J. Chu (Korea Univ.), J. B. Song (Korea Univ.)

### ABSTRACT

We developed wire frame drive unit based on SMA for the 3D Shape display. Our basic concept is wire frame combination connected with a chain form which can create various shapes and it compared with pin array mechanism which is not able to display mushroom shape. It imitates antagonist mechanism of human musculoskeletal system, we create similar motion using repair-relaxation mechanism and locking mechanism by SMA. Therefore, in this paper, we propose SMA control solution for actuating repair-relaxation mechanism and locking mechanism. In our control system, we use optical sensor and quantitative angle between wire frames for closed loop control. And we supply amplified current for SMA by circuit composed of transistor and apply PWM signal to circuit for efficient control. So, wire frame drive unit enable diversity angle control based on sensor data. And then combination of wire frame drive units will create various objects.

**Key Words :** SMA Controller(SMA 제어기), Shape Memory Alloy (형상기억 합금), Wire frame drive unit(와이어프레임 구동 유닛)

### 1. 서론

가상현실은 인간이 컴퓨터에서 생성하는 복잡한 데이터를 표현하고, 들고 느끼는 상호작용이다. 형상제시기(shape display)는 가상현실을 구현해 주는 장치로서 가상의 부피감이 있는 형상을 생성해서 조작자에게 시각적, 역감적으로 보여주는 장치이다. Touch Lab에서 개발한 형상제시기는 형상을 생성하기 위한 액츄에이터로서 RC 서보모터를 사용하여 6x6 형태의 펈 배열로 형상을 생성하였다[1]. 그러나 형상제시부에 비해 구동부가 훨씬 더 커지게 되는 문제가 있었다. 본 논문에서 형상기억합금(shape memory alloy, 이하 'SMA'라 칭함)에 기반한 와이어프레임 구동 유닛으로 구성되는 3차원 형상제시기를 제안한다. SMA는 서보모터에 비해 크기가 매우 작은 장점을 가지나, 길이 제어가 어렵다[2][3]. 본 논문은 광학식 센서를 사용한 SMA의 길이제어 방법과 PWM 신호로 효과적인 SMA 제어 방법을 제시한다.

### 2. 와이어 프레임 구동 유닛 및 제어 장치

형상제시기의 액츄에이터로 코일 형태의 SMA(BMX200)을 사용하였는데, 이는 와이어 프레임 구동 유닛이 작은 공간에서 형상을 생성하기 때문에 와이어 형태의 SMA보다 신장률이 우수한 코일 형태의 SMA가 유리하기 때문이다. BMX200은 코일 직경 0.85mm, 직경 0.2mm, 최대 출력토크 40~60gf·

저항 225Ω/m, 소비전류 300~400mA의 사양을 갖는다. SMA는 전기회로에서 저항과 같이 동작하고 트랜지스터나 FET 등 증폭소자의 조합으로 구동이 가능하다. 그러나 간단한 동작 방법에 비해서 입력 전류에 대해 비선형적으로 반응하여 오픈 루프 제어가 어렵기 때문에 SMA의 길이 변화를 피드백할 수 있는 장치가 필요하다. 또한, 사용하는 SMA은 출력토크가 와이어 형태의 SMA보다 작다. 그래서 엔코더나 포텐ショ미터 등 SMA와 접촉해서 사용하는 측정장치를 사용한다면, 측정장치에서 발생하는 마찰력 때문에 SMA의 출력토크가 손실되어 와이어 프레임 구동 유닛을 제어하기 힘들 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 광학센서를 사용한 비접촉 측정장치를 사용하였다.

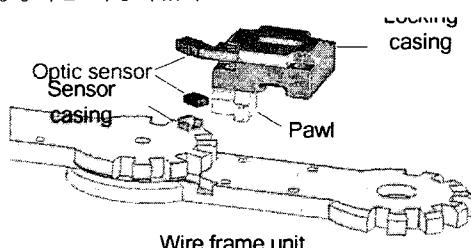


Fig. 1 Wire frame drive unit

Fig. 1은 3D 형상제시기의 와이어 프레임 구동 유닛이다. 와이어 프레임 구동 유닛은 1 자유도의 운

동이 가능하도록 2개의 SMA를 사용하였고, 생성된 각도 변화를 유지하기 위하여 래치에 1개의 SMA를 사용하였다. 형상의 생성 시 와이어 프레임 구동 유닛은 헌지를 중심으로  $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 60^\circ$ ,  $\pm 90^\circ$ ,  $\pm 120^\circ$  까지 회전한다. SMA의 길이 제어에 의해서 헌지의 회전각이 결정된다. 조작자가 원하는 각도가 생성되면 래치가 작동하여 생성된 형상이 고정된다.

본 논문에서는 와이어 프레임 구동유닛의 제어를 위하여 AVR(ATmega128, Atmel) 프로세서와 증폭회로 및 광학센서를 사용하였다. 형상제시기의 제어부를 마이크로프로세서로 모듈화함으로써 제어부의 소형화가 이루어졌다. 또한, 형상의 생성하기 위해서는 다수의 와이어 프레임 구동유닛을 사용해야 되는데, 이 경우에도 제어부에 대한 추가적인 개발이 필요가 없으며 모듈화된 제어기의 연결만으로 다수의 와이어 프레임 구동유닛의 제어가 가능하다. 설계한 제어기는 효과적인 SMA 제어를 위하여 PWM을 사용하였다. AVR의 내부타이머에서 생성한 PWM 신호는 트랜지스터로 구성한 증폭회로를 통해서 증폭되고, 증폭된 신호는 SMA에 인가된다. 전류가 인가된 SMA는 기억된 형상으로 복원하며, 와이어 프레임 구동유닛은 헌지를 중심으로 회전한다. 이 때, 와이어 프레임 구동유닛의 회전량은 SMA에 인가되는 전류의 시간에 대하여 비선형적으로 반응한다. 따라서 본 제어시스템은 SMA의 길이를 제어하기 위하여 광학센서를 와이어 프레임 구동유닛의 래치에 수직으로 연결하고, 회전각에 대한 피드백 정보를 얻어내었다.  $30^\circ$  단위로 검출된 센서 데이터를 기반으로 하여 목표로 하는 헌지의 회전각까지 SMA를 구동시키고, 래치에 연결된 SMA을 동작시켜 와이어 프레임 구동유닛을 고정하여 조작자가 원하는 형상을 얻을 수 있다. 위의 작동 방법은 비접촉형 센서를 사용하여 SMA 출력 손실 없이 와이어 프레임 구동유닛을 제어한다.

### 3. 실험

본 제어 시스템으로 SMA에 인가해야 할 전압을 결정하는 실험과 길이 제어 실험을 수행하였다. SMA의 인가 전압의 결정을 위한 실험은 SMA와 인장스프링을 직렬로 연결하여 SMA에 가변 전압을 인가하였다. 본 실험의 결과, SMA 복원 길이는 인가 전압이  $1.5V$ 에서 최대가 되는 것을 확인할 수 있었다. 즉, PWM의 평균전압을  $1.5V$ 로 유지하면 SMA의 출력력을 최상으로 사용할 수 있다. SMA의 길이 제어 실험은 광학센서로 피드백 받은 와이어 프레임 구동유닛의 회전량을 토대로 SMA의 길이를 제어하였다. 이 실험은  $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 60^\circ$ ,  $\pm 90^\circ$ ,  $\pm 120^\circ$  까지 원하는 회전각에 따라 광학센서에서 피

드백되는 데이터를 기반으로 와이어 프레임 구동유닛을 제어하였으며, 모든 각에서 와이어 프레임 구동유닛의 제어가 가능하였다. 또한, 형상이 생성되면 잠금장치에 삽입된 SMA를 제어하여 생성된 형상을 고정할 수 있었다.

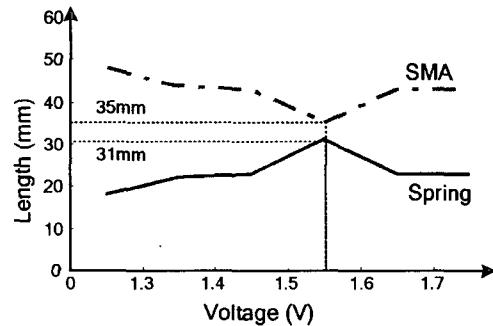


Fig. 2 Change in SMA length as a function of applied voltage.

### 4. 결론

본 제어 시스템은 3차원 형상제시기의 구성요소인 와이어 프레임 구동유닛에 SMA를 적용할 수 있도록 하였고, 형상 제시기의 크기에서 액츄에이터가 차지하는 비율을 크게 줄일 수 있었다. 또한 SMA의 출력 손실을 없애기 위하여 광학센서로 회전량의 피드백을 받았으며, 이를 토대로 SMA의 길이를 제어하여 와이어 프레임 구동유닛의 형상을 다양하게 생성해 낼 수 있었다. 와이어 프레임 구동유닛을 사용하여 형상을 생성하면 기존의 편 배열 구조에서는 만들어 낼 수 없었던 버섯모양의 형상이나, 부드러운 곡선을 가지는 형상을 생성할 수 있다. 향후 와이어 프레임의 크기를 줄이고 생성 가능한 각 변화를 다양하게 한다면 좀더 섬세하고 다양한 형상들을 생성해 낼 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. C. R. Wagner, S. J. Lenderman, R. D. Howe, "Tactile Shape Display Using RC Servomotors," 10<sup>th</sup> Symposium on Haptic Interface Environment and Tele operator, march, pp.57-62, 2002
2. Toshiyuki Hino, Takashi Maeno, "Development of a Miniature Robot Finger with a Variable Stiffness Mechanism using Shape Memory Alloy", International Symposium on Robotics and Automation, august, pp.25-27, 2004
3. P.M. Taylor, A. Moser, A. Creed, "The design and control of a tactile display based on shape memory alloys", robotics and Automation, volume2, vol2, pp. 1318-1323, 1997