

# 생체모방형 건구동식 의수의 설계

정성윤<sup>1</sup>, 강성균<sup>2</sup>, 배주환<sup>1</sup>, 문인혁<sup>1</sup>

<sup>1</sup>동의대학교 대학원 지능시스템공학과, <sup>2</sup>한국기계연구원 시스템엔지니어링

## Design of Biomimetic Hand Prosthesis with Tendon-driven Five Fingers

Sung-yoon Jung<sup>1</sup>, Sung-kyun Kang<sup>2</sup>, Ju-hwan Bae<sup>1</sup>, Inhyuk Moon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Intelligent System Engineering, Graduate School of Dong-Eui University

<sup>2</sup>Korea Institute of Machinery & Materials

(Received December 15, 2008. Accepted May 18, 2009)

### Abstract

This paper proposes a biomimetic hand prosthesis with tendon-driven five fingers. Each finger is composed of a distal-middle phalange, a proximal phalange and a metacarpal bone, which are connected to a link mechanism. The finger flexion is a resultant motion by pulling a wire to serve as a tendon, but the finger extension is performed by an elastic mechanism composed of a restoration spring. The designed hand prosthesis with tendon-driven five fingers has totally six degrees of freedom. But its weight is merely 400.73g. The hand can perform various hand functions such as the grasping and the hand postures. From experimental results, we show that the proposed hand prosthesis is useful to amputees as a prosthetic hand.

**Key words :** biomimetic, tendon-driven, hand prosthesis, five fingers, kinematic analysis

### 1. 서론

매년 교통사고나 질병으로 인해 지체 장애인의 수가 증가하고 있으며, 이 중에서 특히 상지 절단 장애인(forearm amputee)의 수가 가장 많이 차지하고 있다[1]. 손은 일상생활에서 그림 1과 같이 파지동작[2]을 포함하여 다양한 기능을 수행하는 중요한 신체 부위이기 때문에 상지 절단 장애인들은 손의 결손으로 인해 일상생활에서 많은 불편함을 겪고 있다.

의수(prosthetic hand)는 상지 절단 장애인들의 결손된 손의 기능을 보상하기 위한 대표적인 기계적 보조 장치(assistive product)이다. 의수의 종류로는 사람 손과 형태가 유사한 미용의수와, 어깨를 움직임으로써 파지동작을 수행하는 신체 결합형 의수가 있다. 그리고 모터의 구동력으로 파지동작이 가능한 전동 의수(electric hand prosthesis)가 있다[3]. 특히 전동 의수에는 잔존근육에서 검출한 근전도(electromyogram, EMG) 신호로부터 의수의 파지동작을 제어하는 근전 의수(myoelectric hand)가 일반적으로 많이 사용되고 있다[4]. 대표적인 근전 의수로는 MYOBOCK hand

(OttoBock Co.)[5]와 i-LIMB hand(TOUCHBIONICS Co.)[6]가 있다. MYOBOCK hand는 손목회전과 파지가 가능한 2자유도 근전 의수이다. 그러나 낮은 자유도로 인해 다양한 손의 기능을 구현하기 어려우며, 의수 자체의 무게만 해도 460g에 달하기 때문에 장시간 착용하기에는 무겁다. 그리고 i-LIMB[6] hand는 사람 손과 유사한 오지형태 근전 의수이다. 이 손은 5개의 구동기를 사용하여 6자유도를 구현하며, 그 결과 MYOBOCK hand 보다 다양한 파지동작이 가능하다.

최근에는 로봇 기술을 의수에 접목하여 높은 자유도를 가지며, 다양한 손의 기능을 수행할 수 있는 인간형 로봇손에 관한 연구가 제안되었다. 대표적인 인간형 로봇손으로는 12개의 선형 구동기(linear actuator)를 사용하여 14자유도를 구현한 Robonaut hand [7], DC 모터를 사용하여 16자유도를 구현한 UB hand III[8], 그리고 BLDC 모터를 사용하여 15자유도를 구현한 DLR-HIT-Hand II [9]가 있다. 이러한 손은 사람 손과 유사하며, 높은 기능성을 가지고 있다. 그러나 많은 수의 구동기로 인해 의수로서는 무거운 단점이 있다. Shadow hand[10]는 기존의 연구에서 사용된 구동기보다는 가벼운 공압근육을 사용하였으나, 많은 수의 근육과 구동장치로 인해 손의 부피가 크고, 무게도 4kg에 달하였다. 이와 달리 구동기를 손에 내장시킴으로써 손의 부피를 줄인 Gifu Hand가 제

Corresponding Author : 문인혁

부산광역시 부산진구 영랑로 995 동의대학교 메카트로닉스공학과

Tel : +82-51-890-2261 / Fax : +82-51-890-2883

E-mail : ihmoon@deu.ac.kr

본 연구는 한국과학재단 특장기초연구(R01-2006-000-11258-0)지원으로 수행되었음.

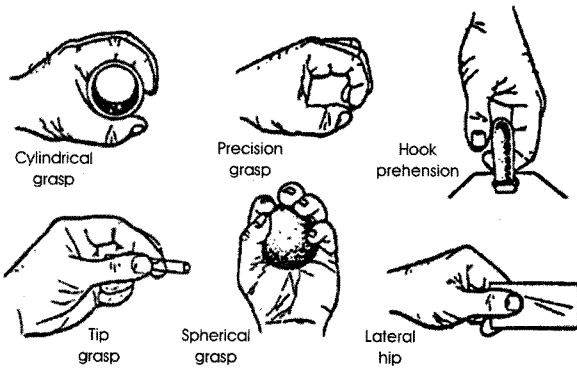


그림 1. 손의 기능 [1]  
Fig. 1. Hand functions [1]

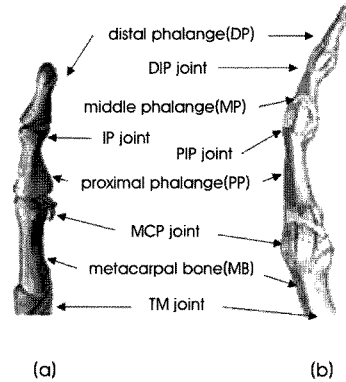


그림 2. 손가락 구조; (a) 엄지, (b) 나머지 손가락  
Fig. 2. Structure of finger; (a) the thumb, (b) the four fingers

안되었다[11]. 이 손은 5지 20관절 16자유도가 가능하지만, 많은 수의 모터가 내장되어있기 때문에 손의 무게가 1.4kg정도로 의수로 적용하기에는 어렵다.

본 논문에서는 모든 구동기가 손에 내장되어 있으면서도, 무게가 가벼운 생체모방형(biomimetic) 건구동식(tendon-driven) 의수(hand prosthesis)를 제안한다. 의수의 손가락은 사람의 근육과 전(tendon) 구조를 모방하여 설계되었다. 각 손가락의 굽힘(flexion) 동작은 마디에 고정되어 있는 건의 당김에 의해 구현되며, 펴(extension) 동작은 손가락 내부에 고정되어 있는 복원스프링(restoration spring)의 복원력으로 이루어진다. 또한 손가락의 근위지절관관절(proximal interphalangeal joint, PIP joint)과 중수지절관관절(metacarpophalangeal joint, MCP joint)은 하나의 링크로 연결되어 MCP joint의 움직임만으로도 PIP joint를 동작시킬 수 있다. 제안한 의수는 총 다섯 손가락과 6자유도를 가지며, 정밀파지, 측면파지, 손끝파지, 구형파지, 원주형 파지, 결기와 같은 파지동작과, 방향지시와 주먹 쥐기와 같은 손동작이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 개발한 의수의 설계방법에 대하여 설명하고, 3장에서는 각 손가락의 MCP joint 각도 변화에 대한 기구학 해석을 보인다. 그리고 4장에서는 개발한 의수를 이용한 실험 결과를 보인다. 실험의 결과로부터 본 연구에서 제안하는 생체모방형 건구동식 의수가 다자유도 의수로 적용 가능함을 보인다.

## II. 핸드 설계

### A. 사람 손

사람 손은 22자유도를 가지고 있으며, 무게는 약 400g정도이다 [12]. 그리고 손가락을 해부학적으로 분류하면, 엄지와, 엄지 이외의 나머지 4개의 손가락으로 나눌 수 있다. 엄지는 그림 2(a)와 같이 말절골(distal phalange, DP), 기절골(proximal phalange, PP)

그리고 중수골(metacarpal bone, MB)로 구성되어 있으며, 각 마디와 뼈는 3개의 관절로 연결되어 있다. 엄지 이외의 나머지 손가락은 엄지와 달리 3개의 마디와 하나의 뼈로 구성되어 있고, 4개의 관절로 연결되어 있다(그림 2(b)참조).

각 손가락의 움직임은 근육의 수축이완에 의해 손가락 마디에 고정되어 있는 건을 당김으로써 수행된다[13]. 손가락의 기본적인 동작으로는 굽힘, 펴, 외전(abduction), 내전(adduction), 그리고 회전(rotation)동작이 있다. 본 연구에서 제안하는 의수는 오지를 가지고 있으며, 엄지는 굽힘, 펴 그리고 회전동작이 가능하고, 엄지 이외의 손가락은 굽힘과 펴 동작이 가능하다. 특히 중지, 약지 및 소지는 하나의 구동기로 동시에 굽힘 동작이 가능하도록 설계하였기 때문에, 본 연구에서 설계된 의수는 총 6자유도를 가진다.

### B. 의수 설계

본 논문에서 제안한 생체모방형 건구동식 의수는 사람 손의 크기와 유사하게 설계되었다. 우리는 한국인 연령 25세에서 29세 남성의 표준 손가락의 길이[14]를 참조하여, 엄지는 123mm로, 검지와 약지는 90mm, 중지는 98mm, 그리고 소지는 80mm 길이로 설계하였다. 손바닥의 길이는 97.3mm로 설계하였다.

엄지는 그림 3(a)와 같이 2개의 마디와 하나의 뼈로 구성하고, DP와 PP를 연결하는 지절관관절(interphalangeal joint, IP joint)과 PP와 MB를 연결하는 MCP joint, 그리고 회전동작을 위해 손바닥과 연결되는 대다각중수관관절(trapezometacarpal joint, TM joint)의 3개의 관절로 설계하였다. 그리고 각 마디의 DP, PP, MB의 길이는 각각 24mm, 34mm, 65mm로 설계하였다. 엄지 이외의 나머지 손가락은 DP와 MP는 하나의 구조로 합쳐 말-중절골(distal-middle phalange, DMP)로 설계하였다(그림 3(b)참조). 그리고 손가락의 PIP joint와 MCP joint를 링크로 연결하여 MCP joint가 움직일 때 PIP joint도 동시에 움직이도록 설계하였다. 엄지를 포함한 모든 손가락 내부에는 복원 스프링을 삽입하여 구동

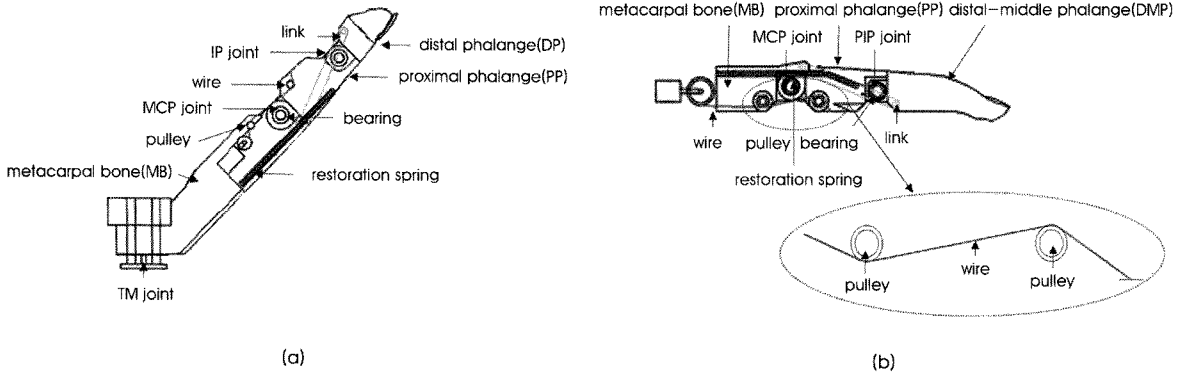


그림 3. 손가락 단면도; (a) 엄지, (b) 나머지 손가락  
 Fig. 3. Cross sections of the designed fingers; (a) the thumb, (b) the four fingers

기 없이도 손가락의 펴 동작이 가능하도록 설계하였다. 그 결과 가벼우면서도 하나의 구동기로 손가락의 굽힘과 펴 동작이 가능한 의수를 실현할 수 있었다.

그림 4는 우리가 개발한 의수의 손가락을 보여준다. 각 손가락은 굽힘과 펴 동작이 가능하며, 특히 엄지의 경우 회전동작도 가능하다.

### III. 기구학적 해석

#### A. 손가락 동작과 기구학 해석 모델

본 연구에서 개발한 손가락의 굽힘과 펴 동작은 인체의 건 구동 메커니즘을 모방하여 모터-와이어 구동 메커니즘에 의해 수행된다. 엄지의 굽힘은 손가락 내부에 삽입되어 있는 구동기가 PP에 고정되어 있는 와이어를 당김으로써 동작하고, 회전은 손바닥에 내장되어 있는 다른 구동기에 의해 동작된다. 검지는 MB에 내장되어 있는 구동기가 PP에 고정되어 있는 와이어를 당김으로써 굽힘

동작이 일어나고, 중지, 약지, 그리고 소지는 손바닥에 내장되어 있는 한 개의 구동기로 각 손가락의 PP에 고정되어 있는 와이어를 당김으로써 동시에 굽힘 동작이 일어난다. 그리고 각 손가락의 펴 동작은 손가락 내부에 고정되어 있는 복원 스프링의 복원력에 의해 수행된다.

그림 5는 검지의 굽힘 동작을 보여준다. 검지는 최대 90도까지 굴곡되며, 검지의 MCP joint는 PP에 고정된 와이어를 모터로 당김으로써 굽혀진다. 이때 PIP joint는 PP와 MB를 연결하는 링크에 의해 MCP joint가 움직일 때 동시에 움직인다(그림 5참조).

우리는 당겨진 와이어 길이에 따른 검지의 굽힘 각도를 수학적으로 모델링 하였다. 그림 6은 손가락 동작의 기구학 모델을 나타낸다. 점  $P_0$ 는 MCP joint의 회전 중심이며, 점  $P_1$ 과  $P_2$ 는 풀리의 중심이다. 점  $\hat{P}_1$ 은 손가락의 굽힘 동작 후 점  $P_1$ 의 위치이다. 그리고  $r$ 과  $R$ 은 각각 풀리의 반지름과 MCP joint의 중심에서 풀리 중심까지의 거리이며, 이들은 고정된 상수이다. 입력은 구동기

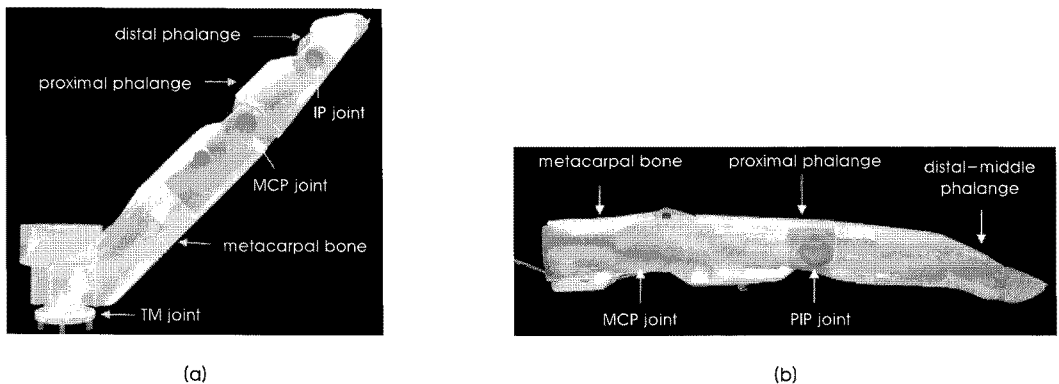


그림 4. 개발한 손가락; (a) 엄지 (b) 나머지 손가락  
 Fig. 4. Developed fingers; (a) the thumb, (b) the four fingers

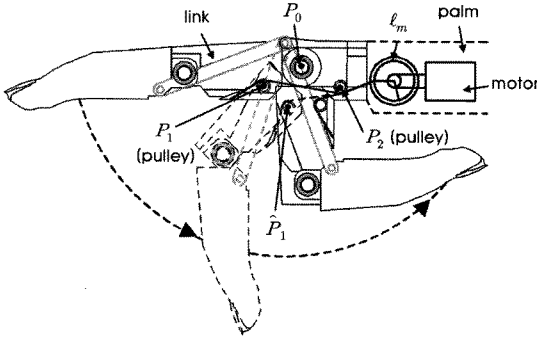


그림 5. 손가락의 굽힘 동작 범위  
Fig. 5. Range of motion of the designed finger

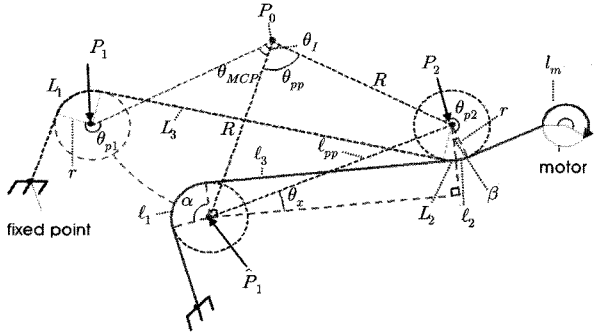


그림 6. 손가락 동작의 기구학 모델  
Fig. 6. Kinematic model of finger motion

에 의해 당겨진 와이어 길이  $l_m$  이고, 출력을 MCP joint의 변화된 각도  $\theta_{MCP}$  라 하면, 입출력 관계는 다음의 비선형식으로 나타낼 수 있다.

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

여기서  $l_m$  은 손가락을 최대로 폼 때의 와이어 길이  $L_M$  과 손가락이 굽혀졌을 때 와이어 길이  $l_x$  의 차와 같다. 이때  $L_M$  은 손가락을 최대로 폼 때의 풀리에 감긴 원호의 길이  $L_1, L_2$  와 풀리의 공통접선 길이  $L_3$  의 합이며,  $l_x$  는 손가락을 굽혔을 때 풀리에 감긴 원호의 길이  $l_1, l_2$  와 풀리의 공통접선 길이  $l_3$  의 합과 같다(그림 6 참조). 따라서 당겨진 와이어 길이  $l_m$  은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$l_m = L_M - l_x = (L_1 + L_2 + L_3) - (l_1 + l_2 + l_3) \quad (2)$$

그러나 손가락이 굽혀졌을 때 풀리에 감긴 원호의 각도  $\alpha, \beta$  는 굽힘 각도에 따라 풀리의 위치가 변하기 때문에 구할 수 없다. 따라서 풀리에 감긴 원호의 길이  $l_1, l_2$  와 두 풀리의 공통접선 길이  $l_3$  도 계산할 수 없다. 따라서 당겨진 와이어 길이  $l_m$  도 구할 수 없으며, 식 (1)을 이용한 MCP joint의 각도  $\theta_{MCP}$  도 구할 수 없다. 그래서 우리는  $\theta_{MCP}$  의 변화에 따른 와이어의 길이  $l_m$  을 구할 수 있는 역기구학 모델  $l_m = J^{-1}(\theta_{MCP})$  을 유도하였다.

먼저  $\theta_{pp}$  는 주어진  $\theta_{MCP}$  와 손가락이 최대로 폼 때의 초기 각도  $\theta_I$  로부터 계산할 수 있다. 단,  $\theta_I$  는 설계변수로서 상수 값이다.

$$\theta_{pp} = \theta_I - \theta_{MCP} \quad (3)$$

그리고 손가락이 굽혀졌을 때 와이어의 길이  $l_1, l_2$  및  $l_3$  는

$\theta_{pp}, l_{pp}$  와  $\theta_x$  로부터 구할 수 있다. 여기서  $l_{pp}$  는 점  $P_0, \hat{P}_1$  그리고  $P_2$  의 이등변 삼각형의 밑변의 길이이며,  $\theta_x$  는 풀리 중심간의 가상선의 수평면에 대한 각도이다. 따라서  $l_{pp}$  는  $\theta_{pp}$  와 MCP joint의 중심에서 풀리의 중심까지의 거리인  $R$  로부터 구할 수 있다.

$$l_{pp} = 2R \cdot \sin\left(\frac{\theta_{pp}}{2}\right) = 2R \cdot \sin\left(\frac{\theta_I - \theta_{MCP}}{2}\right) \quad (4)$$

또한  $\theta_x$  는 식 (4)에서 구한  $l_{pp}$  을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta_x = \sin^{-1}\left(\frac{2r}{l_{pp}}\right) \quad (5)$$

손가락이 굽혀졌을 때 풀리에 감긴 원 호의 길이  $l_1, l_2$  는 각각 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$l_1 = r\alpha \quad (6)$$

$$l_2 = r\beta \quad (7)$$

여기서  $\alpha$  와  $\beta$  는 식 (5)의  $\theta_x$  를 이용하여 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha = 2\pi - \theta_{p1} - \theta_{pp}/2 + \theta_x \quad (8)$$

$$\beta = \pi - \theta_{p2} + \theta_{pp}/2 + \theta_x \quad (9)$$

식 (8)와 (9)에서  $\theta_{p1}$  과  $\theta_{p2}$  는 와이어가 감긴 풀리의 초기 각도이며, 설계변수로서 상수 값이다. 마지막으로 공통접선  $l_3$  는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

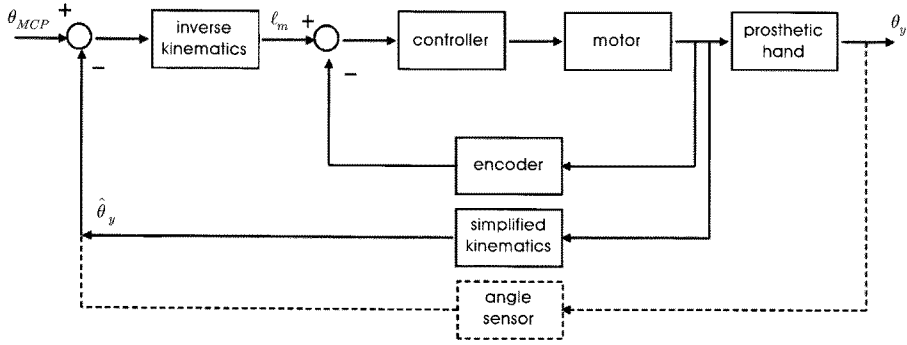


그림 7. 제어시스템  
Fig. 7. Control system

$$\ell_3 = 2\sqrt{(\ell_{pp}/2)^2 - r^2} \quad (10)$$

따라서 식 (3)~(10)로부터 식 (2)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ell_m = L_0 - 2\sqrt{\left(R \cdot \sin\left(\frac{\theta_I - \theta_{MCP}}{2}\right)\right)^2 - r^2} - r \left[ 3\pi - \theta_{p1} - \theta_{p2} + 2\sin^{-1}\left(\frac{r}{R \cdot \sin\left(\frac{\theta_I - \theta_{MCP}}{2}\right)}\right) \right] \quad (11)$$

식 (11)를  $\theta_{MCP}$ 의 함수로 표현하면, 다음과 같이 역기구학 모델  $\ell_m = J^{-1}(\theta_{MCP})$ 로 표현할 수 있다. 이것은 MCP joint 각도  $\theta_{MCP}$ 가 주어지면 당겨야 할 와이어의 길이  $\ell_m$ 을 구할 수 있음을 의미한다.

**B. 간략화된 기구학 해석 모델**

그림 7은 본 연구에서 개발한 의수를 제어하기 위한 시스템 블록도이다. 입력은 MCP joint 각도  $\theta_{MCP}$ 이며, 출력은 의수의 손동작 각도  $\theta_y$ 이다. 본 연구에서 우리가 사용해야 할 제어시스템은 그림 7의 점선과 같이 각도를 측정할 수 있는 센서를 이용하여  $\theta_y$ 를 피드백 해야 하지만, 현재의 설계된 구조에서는 각도 센서가 없기 때문에  $\theta_y$ 를 관측할 수 없다. 따라서 우리는  $\theta_y$ 를 추정할 수 있는 기구학 해석이 필요하다. 본 연구에서는 당겨진 와이어 길이에 따른 MCP joint 각도를 구할 수 있는 간략화된 기구학 모델을 제안한다 (그림 8 참조). 먼저  $R$ 은 MCP joint의 중심에서 폴리 중심까지의 거리이며, 설계변수로써 상수값이다. 그리고  $L_0$ 는 손가락을 최대한 펼쳤을 때 폴리와 폴리 사이의 중심간의 거리,  $\ell_{pp}$ 는 손가락이 굽혀졌을 때의 점  $P_0, \hat{P}_1, P_2$ 가 이루는 이등변 삼각형의 밑변 길이라고 하면, 당겨진 와이어 길이  $\ell_m$ 은  $L_0 - \ell_{pp}$ 와 같다. 여기서

$\ell_{pp}$ 는 식 (4)와 같이 손가락이 굽혀졌을 때 폴리와 폴리 중심간의 각도  $\theta_{pp}$ 을 알면 구할 수 있다. 그리고  $\theta_{pp}$ 는 식 (3)과 같이  $\theta_{pp} = \theta_I - \theta_{MCP}$ 와 같으므로 당겨진 와이어 길이  $\ell_m$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\ell_m = L_0 - \ell_{pp} = L_0 - 2\sin\left(\frac{\theta_I - \theta_{MCP}}{2}\right) = H^{-1}(\theta_{MCP}) \quad (12)$$

식 (12)은 간략화된 기구학 모델의 역기구학이며, 정기구학은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{MCP} = \theta_I - 2\sin^{-1}\left(\frac{L_0 - \ell_m}{2}\right) = H(\ell_m) \quad (13)$$

따라서 우리는 식 (13)로부터 그림 7과 같이 출력 각도  $\hat{\theta}_y$ 를 추정할 수 있다.

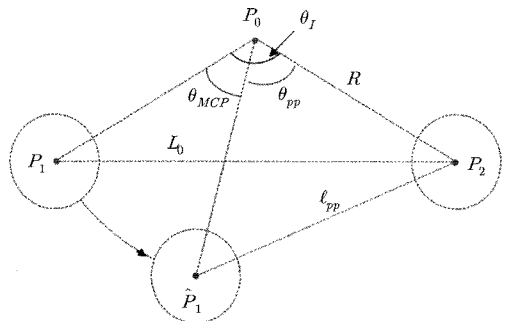


그림 8. 간략화된 기구학 모델  
Fig. 8. Simplified kinematics model

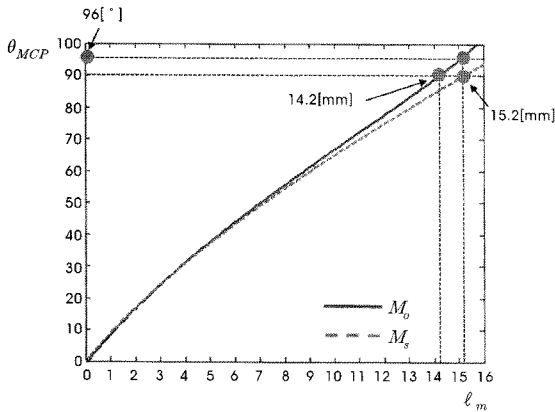


그림 9. 시뮬레이션 결과  
Fig. 9. Simulation result

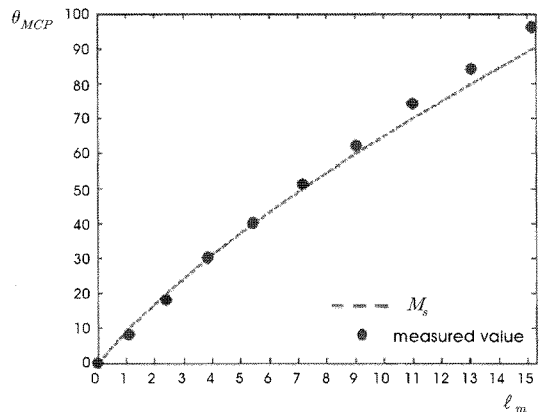


그림 10. 식 (13)을 사용한 MCP joint의 각도 제어 결과  
Fig. 10. Control result of MCP joint angle by Eq. (13)

### C. 시뮬레이션

우리는 간략화된 기구학 모델로부터 MCP joint 각도  $\theta_{MCP}$ 의 변화에 따른 당겨진 와이어 길이  $l_m$  뿐만 아니라, 당겨진 와이어 길이  $l_m$ 의 변화에 따른 MCP joint 각도  $\theta_{MCP}$ 도 알 수 있다. 그림 9는 MCP joint의 각도 변화에 따른 기구학 모델과 간략화된 기구학 모델을 비교한 시뮬레이션 결과이다. 여기서  $M_O$ 는 식 (11)로부터 구한 해석결과이며,  $M_S$ 는 식 (12)로부터 구한 해석 결과이다. 시뮬레이션결과, 손가락이 90도 굽혀졌을 때 역기구학 식 (11)과 식 (12)로부터 구한 당겨진 와이어의 길이  $l_m$ 은 풀리를 감은 원호의 길이  $l_1$ 과  $l_2$ 의 차이에 의해 각각 14.2mm와 15.2mm로 1mm의 오차가 발생하였다. 그리고 식 (11)로부터 구한 해석결과  $M_O$ 에서 간략화된 역기구학 식 (12)로부터 구한 당겨진 와이어 길이  $l_m=15.2mm$ 에 해당하는 각도를 조사해본 결과 손가락의 굽힘 각도는 96도였다(그림 9참조). 이것은  $l_m$ 의 길이 오차 1mm에 의해 손가락의 굽힘 각도가 6도의 오차가 발생한 것이다. 따라서

우리는 식 (12)를 사용하여 손가락의 굴곡 각도를 제어할 때에는 간략화된 기구학 모델의 오차를 고려하여야만 한다.

## IV. 실험 및 결과

본 연구에서 개발한 생체모방형 건구동식 의수는 엄지 2자유도, 엄지 이외의 나머지 손가락은 각각 1자유도를 가지고 있어, 총 6자유도의 움직임이 가능하다. 개발한 의수의 재질은 손 자체의 무게를 줄이기 위해 에폭시 수지를 사용하였다. 그리고 각 손가락은 하나의 모터를 사용하여 굽힘 동작을 수행하였으며, 엄지의 경우는 회전 동작을 구현하기 위해 모터를 하나 더 사용함으로써 전부 4개의 모터를 사용하였다. 그 결과 개발된 의수의 전체 무게는 4개의 모터를 포함하여, 총 400.73g으로 경량화를 실현하였다. 표 1은 개발한 의수의 사양을 보인다.

우리는 의수의 손가락 구동을 위해 기어와 엔코더가 결합된 소형 DC 모터(Maxon Co.)를 사용하였다. 모터의 기어비는 1:64이

표 1. 개발된 의수의 사양

Table 1. Specification of the developed hand prosthesis

항목	길이(mm)	무게(g)	자유도
엄지	123	56.58	2
검지	90	32.48	1
중지	98	32.48	1
약지	90	22.79	1
소지	80	15.44	1
손바닥	97	240.96	
계		400.73	6

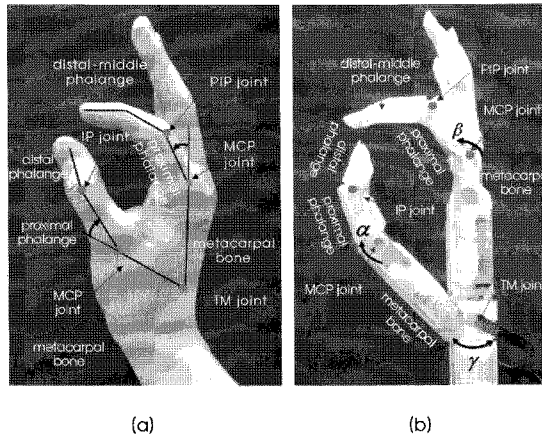


그림 11. 생체모방형 건구동식 의수; (a) 사람 손 (b) 의수

Fig. 11. Biomimetic hand prosthesis with tendon-driven five fingers; (a) the human hand (b) the developed hand prosthesis

고 엔코더는 A, B 2상을 출력한다. 제어기로는 8bit 마이크로프로세서(ATmega 128)에 PID 제어알고리즘을 구현하여 손가락의 MCP joint 각도를 제어하였다. 엄지의 회전동작은 명령 펄스의 듀티비에 의해 구동되는 RC 서보모터(HSR-8498HB)를 사용하여 제어하였다.

우리는 개발한 의수의 파지동작과 손동작을 제어하기 위해 간략화된 기구학 모델 식 (12)을 이용하여 검지의 MCP joint의 각도  $\theta_{MCP}$ 에 따른 와이어 길이  $l_m$ 을 계산하였다. 그리고  $l_m$ 을 제어 입력으로 하였을 때 실제의  $\theta_{MCP}$ 를 측정하였다. 그림 10은 입력된  $l_m$ 에 따른 예측된  $\theta_{MCP}$ (점선)와 측정된  $\theta_{MCP}$ (점)를 나타내었고, 이 결과 측정된  $\theta_{MCP}$ (점)는 그림 9의 결과와 같은 경향을 보였다. 따라서 손가락의 최대 굴곡 각도가 90도 범위내에서 제어되기 위해서는 계산된 제어 입력값을 6.6% 줄여서 입력해야한다.

그림 11은 본 연구에서 개발한 의수를 보여준다. 그림 11(a)는

사람 손의 구조를 나타내고, 그림 11(b)는 본 연구에서 개발한 생체모방형 건구동식 의수다. 이 의수는 구형파지, 원주형 파지, 손끝파지, 정밀파지, 측면파지, 결기와 같은 파지동작이 구현가능하며, 방향지시, 주먹쥐기와 같은 손동작도 가능하다. 그림 12는 제어 입력값을 보정하여 손의 동작을 제어한 결과이다. 이때 입력한 각 손동작에 대한 손가락의 각도는 표 2와 같다.

## V. 결론

본 연구에서는 사람 손가락의 동작 메커니즘을 모방한 생체모방형 건구동식 의수를 개발하였다. 손의 전체 무게를 줄이기 위해 총 4개의 모터를 사용하여, 6자유도를 구현하였다. 우리는 개발한 의수의 손가락 굽힘 각도를 추정하기 위해 간략화된 기구학 모델을 만들었으며, PID 제어를 사용하여 제어하였다. 실험에서는 구

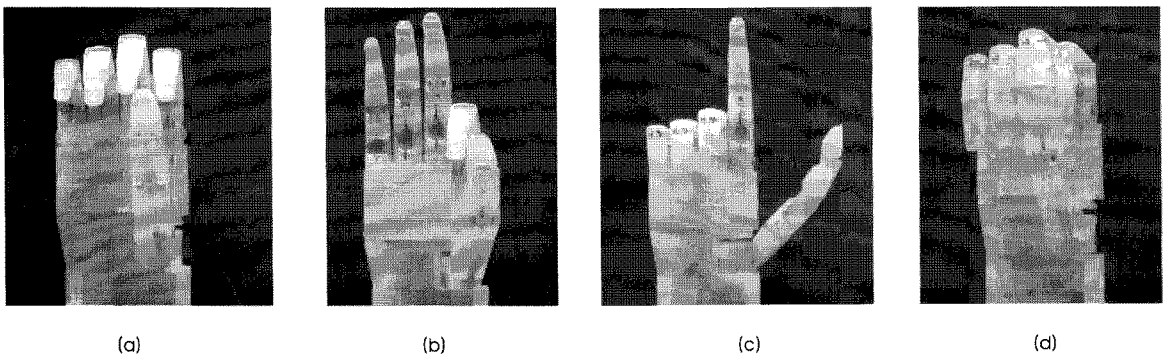


그림 12. 손동작; (a) 정밀파지 (b) 측면파지 (c) 방향지시 (d) 주먹쥐기  
Fig. 12. Hand postures; (a) precision grasp (b) lateral hip (c) direction (d) rock

표 2. 목표 손동작의 입력값

Table 2. Input value of the target hand motions

	입력각도(°)			
	엄지	검지	중지, 약지, 소지	엄지외전
손끝파지	20	30	0	70
정밀파지	20	30	30	90
측면파지	30	50	0	40
방향지시	20	0	90	0
주먹쥐기	20	80	80	90

형파지, 원주형 파지, 손끝파지, 정밀파지, 측면파지, 걸기, 방향지시, 그리고 주먹쥐기와 같은 다양한 파지동작과 손동작을 구현하였다.

향후에 우리는 기구학 모델 오차를 줄이기 위해 손가락 내부 구조를 재설계하고 그에 따른 기구학 해석을 수행할 것이다. 물건을 파지할 때는 반드시 힘을 수반한다. 따라서 재설계시에 손가락 파지력 해석을 근거로한 설계가 이루어져야 한다. 이러한 결과를 이용한다면, 향후에는 최적화된 생체모방형 다자유도 의수가 개발될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

[1] <http://www.mohw.go.kr>.

[2] M. Zecca, P. Dario, A. Sabatini, and M. Carrozza, *On the development of a cybernetic prosthetic hand*, Scuola Superiore Sant'Anna, Italy, Doctor Thesis, 2003.

[3] S. Schulz, C. Pylatiuk, and G. Bretthauer, "A new ultralight anthropomorphic hand," in *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Seoul, Korea, May, pp. 3135-3137, 2001.

[4] C. Cipriani, F. Zaccone, S. Micera, and M. Carrozza, "On the shared control of an EMG-controlled prosthetic hand: analysis of user-prosthesis interaction," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 24, no. 1, pp. 170-184, 2008.

[5] <http://www.ottobock.com>.

[6] <http://www.touchbionics.com>.

[7] C. Lovchik, and M. Diftler, "The Robonaut hand: a dexterous robot hand for space," in *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Detroit, Michigan, May, pp. 907-912, 1999.

[8] F. Lotti, P. Tiezzi, G. Vassura, L. Biagiotti, G. Palli, and C. Melchiorri, "Development of UB hand 3: early results," in *Proc. the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Barcelona, Spain, April, pp. 4488-4493, 2005.

[9] H. Liu, K. Wu, P. Meusel, N. Seitz, G. Hrzunger, M.H. Jin, Y.W. Liu, S.W. Fan, T. Lan, and Z.P. Chen, "Multisensory five-finger dexterous hand: the DLR/HIT hand II," in *Proc. IEEE/RSJ International Conference on intelligent Robots and System*, Nice, France, Sept, pp. 3692-3697, 2008.

[10] Shadow Robot Company, "Design of a dexterous hand for advanced CLAWAR applications," in *Proc. International Conference on Climbing and Walking Robots*, Catania, Italy, 2003.

[11] H. Kawasaki, H. Shimomura, and Y. Mausouka, "Educational-industrial complex development of an anthropomorphic robot hand 'Gifu hand'," *Advanced Robotics*, vol. 15, no. 3, pp. 357-363, 2001.

[12] M. Carrozza, G. Cappiello, S. Micera, B. Edin, L. Beccai, and C. Cipriani, "Design of a cybernetic hand for perception and action," *Biological Cybernetics*, vol. 95, no. 6, pp. 629-644, 2006.

[13] J.C. Becker, and N.V. Thakor, "A study of the range of motion of human fingers with application to anthropomorphic designs," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 35, no. 2, pp. 110-117, 1988.

[14] <http://sizekorea.ats.go.kr/>.