

2차원 형상 제시를 위한 SMA에 기반한 와이어프레임 구조의 개발

추용주*, 송재복#

Development of SMA-based Wireframe Structure for 2D Shape Display

Yong-Ju Chu* and Jae-Bok Song#

ABSTRACT

This paper proposes a novel method of 2 dimensional shape display. Shape displays allow us to feel the actual volume of the object, unlike conventional 2D visual displays of 3D objects. The proposed method employs a wireframe structure to present 2D or 3D objects. The wireframe is composed of small units driven by shape memory alloy (SMA) actuators. The drive unit is analogous to the agonist-antagonist system of animal musculoskeletal systems, where the SMA actuators serve as agonist and antagonist muscles. The force in the SMA actuator is controlled by electrical current. The drive unit is equipped with the locking mechanism so that it can sustain the external force exerted by the user as well as the own weight of the wireframe structure. By controlling the current into the SMA actuator and locking mechanism, we can control the angle of the drive unit. A chain of drive units enables presentation of 2 dimensional objects. 3 dimensional presentations are possible by collecting the chains of drive units.

Key Words : 2D shape display (2차원 형상제시기), Shape memory alloy (형상기억합금), Wireframe drive unit (와이어프레임 구동 유닛)

1. 서론

현재까지 정보전달 장치에 대해서 많은 연구가 수행되어 왔다. 대부분의 정보전달 방법은 시각 및 청각을 이용하는 것으로, 모니터를 비롯하여 많은 장치들이 개발되어 사용되고 있다. 시청각을 제외한 다른 감각을 전달하기 위한 장치의 개발은 아직은 초기 단계에 있다. 특히, 촉감이나 역감 등의 감각을 전달하는 장치인 햅틱스에 대한 연구가 지난 수십 년 동안 지속되어 왔지만, 햅틱 마우스,

햅틱 조이스틱 등 몇 가지 장치를 제외하고는 정보전달 장치로서 많은 호응을 얻지 못하고 있는 실정이다.¹

촉감을 전달하는 몇 가지 형태의 촉각 제시기가 대학 및 일부 기업에서 개발되어, 일부는 상용화 단계에 있다. 그러나 촉각 제시기는 동작범위가 작고 촉각 위주의 정보전달 방법이므로, 부피감 있는 3차원 형상에 대한 정보를 전달하기에는 적합하지 않다. 이에 비해서, 3차원 형상제시기(shape display or form display)를 이용하면 사용자에

접수일: 2007년 1월 9일; 게재승인일: 2008년 2월 21일

* 고려대학교 기계공학과 대학원

교신저자: 고려대학교 기계공학과

E-mail: jbsong@korea.ac.kr Tel. (02) 3290-3363

게 부피감이 있는 형상을 제시하여 보다 구체적인 시각 및 촉감 정보를 전달할 수 있다.

현재까지 개발된 대부분 3차원 형상제시기는 핀을 상하로 움직이면서 양각을 표현하는 핀 배열(pin array type) 방식을 채택하고 있다.² 그러나 핀 배열 방식은 모든 핀을 제어하기 때문에 전체적인 시스템이 커지게 된다.

따라서 본 연구에서는 3차원 형상제시기를 구성하기 위한 전 단계로서, 제어 가능한 와이어프레임 구조를 갖는 장치를 사용하여, 다양한 2차원 형상을 생성하는 방법을 제안하고자 한다. 즉, 형상 기억합금(shape memory alloy, 이하 ‘SMA’ 칭함)³을 액츄에이터로 사용하여 두 모듈 간의 각도를 조절할 수 있는 와이어프레임 구동유닛을 개발하고 (Fig. 1 참조), 이 구동유닛을 다수 직렬로 연결한 와이어프레임 구조의 2차원 형상제시기를 제안한다.⁴ 이러한 구조는 핀 배열 구조가 단지 양각만을 표현할 수 있는데 비해서, 음각도 표현할 수 있는 장점을 갖게 된다.

본 연구의 의미는 종래에 제어의 어려움으로 인하여 단순한 분야에만 사용하던 SMA를 사용한 구동유닛을 제안하였다는 점과, 이를 소형화하여 실제 시스템으로 구현하였다는 점이다. SMA의 특성으로 인하여 반응속도는 느리지만, 원하는 각도로의 움직임을 정확히 수행할 수 있는 장치를 제안한 점도 본 연구에서의 기여라고 생각된다.

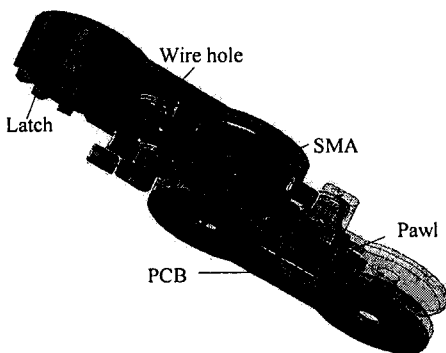


Fig. 1 Schematic of proposed wireframe drive unit

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 와이어프레임 구동유닛용 액츄에이터로 사용되는 SMA의 동작원리, 주동근-길항근의 관계를 이용한 구동유닛의 작동원리, 회전각의 측정을 위한 측정

장치 및 구동유닛 각도의 유지를 위한 잠금장치 등에 대하여 설명한다. 3절에서는 구동유닛의 제어기 및 다수의 구동유닛으로 구성되는 와이어프레임 구조에 대하여 설명하고, 이를 이용한 2차원 형상 제시의 예를 보여준다. 4절에서 결론 및 향후 연구 계획에 대하여 언급한다.

2. SMA 기반의 와이어프레임 구동유닛

2.1 SMA

일반적으로 SMA는 초탄성 거동과 형상기억 효과(shape memory effect)의 두 가지 특성을 가지는데, 본 연구에서는 주로 형상기억 효과를 사용한다. 형상기억 효과는, Fig. 2과 같이 합금에 외력을 가하면 내부 배열이 오스테나이트에서 마르텐사이트로 변형을 일으키지만, SMA에 기억되어 있는 초기형상기억온도까지 열을 가하면 다시 오스테나이트로 돌아가면서 원래의 형상으로 복원되는 현상을 말한다. SMA를 가열하는 방식으로 SMA 자체에 전류를 흐르게 하면 쉽게 형상기억 온도에 도달하여 초기형상으로 변화시킬 수 있으며, SMA와 기구부를 잘 조합하면 기구부의 원하는 움직임을 생성할 수 있다.

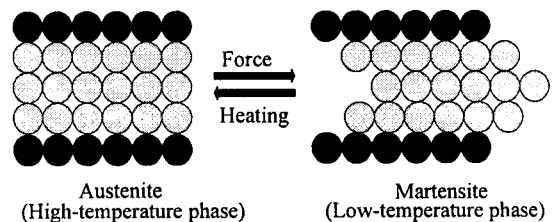


Fig. 2 Shape memory effect of SMA

SMA는 단위 부피당 큰 힘과 신장률을 가지므로 기존의 모터나 감속기 등이 장착되기 어려운 좁은 공간에서도 사용될 수 있다. 또한, 전류의 전도에 의해서 형상 변화가 가능하므로, 다른 액츄에이터와 달리 특별히 복잡한 제어기가 필요 없어서 제어를 소형화할 수 있는 장점을 갖는다.

SMA에 흐르는 전류의 양이 증가하여 가열될수록 SMA가 원래 형상으로 복원되는 양이 증가하고, 따라서 SMA의 길이가 수축된다. 그러나 전류의 크기를 조절하더라도 SMA의 형상 변화, 즉 수축의 정도는 정확히 제어하기 어렵다. 또한, 가

열에 의해서 기억된 형상으로 변형된 후에는 외력에 의해서 원하는 형상으로 변화시키기 위하여 냉각을 시켜야 된다는 단점도 있다.

2.2 와이어프레임 구동유닛

본 연구에서는 SMA를 양쪽에 병렬로 배열하여 동물의 근골격계와 유사한 형태를 갖는 와이어프레임 구동유닛(wireframe drive unit)을 제안한다. Fig. 3에서 보듯이, 동물의 근골격계는 주동근(agonist)과 길항근(antagonist)이 서로 반대되는 작용을 수행함으로써 운동을 발생시키는 구조로 되어 있으며,⁵ 구동유닛도 이러한 운동방식을 채택하였다.⁶

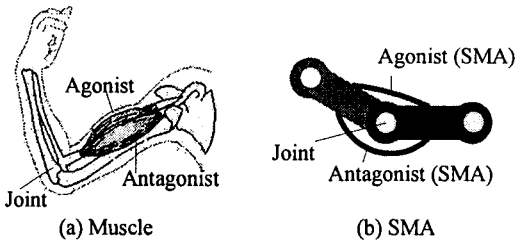


Fig. 3 Analogy between (a) animal musculoskeletal system and (b) wireframe drive unit

와이어프레임 구동유닛의 원리는 SMA를 주동근 및 길항근과 같이 양쪽에 장착한다. 힌지를 중심으로 회전각을 얻기 위해서 한쪽에 장착된 SMA에 전류를 인가하면 발열로 인해 수축하게 되고, 이 수축력이 반대 방향에 장착된 SMA에는 장력으로 작용하여 회전이 수행된다. 이와 같은 원리로 와이어프레임 구동유닛의 최대 회전은 SMA의 초기 길이에 의해 결정되나, 신장률이 50~200%에 이르는 SMA의 경우 대략 $\pm 90^\circ$ 이상의 회전각을 얻을 수 있다.^{3,4}

2.3 구동유닛의 잠금장치

본 연구에서 사용되는 SMA는 단방향 제어(즉, 수축되는 방향)만 가능하고, 주변온도의 영향을 받기 때문에 SMA의 내부온도 제어(즉, 전류 제어)를 통하여 SMA의 길이를 유지하기는 매우 어렵다. 또한, 와이어프레임 구조를 수직하게 설치하면 자신의 중량을 이겨내어야만 전체 형상을 유지할 수 있게 된다. 따라서 와이어프레임 구동유닛의 각도를 유지하기 위해서는 별도의 장치가 필요하다.

이를 위하여 본 연구에서는 Fig. 4에서와 같은 폴(pawl)과 래치(latch)로 구성된 잠금장치(locking mechanism)를 고안하였다. 폴은 판 스프링(leaf spring)과 SMA에 의해서 구동된다. 잠금장치에 사용되는 SMA는 주동근-길항근으로 사용되는 주 액츄에이터와는 별개의 액츄에이터임에 유의하여야 한다. Fig. 4(a)와 같이 SMA에 전류를 인가하지 않은 상태에서는 판 스프링에 의해서 폴이 전진하여 기어 형태로 구성된 래치에 삽입됨으로써, 와이어프레임 구동유닛 내의 모듈간의 회전이 방지되는 잠금 상태에 있게 된다. 한편, Fig. 4(b)와 같이 폴과 연결된 SMA에 전류를 인가하면 가열되어 수축되면서 스프링 힘을 이겨내고 폴이 후진하게 된다. 그러면 구동유닛 내의 모듈간의 회전이 가능하게 되므로, 앞서와 같은 방식으로 구동유닛의 회전을 수행한다. 목표 각도에 도달하면, 폴과 연결된 SMA에 전류 인가를 중단하여 폴을 전진시킴으로써 잠금장치를 다시 동작시킨다. 잠금장치가 동작되면, 중력 등의 외력에 대해서도 구동유닛의 각도가 유지될 수 있다.

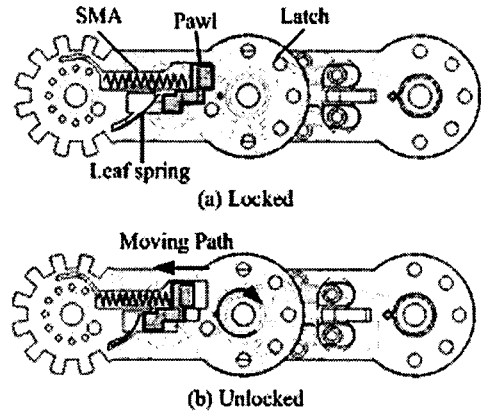


Fig. 4 Locking mechanism composed of pawl, latch and SMA

2.4 구동유닛의 회전각 검출

와이어프레임 구조를 이용하여 다양한 형상을 제시하기 위해서는 구동유닛의 각도를 세밀하게 조정하는 것이 바람직하다. 그러나 구동유닛의 구동에 사용되는 액츄에이터인 SMA를 개루프 제어 방식으로 정확히 제어하는 것이 어려우므로, 구동유닛의 회전각을 측정하여 이를 피드백하여야 한

다. 그러나 이 경우에도 세밀한 각도 구현은 매우 어려우므로, 본 연구에서는 구동유닛이 30°의 분해능을 가지도록 설계하였다.

일반적으로 각도 측정에 사용되는 엔코더나 포텐쇼미터 등과 같은 장치는, 대략 30x10mm의 구동유닛에 비해서 크고, 또한 측정을 위해서는 구동유닛에서 발생하는 토크의 일부를 사용하여야 하는 등의 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 광학식 엔코더의 원리와 유사하게 광학센서를 사용한 비접촉 측정장치를 설계하였다.

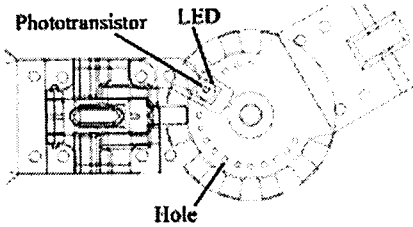


Fig. 5 Measurement of rotation angle using LED and phototransistor

Fig. 5와 같이 구동유닛의 디스크에 빛이 통과할 수 있는 작은 투명 윈도우를 일정한 각도(여기서는 30°)로 배치하였으며, 디스크의 양쪽에 발광을 위한 LED와 수광을 위한 포토트랜지스터로 구성된 광학센서 시스템을 설치하였다. 구동유닛 내의 모듈이 회전하면서 투명 윈도우가 LED 바로 아래를 지나면 투명 윈도우를 통해서 수광부로 빛이 전달되어 포토트랜지스터에서 이 신호를 감지하게 된다. 결과적으로, 구동유닛의 회전을 30° 단위로 검출하고, 이를 바탕으로 SMA에 흐르는 전류를 제어하여 원하는 각도로의 회전운동을 수행하게 된다.

2.5 와이어프레임 구조

앞 절에서 설명한 와이어프레임 구동유닛을 다수 연결하면 와이어프레임 구조를 구성할 수 있으며, 이를 바탕으로 2차원 형상을 생성할 수 있다. Fig. 6는 각 노드에 해당하는 와이어프레임 구동유닛을 구동하여 임의의 2차원 형상을 생성하는 개념도이다. Fig. 6(c)와 같이 와이어프레임 구동유닛의 SMA에 전류를 인가하여 힌지를 중심으로 회전각을 얻으면 높이의 차이를 생성하여 Fig. 6(b)의

수직 단면과 같은 유연한 2차원 형상을 생성할 수 있다. 그리고 이와 같은 와이어프레임을 옆으로 배치하면 Fig. 6(a)와 같은 부피감을 표현할 수 있는 3차원 형상을 생성할 수 있다.

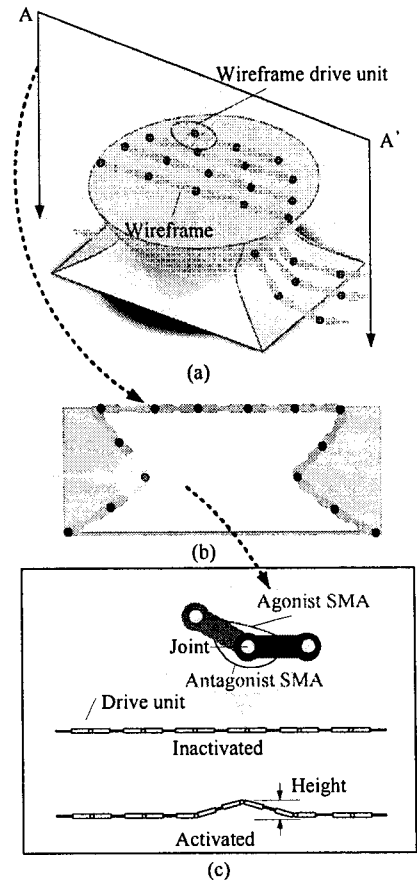


Fig. 6 Concept of 3D display based on wireframe structure; (a) visual 3D shape, and (b) vertical section of 3D shape, and (c) series connection of wireframe drive units

3. 2D 형상제시기의 제작

본 연구에서는 와이어프레임 구동유닛을 소형으로 제작하기 위해서 Fig. 7과 같은 개념으로 설계하였다. Fig. 7과 같이 SMA의 몸체 부분이 외부로 노출되지 않고 SMA 가이드 내로 삽입할 수 있도록 설계함으로써, SMA 잠열의 급격한 변화를 막고, 미관상의 향상을 꾀하였다.

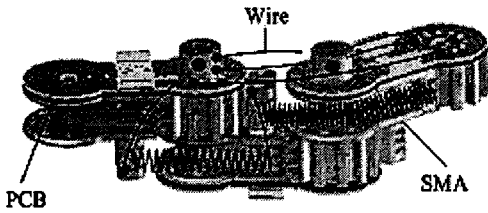
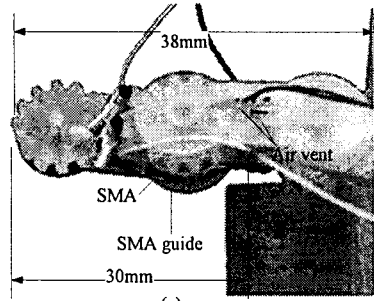


Fig. 7 Concept of wireframe drive unit using flexible PCB

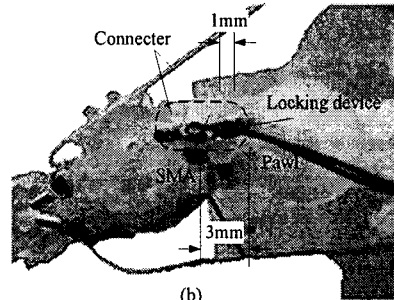
Fig. 8은 와이어프레임 구동유닛의 실제 사진이다. 와이어프레임 구동유닛의 한 모듈의 크기는 대략 30x10mm이며, 두 모듈을 결합하면 중첩되는 부분이 있으므로 38mm의 크기를 갖게 된다. 주동근 또는 길항근으로 사용되는 5mm의 크기의 SMA는 Fig. 8(a)와 같이 와이어프레임 구동유닛의 SMA 가이드 내부의 양쪽에 장착되어 있다. Fig. 8(b)는 와이어프레임 구동유닛의 내부를 나타낸 것으로, 약 3mm의 공간에 2mm의 크기의 SMA와 판 스프링, 풀 등으로 구성된 잠금장치가 장착되어 있으며, 풀은 전후로 대략 2mm 정도 움직일 수 있다.

하나의 구동유닛 당 3개의 SMA, LED와 포토트랜지스터가 사용되므로 여러 전선이 필요하다. 이러한 구동유닛이 직렬로 연결되는 경우에 제일 말단의 구동유닛의 전선은 모든 구동유닛을 거쳐서 전달된다. 그러므로 전선의 수와 무게가 증가하여 SMA에서 발생하는 힘으로 구동유닛을 움직이기 어렵게 된다. 이 점을 완화시키기 위하여 Fig. 7 (또는 Fig. 8(c))에서와 같이 구동유닛마다 PCB를 이용하여 전선의 수와 길이를 최소화할 수 있도록 설계하였다.

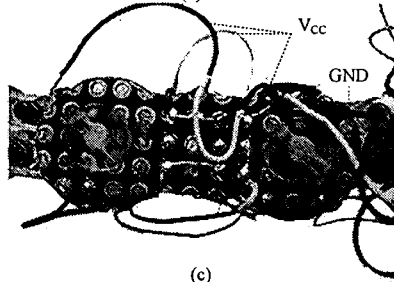
6개의 와이어프레임 구동유닛을 연결하여 Fig. 9의 우측과 같이 와이어프레임 구조의 2차원 형상제시기의 프로토타입을 개발하였다. SMA 제어기로는 AVR (mega 128)를 사용하였다. AVR의 내부타이머에서 생성한 PWM 신호를 트랜지스터로 구성된 증폭회로를 통해서 증폭하여 SMA에 인가한다. 74LS08과 74LS137는 내부에 4개의 AND 게이트가 존재하여 AVR에서 출력되는 다수의 PORT를 사용할 수 있도록 하였고, 2803은 74LS08과 74LS137를 통해서 출력되는 전류를 커넥터와 스위치를 연결하여 각각의 와이어프레임 구동유닛을 독립적으로 구동할 수 있도록 하였다. 따라서 위의 제어기를 사용하여 모두 12개의 와이어프레임 구동유닛을 제어할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 8 (a) prototype wireframe drive unit, (b) locking mechanism, and (c) PCB for wireframe drive unit

개발된 형상제시기의 사양은 다음과 같다.

Table 1 Specifications of 2D shape display

와이어프레임 구동유닛		2D 형상제시기	
입력전류	200mA	유닛 수	12 개
응답속도	약 2 초	응답속도	6 초
SMA 길이	7mm	크기	456x10mm
크기	30x10mm	제어	AVR 128

개발한 2차원 형상제시기를 사용하여 다양한 2차원 형상을 생성하는 실험을 수행하였으며, Fig. 10는 이 중 일부를 보여준다. Fig. 10의 점선은 병렬로 배치된 SMA 중 전류가 인가되는 SMA를 표시한 것이다. 따라서 Fig. 10(a)는 한쪽에 위치한

모든 SMA에 전류를 인가하여 아치 형상을 생성한 것이고, Fig. 10(b)는 각각의 SMA에 교대로 전류를 인가하여 지그재그 형상을 생성한 예이다.

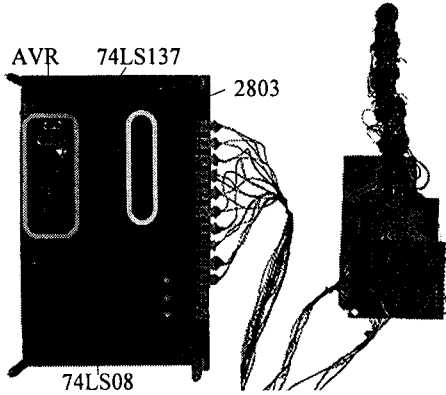


Fig. 9 SMA controller of prototype wireframe structure

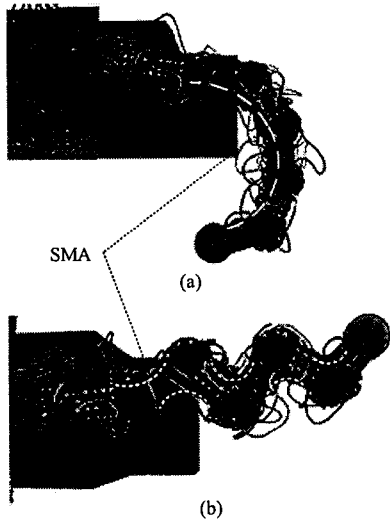


Fig. 10 Examples of 2D shape display; (a) circular shape, and (b) zigzag shape

앞 절에서 제작된 2D 형상제시기의 분해능을 높이기 위해서는, 현재 38mm의 크기를 갖는 각 유닛의 크기를 줄여야 한다. 그러나 각 유닛의 개수가 많아지면 SMA에 전류를 인가하기 위한 전선의 개수가 많아져, 원활한 움직임의 확보에 어려움을 가지게 된다. 따라서 전선과 잠금장치와 같은 요소의 크기를 줄일 수 있는 방법이 개발되어야 높은

정밀도를 가지는 3차원 형상제시기를 만들 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 SMA에 기반한 와이어프레임 구동유닛을 다수 직렬로 연결하여 와이어프레임 구조를 개발하고, 이를 이용하여 간단한 2차원 형상을 제시하는 방법을 제안하였다.

와이어프레임 2차원 형상제시 실험과 결과를 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동물의 주동근-길항근의 관계와 유사하게 한 쌍의 SMA를 교대로 수축시켜, 회전각을 측정하여 피드백함으로써 와이어프레임 구동유닛의 각도를 제어할 수 있다.
2. 다수의 와이어프레임 구동유닛을 이용하여 와이어프레임 구조를 구성하고, 각 구동유닛을 제어하여 다양한 2차원 형상을 생성할 수 있다.

본 연구의 최종목표는 3차원 형상제시기인데, 이는 본 논문에서 제시한 2차원 형상제시기를 병렬로 다수 확장하여 얻을 수 있다. 현재 와이어프레임 구동유닛의 소형화, 회전 분해능의 향상, 전선 처리 문제 등에 대한 연구가 진행되고 있다.

후 기

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R11-2007-028-01002-0).

참고문헌

1. Frischi, M., Buss, M., Drewing, K., Zopf, R. and Emus, M. O., "Tactile Feedback System," Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 11-12, 2004.
2. Nakayani, M., Kajimoto, H., Sekiguchi, D., Kawakami, N. and Tachi, S., "3D Form Display with Shape Memory Alloy," Proc. of Int. Conf. on Artificial Reality and Tele-Existence, pp. 179-184, 2003.
3. Toshiyuki, H. and Takashi, M., "Development of a Miniature Robot Finger with a Variable Stiffness

- Mechanism using Shape Memory Alloy,” Proc. of Int. Symposium on Robotics and Automation, 2004.
4. Chu, Y. J., Kim, Y. M., Song, J. B. and Park, S. S., “Wire frame drive unit of a SMA-based 3D shape display,” KSPE Spring Conference, pp. 439-440, 2006.
 5. Layman, D., “Anatomy Demystified,” McGraw Hill, pp. 176-188, 2005.
 6. Daverman, R. D., “Binary Actuator Using Shape Memory Alloy,” MIT Press, 2005.