

# SMA 구동식 경량 로봇형 의수 Lightweight Prosthetic Hand with Five Fingers using SMA Actuator

\*정성윤, #문인혁

\*S. Jung(syjung@arms.deu.ac.kr), #I. Moon(ihmoon@deu.ac.kr)  
동의대학교 메카트로닉스공학과

Key words : Prosthetic hand, Lightweight, SMA, Five fingers

## 1. 서론

최근 사람 손(human hand)을 모방하여 높은 자유도(degree of freedom, DOF)를 가지면서도 다양한 파지동작이 가능한 로봇핸드(robotic hand)가 개발되고 있다. 일반적으로 자유도와 구동기(actuator)의 수는 비례하기 때문에, 대부분의 로봇핸드는 1.5kg 이상의 무게를 가진다. 그러나 상지 절단 장애인인 사용하는 의수(prosthetic hand)는 착용성(wearability)이 중요하고, 특히 무게는 가벼워야만 한다. Cho<sup>2</sup> 와 Andrianesis<sup>3</sup> 는 형상기억합금(shape memory alloy, SMA)을 인공근육(artificial muscle)으로 적용하고, 경량화를 시도하였다. 그러나 높은 자유도 구현에 따른 많은 수의 SMA 구동기가 전완( forearm)부에 장착되어, 손을 포함한 전체의 부피가 커져 착용성에 문제점이 있었다.

본 논문에서는 오지(five fingers), 6DOF를 가지면서 다양한 파지동작과 손동작이 가능하고, 또한 구동기를 손 내부에 모두 내장함으로써 착용성과 경량화를 실현한 로봇형 의수(robotic prosthetic hand)를 제안한다. 손가락은 사람 손의 건-근육(tendon-muscle) 동작 메커니즘을 모방하여, 와이어-인공근육(wire-artificial muscle) 구조로 설계하였다. 인공근육으로는 경량화를 위해 전기모터대신에 SMA를 사용한다. 손가락의 굽힘(flexion)은 SMA 수축 시 기절골(proximal phalange)에 고정된 건(tendon)에 해당하는 와이어를 당김으로써 동작한다. 손가락의 펴기(extension)은 손가락 내부에 고정되어 있는 인장스프링(tension spring)의 복원력에 의해 동작되도록 설계하여 구동기의 수를 줄였다.

본 논문에서는 와이어 길이변화에 따른 손가락의 중수지절관절(metacarpal phalange joint, MCP joint)의 각도변화를 기구학적으로 모델링하고, SMA 수축 시 발생하는 장력이 일정할 때, MCP joint 각도에 따른 손가락의 파지력을 수학적으로 모델링 한다. 그리고, MCP joint의 굽힘 각도를 제어하기 위해 각도를 측정하거나 와이어의 길이를 측정해야만 한다. 그러나 손가락 내부 혹은 외부에는 공간의 제약으로 인해 각도나 길이를 측정할 수 있는 별도의 센서 등의 장치를 설치하지 않아, 각도와 길이변화를 측정할 수가 없다. 따라서 SMA의 특성은 온도의 변화에 따라 수축(contraction)량이 결정되고, 또한 금속의 고유저항(resistivity)은 온도에 따라 변한다는 것에 착안하여, SMA의 양단간의 전기저항(electric resistance)을 측정하여 수축량을 추정하고, 손가락의 굽힘 각도를 피드백 제어(feedback control)하는 것을 제안한다. 실험결과로부터 본 연구에서 제안한 SMA 구동기를 이용한 로봇형 의수가 실현 가능함을 보인다.

## 2. 로봇의수 설계

### 2.1 손가락 설계

본 논문에서 설계된 손가락은 2개의 마디와 하나의 뼈로 구성되어 있으며, 각 마디와 뼈는 2개의 관절에 의해 연결된다. 각 손가락은 굽힘과 펴기 동작을 구현할 수 있으며, 엄지의 경우 굽힘 동작은 중수골(metacarpal bone)에 고정되어 있는 SMA 구동모듈에 의해 기절골(proximal phalange)에 고정되어 있는 와이어를 당김으로써 구현되며, 엄지를 제외한 나머지 네 손가락은 손바닥에 고정되어 있는 SMA 구동모듈에 의해 기절골에 고정되어 있는 와이어를 당김

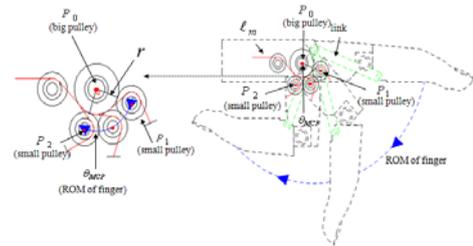


Fig. 1 ROM of finger

으로써 움직인다. 그러나 손가락의 펴기 동작은 손가락 내부에 고정된 인장스프링의 복원력에 의해 펴지도록 설계하였다. 우리는 손가락의 굽힘 시 굽힘 각도를 유지하기 위해 중수골 내부에 잠김기구(locking mechanism)를 설계하였다. 설계된 잠김기구는 기어와 래치를 사용하였으며, 손가락 굽힘 시 중수골 윗 부분에 고정되어 있는 래치에 의해 손가락의 굽힘 각도를 유지할 수 있다.

### 2.2 파지력 해석

손가락의 굽힘 동작은 하나의 SMA에 의해 동작된다. 이를 위해 MCP joint와 근위수지절관절(proximal interphalangeal joint, PIP joint)은 링크로 연결되어 MCP joint가 움직일 때 PIP joint도 동시에 움직이도록 설계하였다. Fig. 1은 손가락 굽힘 동작이 최대 90도 ROM(Range of Motion, ROM)을 가진 것을 보인다. 우리는 손가락의 굽힘 각도를 알기 위해 당겨진 와이어 길이에 따른 손가락의 굽힘 각도를 모델링 하였다. 입력은 SMA 수축 시 당겨진 와이어 길이  $l_m$ , 출력은 손가락의 굽힘 각도  $\theta_{MCP}$ 라 하면, 입출력 관계는 다음과 같이 비선형식으로 나타낼 수 있다.

$$\theta_{MCP} = J(l_m) \tag{1}$$

Fig. 1에서 손가락의 굽힘 각도 범위는 큰 풀리를 중심으로 회전하는 작은 풀리의 회전 범위와 같다. 따라서  $r(6mm)$ 이 MCP joint 중심에 고정되어 있는 큰 풀리의 반지름이면, 당겨진 와이어 길이  $l_m$ 에 따른 MCP joint 각도  $\theta_{MCP}$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\theta_{MCP} = \frac{l_m}{r} \tag{2}$$

식 (2)로부터 MCP joint가 90도 굽혀지기 위해서는 기절골에 고정되어 있는 와이어는 9.42mm 수축되어야 한다.

본 연구에서는 하나의 SMA를 사용하여 손가락의 굽힘 동작을 구현하기 위해 MCP joint와 PIP joint를 링크로 연결하였다. 이 링크는 MCP joint가 회전할 때 PIP joint도 동시에 회전시키는 기구이며, 또한 SMA 수축 시 발생하는 장력도 손가락의 끝마디로 전달한다. SMA 수축 시 발생하는 장력이 일정하다고 가정하고, 손가락의 중수지절관절 각도  $\theta_{MCP}$ 에 따른 손가락 파지력  $F_{end}$ 은 다음과 같이 비선형식으로 나타낼 수 있다.

$$F_{end} = f(\theta_{MCP}) \tag{3}$$

Fig. 2는 손가락 파지력 해석 모델이다.  $l_1$ 과  $l_4$ 는 손가락 마디의 길이이며,  $l_3$ 는 MCP joint와 PIP joint를 연결하는 링크 길이이고, 고정된 상수이다.  $\beta$ 는  $l_4$ ,  $l_2$ 가 이루는 각도이다. 그리고

