

# 건구동식 로봇 의수용 착용형 인터페이스

## A Wearable Interface for Tendon-driven Robotic Hand Prosthesis

정성운, 박찬영, 배주환, 문인혁\*  
(Sungyoon Jung, Chanyoung Park, Juhawn Bae, and Inhyuk Moon)

**Abstract:** This paper proposes a wearable interface for a tendon-driven robotic hand prosthesis. The proposed interface is composed of a dataglove to measure finger and wrist joint angle, and a micro-control board with a wireless RF module. The interface is used for posture control of the robotic hand prosthesis. The measured joint angles by the dataglove are transferred to the main controller via the wireless module. The controller works for directly controlling the joint angle of the hand or for recognizing hand postures using a pattern recognition method such as LDA and k-NN. The recognized hand postures in this study are the paper, the rock, the scissors, the precision grasp, and the tip grasp. In experiments, we show the performances of the wearable interface including the pattern recognition method.

**Keywords:** robotic hand prosthesis, wearable interface, dataglove, pattern recognition, hand motions

### I. 서론

지난 30년 동안 사람 손과 같이 다양한 기능을 수행할 수 있는 로봇손(robotic hand)이 개발되어 왔다[1]. 그 종류로는 사고로 인해 상지가 절단된 장애인의 손실된 손의 기능을 보완하는 로봇 의수(robotic hand prosthesis)와 산업현장에서 물건의 파지시 사용되는 그리퍼(gripper)와 같은 작업용 기능을 수행하는 로봇이 있다. 대표적인 로봇 의수로는 9자유도(degree of freedom, DOF)를 가진 Cybernetic hand prosthesis[2]와 5개의 구동기를 사용하여 15축 6자유도를 구현한 i-LIMB Hand (Touchbionics. co)[3]가 있다. 작업용 로봇손으로는 14자유도를 가지고 있는 Robonaut Hand[4]와, 공압근육을 사용하여 24자유도를 구현한 Shadow Hand[5], 그리고 DC모터를 이용하여 15자유도를 구현한 DLR/HIT Hand II[6] 등이 있다. 이러한 로봇손은 사람의 손과 유사한 형태를 가지고 있으며, 높은 자유도를 이용하여 다양한 기능을 수행한다. 그러나 높은 자유도를 가진 로봇손을 제어하기 위해서는 자유도에 따른 제어 명령을 생성할 수 있는 인터페이스가 필요하다[7].

높은 자유도의 로봇손을 제어하기 위한 대표적인 인터페이스로는 조이스틱이나 데이터글로브(dataglove)가 있다. 조이스틱 인터페이스[8-10]는 전후좌우 방향을 조작하여 로봇손의 파지나 다양한 손동작을 제어할 수 있다. 데이터글로브 인터페이스[11-13]는 손에 착용하여 손가락의 각 관절 각도 정보를 입력하여 로봇손의 동작 제어명령을 생성한다. 하지만 이러한 인터페이스들은 성능에 비해 가격이 비싸다는 단점이 있다.

본 논문에서는 우리가 개발하고 있는 다자유도 건구동식(tendon-driven) 로봇 의수[14] 동작을 제어할 수 있는 착용형 인터페이스 시스템을 제안한다. 로봇 의수는 인간손을 모방하여 건구동식 오지를 가지고 있으며, 총 4개의 구동기를 사

용하여, 15축 6자유도가 가능하다. 로봇 의수의 각 손가락은 굽힘과 펴 동작이 가능하며, 이를 응용하여 정밀파지, 측면파지, 손끝파지, 걸기와 같은 파지동작과 방향지시, 주먹쥐기와 같은 손동작을 구현할 수 있다[14].

최근에 개발된 로봇 의수의 동작은 상지 절단 장애인의 잔존근육 부위에서 발생하는 근전도(EMG: electromyogram) 신호를 인터페이스로 하여 제어된다. 그러나 일반적으로 근전도를 측정할 수 있는 잔존근육이 적기 때문에, 로봇 의수의 개발시 다양한 기능을 검증하기에는 어려움이 있다. 본 논문에서는 데이터글로브[15]를 이용한 착용형 인터페이스를 개발하고, 이를 이용하여 로봇 의수의 동작을 검증한다. 개발된 인터페이스는 플렉스 센서(flex sensor)로 손의 관절 각도를 측정하고, 손목에 부착된 소형 제어기의 무선통신 모듈을 통해 측정 데이터를 전송한다.

본 연구에서는 로봇 의수의 동작을 제어하기 위해 각 관절 각도 데이터로부터 손동작을 제어하는 관절각도 제어방법과, 정해진 손동작을 학습시켜두고 입력된 데이터로부터 손동작을 인식하여 손동작 자세를 제어하는 방법을 적용한다. 대부분의 로봇 의수는 정해진 손동작과 이에 해당하는 근전도 신호간의 패턴인식 방법에 의해 제어된다. 따라서 본 논문에서는 패턴인식 기반의 제어를 위해 가위, 바위, 보, 정밀파지, 그리고 손끝파지에 해당하는 다섯 손동작을 학습하고 선형 판별분석법(LDA: Linear Discriminant Analysis)과 k-NN(k-NN: Nearest Neighbor)분류기로 인식되는, 착용형 인터페이스를 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장과 III 장에서는 본 연구에서 개발한 로봇 의수와 데이터글로브에 대하여 설명한다. 그리고 IV 장에서는 본 논문에서 제안하는 착용형 인터페이스를 이용한 의수 제어 시스템에 대한 실험의 결과를 보인다.

### II. 다자유도 건구동식 로봇 의수

#### 1. 생체모방형 건구동식 손가락 개발

우리는 로봇 의수에 적용하기 위한 생체모방형 건구동식 손가락을 개발하였다[14]. 그림 1은 개발한 손가락의 설계도

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 11. 12., 수정: 2009. 12. 9., 채택확정: 2010. 1. 7.

정성운, 박찬영, 배주환: 동의대학교 대학원 지능시스템공학과

(syjung@arms.deu.ac.kr/cypark@arms.deu.ac.kr/jhbae@arms.deu.ac.kr)

문인혁: 동의대학교 메카트로닉스공학과(ihmoon@deu.ac.kr)

※ 이 논문은 2006학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음

(과제번호 : 2006AA142).

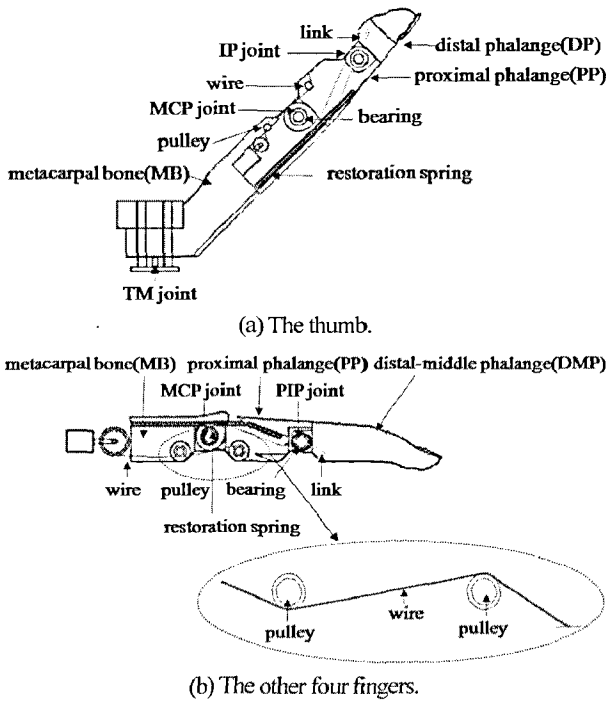


그림 1. 손가락 단면도.  
Fig. 1. Cross sections of the designed fingers.

면이다. 엄지손가락은 그림 1(a)와 같이 2개의 마디와 하나의 뼈로 구성되고, 3개의 관절로 구성되어 있다. 엄지 이외의 나머지 손가락은 하나의 구동기를 사용하여 손가락의 굽힘 동작을 구현하기 위해 말절골(DP: Distal Phalange)과 중절골(MP: Middle Phalange)을 하나로 하여 말-중절골(DMP: Distal-Middle Phalange), 기절골(PP: Proximal Phalange), 그리고 중수골(MB: Metacarpal Bone)로 구성되어 있으며, 각 마디와 뼈는 2개의 관절에 의해 연결된다(그림 1(b) 참조).

로봇 의수의 손가락은 사람 손가락 구동 메커니즘인 건과 근육을 모방한 와이어-모터 구조로 설계되었다. 각 손가락은 굽힘, 펴기 동작이 가능하며, 특히 엄지의 경우 다양한 손동작과 파지동작을 구현하기 위하여, 회전 동작도 가능하게 설계하였다. 손가락의 굽힘 동작은 하나의 모터를 사용하여 구현하였으며, 근위지절관절(PIP joint: Proximal Inter Phalangeal joint)과 중수지절관절(MCP joint: Meta Carpo Phalangeal joint)을 하나의 링크로 연결하여 MCP 관절이 굽혀질 때 PIP 관절도 동시에 굽혀지도록 설계하였다. 그리고 손가락 내부에 복원 스프링(restoration spring)을 삽입하여 구동기 없이도 손가락의 펴기 동작이 가능하도록 설계하였다.

2. 기구학 해석

다자유도 건구동식 로봇 의수는 손가락의 굽힘, 펴기, 그리고 회전동작을 구현하기 위해 4개의 구동기를 사용하였다. 엄지손가락은 2개의 구동기를 사용하여 굽힘, 펴기, 그리고 회전동작을 구현하였다. 손가락의 굽힘은 손가락 내부에 삽입되어 있는 구동기가 PP에 고정되어 있는 와이어를 당김으로써 구현되고, 회전동작은 손바닥에 내장되어 있는 구동기에 의해 구현된다. 검지, 중지, 소지, 그리고 약지는 굽힘과 펴기 동작을 구현한다. 검지의 굽힘 동작은 MB에 내장되어 있는 하나의 구동기가 PP에 고정되어 있는 와이어를 당김으로써 구현되

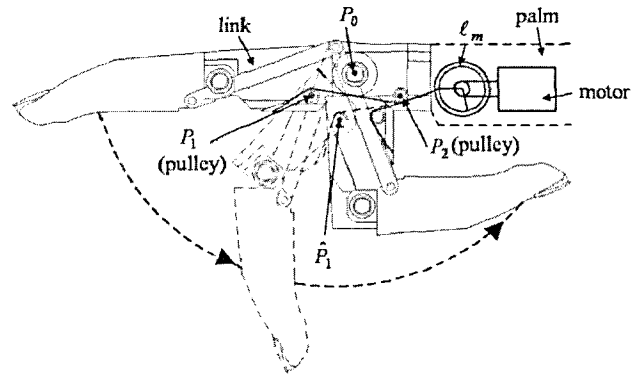


그림 2. 검지의 굽힘 동작 범위.  
Fig. 2. Range of motion of the index finger.

고, 중지, 약지, 그리고 소지는 손바닥에 내장되어 있는 한 개의 구동기를 이용하여 각 손가락의 PP에 고정되어 있는 와이어를 동시에 당김으로써 굽힘 동작이 일어난다. 그리고 각 손가락의 펴기 동작은 손가락 내부에 고정되어 있는 복원 스프링에 의해 행하게 된다.

그림 2는 검지의 90도 굽힘 동작을 보여준다. 검지의 굽힘은 하나의 구동기에 의해 PP에 고정되어 있는 와이어를 당김으로써 동작한다. 우리는 당겨진 와이어 길이에 따른 검지의 굽힘 각도를 수학적으로 모델링 하였다. 그림 3은 손가락 굽힘 동작의 기구학 모델이다, 단 그림 1(b)에서는 와이어가 풀리와 풀리사이를 접하고(그림 3 참조) 있으나, 이 모델에서는 두 풀리의 중심을 지나간다[14]. 점  $P_0$ 는 MCP 관절의 회전 중심이며, 점  $P_1$ 와  $P_2$ 는 풀리의 중심이다. 점  $\hat{P}_1$ 은 손가락의 굽힘 동작 후 점  $P_1$ 의 위치이다. 그리고  $r$ 와  $R$ 은 각각 풀리의 반지름과 MCP 관절의 중심에서 풀리 중심까지의 거리이며, 이들은 고정된 상수이다. 입력은 구동기에 의해 당겨진 와이어 길이  $l_m$  이고, 출력은 MCP 관절의 변화된 각도  $\theta_{MCP}$  라 하면, 입출력 관계는 다음과 같이 비선형식으로 나타낼 수 있다.

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

먼저, 우리는 당겨진 와이어 길이를 구하기 위하여 역기구학 모델  $l_m = J^{-1}(\theta_{MCP})$  을 유도하였다. 당겨진 와이어 길이  $l_m$  은 손가락을 최대한 펴었을 때의  $P_0$ ,  $P_1$ , 그리고  $P_2$  가 이루는 이등변 삼각형의 밑변  $L_0$  와 손가락이 굽혀졌을 때  $P_0$ ,  $\hat{P}_1$ , 그리고  $P_2$  가 이루는 이등변 삼각형의 밑변  $l_{pp}$  의 차와 같으며, 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$l_m = L_0 - l_{pp}. \tag{2}$$

여기서  $l_{pp}$  는 각도  $\theta_{pp}$  로부터 구할 수 있으며, 각도  $\theta_{pp}$  는 손가락을 최대한 펴었을 때의 초기 각도  $\theta_1$  와 MCP 관절의 변화된 각도  $\theta_{MCP}$  로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta_{pp} = \theta_1 - \theta_{MCP}. \tag{3}$$

식 (3)에서 구한 각도  $\theta_{pp}$  로부터 우리는  $l_{pp}$  를 다음 식으

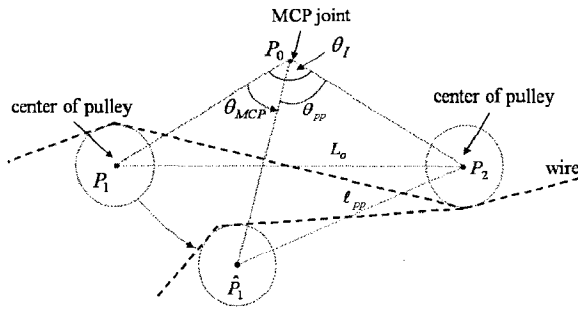


그림 3. 손가락 동작의 기구학 모델.  
Fig. 3. Kinematic model of finger motion.

로부터 구할 수 있다.

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

그리고 식 (2)와 식 (4)로부터 당겨진 와이어 길이  $\ell_m$  을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\ell_m = L_0 - \ell_{pp} = L_0 - 2R \sin\left(\frac{\theta_I - \theta_{MCP}}{2}\right) = J^{-1}(\theta_{MCP}). \quad (5)$$

식 (5)는 기구학 모델의 역기구학이며, 정기구학 모델 식 (1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{MCP} = \theta_I - 2 \sin^{-1}\left(\frac{L_0 - \ell_m}{2R}\right) = J(\ell_m). \quad (6)$$

따라서 식 (6)으로부터 당겨진 와이어 길이에 따른 MCP 관절 각도 변화를 알 수 있다.

우리는 식 (5)를 이용하여 검지의 MCP 관절의 각도에 따른 와이어 길이를 계산하였다. 그리고 구해진 와이어 길이를 제어입력으로 하여 검지의 MCP 관절 각도를 측정하였다. 그림 4는 입력된 당겨진 와이어 길이에 따른 예측된 출력각도(점선)와 측정된 출력각도(점)를 나타내고 있다. 이 결과 MCP 관절의 출력은 점선과 같은 경향을 보임을 알 수 있다. 실험으로부터 우리는 검지의 최대 굴곡 각도가 90도 범위 내에서 제어되기 위해서는 계산된 제어 입력값을 6.6% 줄여서 입력해야 한다[14].

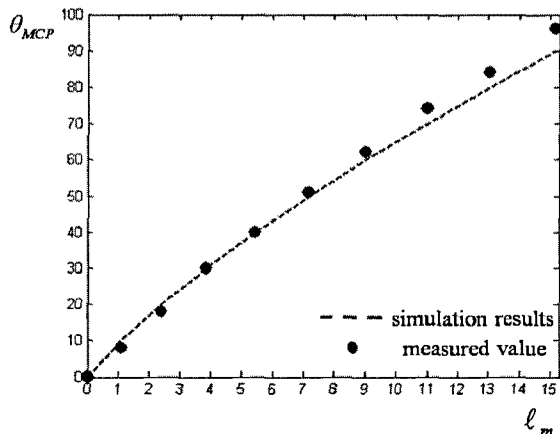


그림 4. 검지의 MCP 관절 각도제어 결과.  
Fig. 4. Control results of MCP joint angle of the index finger.

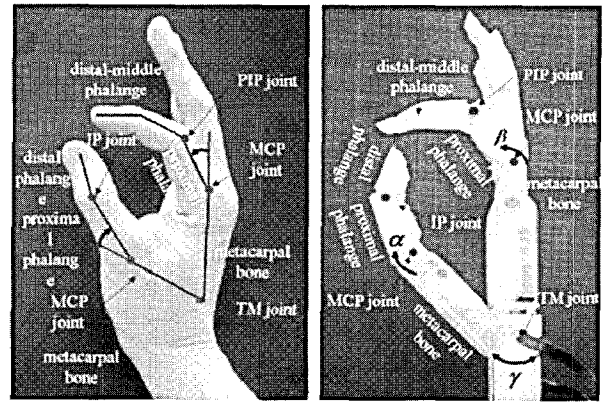


그림 5. 다자유도 건구동식 로봇 의수.  
Fig. 5. Tendon-driven robotic hand prosthesis with multi-DOF.

### 3. 다자유도 건구동식 로봇 의수 개발

우리가 개발한 다자유도 건구동식 로봇 의수는 오지형태이며, 한국 연령 25세에서 29세 남성의 표준 손가락 길이[16]을 참조하여 엄지는 123mm, 검지와 약지는 90mm, 중지는 98mm, 소지는 80mm, 그리고 손바닥은 97.3mm로 개발하였다. 개발한 손은 사람 손과 유사하며, 손의 전체 무게는 구동기를 포함하여 400g이다(그림 5 참조). 개발한 손은 총 4개의 구동기를 사용하여 엄지 2 자유도, 엄지 이외의 나머지 손가락 각각 1 자유도, 총 15축 6 자유도를 구현하였다. 그리고 이러한 자유도를 바탕으로 정밀파지, 손끝파지, 측면파지, 걸기, 방향지시와 주먹 쥐기와 같은 손동작을 수행할 수 있다.

## III. 데이터글로브의 개발

### 1. 데이터글로브

우리는 [15]에서 손 관절의 각도를 측정할 수 있는 데이터글로브를 제안하였다. 데이터글로브의 재질은 고무와 같이 신축성이 좋은 스판덱스(spandex)를 사용하였으며, 손의 크기에 상관없이 누구나 사용 가능하다. 우리는 손의 관절각도를 측정하기 위해 손가락의 MCP 관절과 DIP 관절(DIP joint: Distal Inter Phalangeal joint) 위에 플렉스 센서를 고정시켰다. 그리고 각 센서들은 정전기로 인한 오작동을 줄이기 위해 고무 튜브 안에 삽입하였으며, 글로브의 면과 면 사이에 위치하여 센서가 외부에 노출되지 않도록 설계하였다. 그러나 [15]



그림 6. 개발된 데이터글로브.  
Fig. 6. Developed dataglove.

와 달리 데이터글로브의 제어용 하드웨어는 손목에 착용할 수 있도록 설계가 되었다. 개발된 제어용 하드웨어의 전체 크기는 51.1mm x 82.3mm x 13.9mm(W x D x H)로 소형화하였으며, 무선통신모듈과 배터리를 내장한 무게는 62g이었다(그림 6참조).

2. 각도측정

데이터글로브의 손가락과 손목의 굽힘 각도는 내장된 플렉스 센서로 측정된다. 플렉스 센서는 다수의 격자가 일정한 간격을 갖도록 구성되어 있으며, 굴곡에 의해 발생하는 저항이 변하는 센서이다. 플렉스 센서는 굽힘이 없는 평편한 상태에서 10kΩ의 저항값을 나타내며, 굽힘 각도에 따라 저항값이 커지게 되어 직각 상태에서는 30kΩ의 저항값을 나타내는 특성을 갖는다. 따라서 우리는 휘스톤브릿지회로와 계측용 증폭기를 사용하여 손가락의 굴곡 각도를 측정하였다. 그림 7은 플렉스 센서의 센서값을 측정하는 회로도이다. 휘스톤브릿지회로를 구성하는 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>에는, 측정의 안정성을 높이기 위하여 최대 굽힘 각도시 평형상태가 되도록 30kΩ의 저항을 연결하였다. 5V의 전압이 인가되면 전압분배법칙에 의해 v<sub>1</sub>은 2.5V, v<sub>2</sub>에는 센서의 저항변화에 따라 1.25V~2.5V의 범위에서 전압이 가변한다. 이 두 신호는 계측용 증폭기에 입력되고, 두 입력전압을 차동증폭함으로써 각도에 따른 출력전압을 측정할 수 있다. 여기서 출력전압 v<sub>0</sub>는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v_0 = (1 + \frac{2R}{R_p})(v_1 - v_2). \tag{7}$$

식 (7)에서 v<sub>0</sub>는 5V를 넘어서지 않도록, 이득 조절용 저항인 R과 R<sub>p</sub>에 동일한 저항값을 선정함으로써 증폭률이 3배가 되도록 회로를 구성하였다.

3. 데이터글로브의 데이터 전송

그림 8은 제안한 데이터글로브의 데이터 전송 단계를 보여준다. 플렉스 센서로부터 측정된 아날로그 데이터는 MCU의 A/D변환기에 의해 디지털 데이터로 변환된다. 이렇게 측

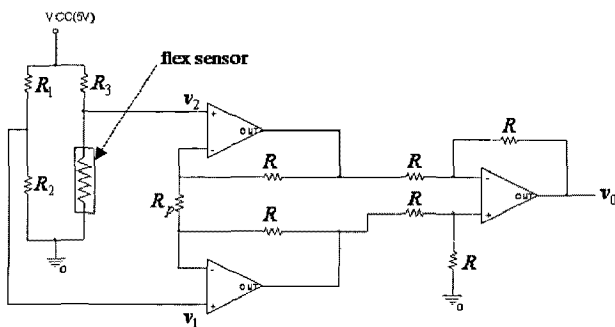


그림 7. 각도 측정 회로도.  
Fig. 7. Circuit for angle measurement.

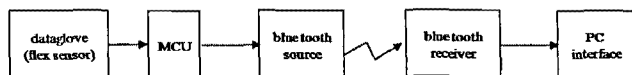


그림 8. 데이터글로브의 데이터 전송.  
Fig. 8. Data transmission diagram of dataglove.

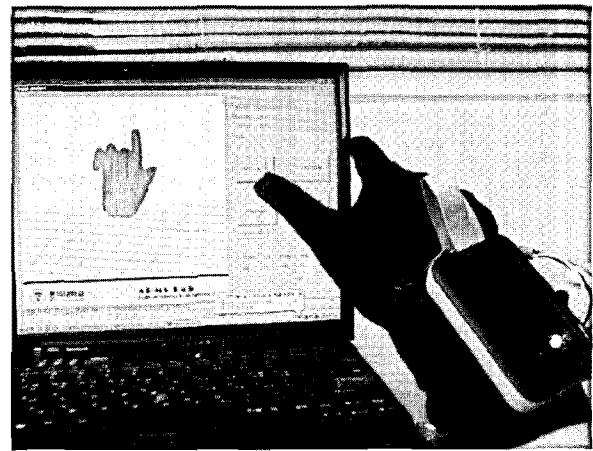


그림 9. PC 인터페이스.  
Fig. 9. PC interface.

정된 디지털 데이터는 데이터글로브 제어 하드웨어에 내장된 무선통신(blue tooth) 모듈에 의해 PC에 전달되며, PC에서는 전달된 데이터를 3차원 그래픽으로 실시간 나타낸다(그림 9 참조).

우리는 다양한 사람들이 데이터글로브를 사용할 수 있도록 개인별 교정(calibration)이 가능하도록 하였다. 교정과정은 다음과 같다. 먼저 센서에서 측정된 데이터가 PC로 전송되면 이동평균(moving average)을 이용하여 데이터의 잡음을 제거한다. 그리고 잡음이 제거된 데이터로부터 최대값과 최소값을 구하여 최대값은 최대 굽힘 각도, 최소값은 최대 펄 각도로 하고, 그 사이 각도는 선형이라는 가정하에 추정한다. 그리고 우리는 교정과정에서 손가락의 최대 굽힘 각도값은 90도, 최대 펄 각도값은 0도로 정의하였다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 데이터글로브를 이용하여 개발한 로봇 의수의 동작을 제어할 수 있는 착용형 인터페이스 시스템을 제안한다. 제안한 시스템으로는 손의 각 관절각도로부터 손동작을 제어하는 관절각도기반 제어방법이 있으며, 정해진 동작을 학습시켜두고 입력된 데이터로부터 손동작을 인식하여 손동작 자세를 제어하는 패턴인식기반 제어방법이 있다. 그림 10은 본 논문에서 제안하는 착용형 인터페이스의 블록도를 보여준다.

1. 관절각도기반 제어

관절각도기반 제어방법(그림 10 ① 참조)은 다음과 같다. 데이터글로브로부터 측정된 손동작 데이터는 무선통신을 이용하여 PC 인터페이스에 전송된다. 전송된 데이터는 PC 인터페이스에서 개인별 교정작업과 신호처리 과정을 거쳐 로봇 의수를 제어할 수 있는 관절각도 데이터로 변환된다. 변환된 관절각도 데이터는 RS-232C 통신으로부터 로봇 의수 제어기에 전송된다. 이때 로봇 의수는 전송된 관절각도 데이터에 의해 손동작과 파지동작을 구현한다. 그림 11은 데이터글로브를 이용하여 로봇 의수를 제어한 결과를 보여준다. 이 결과로부터 우리는 데이터글로브를 이용하여 구현한 손동작과 로봇 의수가 구현한 손동작이 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 장애인의 잔존근육부위에서 측정된 근전도

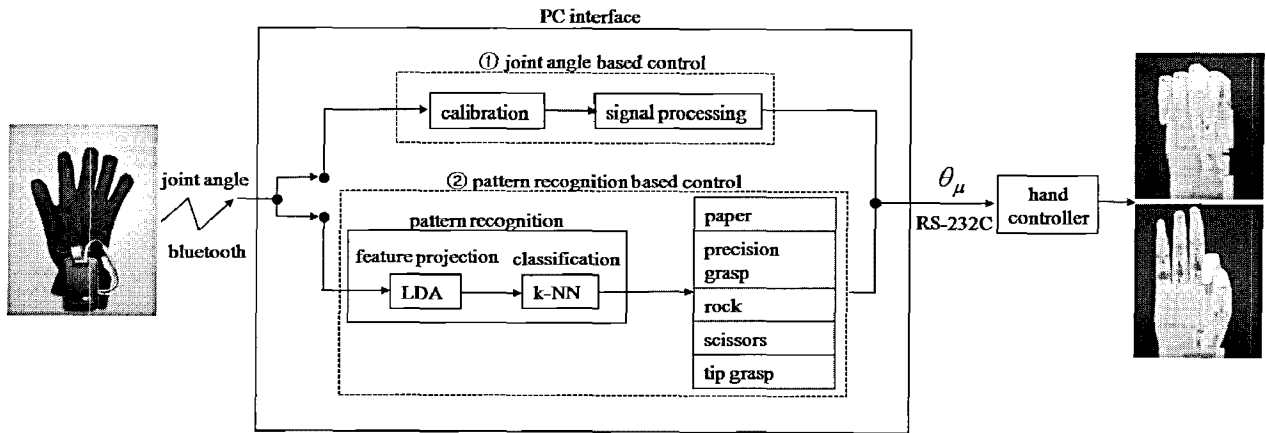


그림 10. 착용형 인터페이스 블록도.  
Fig. 10. Block diagram of wearable interface.

신호로부터 각 관절각도를 추정하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 근전도 신호로부터 사용자의 동작 의도를 파악하고, 로봇 의수의 손동작을 제어하기 위해서는 패턴인식 기법이 필요하다.

2. 패턴인식기반 제어

패턴인식기반 제어방법(그림 10 ② 참조)은 정해진 손동작을 학습시켜두고, 입력된 데이터로부터 손동작을 인식하여 로봇 의수의 손동작을 제어하는 것이다. 먼저 그림 12와 같이 정해진 다섯 손동작 데이터는 데이터글로브를 이용하여 10Hz 단위로 PC 인터페이스로 전송된다. 그리고 학습과 인식의 성능을 높이기 위해 선형판별분석법[17]을 이용하여 차원을 축소하였다. 선형판별분석법은 각 클래스 간의 간격을 크게 하면서 클래스 내의 분산을 최소화하는 변환행렬을 찾는 해석방법이며, 학습과정은 다음과 같다. 먼저 클래스  $i$ 에 대한 클래스내 분산행렬은 다음 식과 같이 정의할 수 있다.

$$S_i = \sum_{x \in \omega_i} (x - \mu_i)(x - \mu_i)^T \quad (8)$$

여기서  $x$ 는 원데이터의 표본이며,  $\mu_i$ 는 표본  $x$ 의 평균벡터로  $\mu_i = \frac{1}{N} \sum_{x \in \omega_i} x$ 이다. 따라서 전체 클래스내 분산행렬은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S_w = \sum_{i=1}^c S_i \quad (9)$$

또한 클래스간 분산행렬은 다음 식과 같으며,

$$S_b = \sum_{i=0}^c N_i (\mu_i - \mu)(\mu_i - \mu)^T \quad (10)$$

전체 클래스내 분산행렬  $S_w$ 에 대한 클래스간 분산행렬  $S_b$ 의 비를 최대화하는 변환행렬  $W$ 를 구하기 위한 목적함수는 다음과 같이 정의된다.

$$J(W) = \frac{|W^T S_b W|}{|W^T S_w W|} \quad (11)$$

그리고 변환행렬  $W$ 는  $S_w^{-1} S_b$ 의 가장 큰 고유치를 가지는  $k$ 개의 고유벡터로 계산되며, 입력 특징벡터에 대하여  $y = W^T x$ 를 계산함으로써  $k$ 차원으로 축소된 특징벡터를 얻는다. 본 연구에서는  $k=3$ 으로 하여 데이터글로브에서 출력되는 데이터를 5차원에서 3차원으로 축소하는 최적의 변환행렬을 찾았다. 그리고 그림 12와 같은 정해진 다섯 손동작

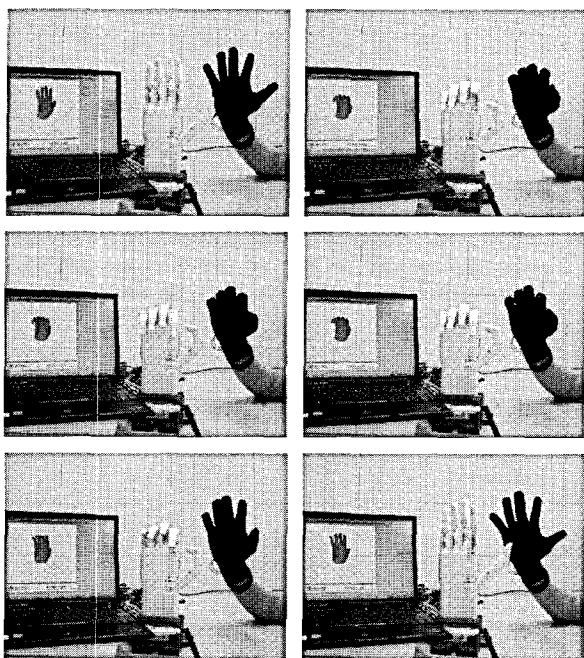


그림 11. 관절각도기반 제어 결과.  
Fig. 11. Control results based on joint angle.

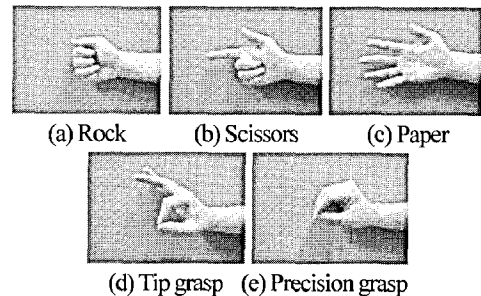


그림 12. 손동작.  
Fig. 12. Hand motions.

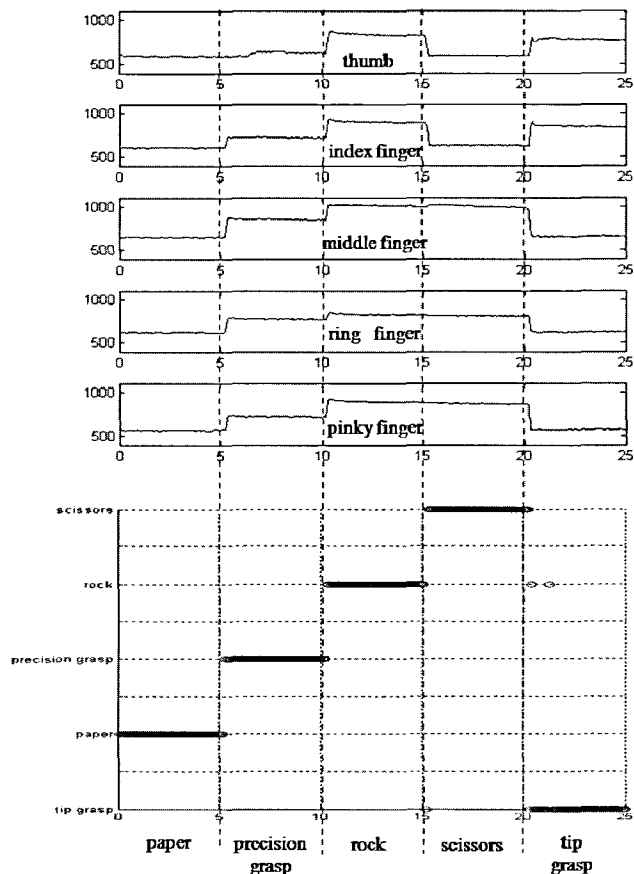


그림 13. 손동작 관절각도 데이터와 손동작 인식 결과.  
 Fig. 13. The joint angle data of hand motions and recognition results of hand motions.

에 대한 학습용 데이터를 변환행렬에 곱하여 차원을 축소하고, 그 평균값을 각각 k-NN분류기의 학습데이터로 저장하였다. k-NN분류기는 데이터클러스터에서 들어오는 데이터를 변환행렬을 이용하여 차원을 축소하고, 각 클래스의 평균값과의 거리를 측정하여 그 거리가 가장 가까운 클래스를 인식된 결과로서 출력한다. 인식된 결과는 PC 인터페이스에서 3차원 손 모델로 표현되도록 하였다. 또한 손동작을 구성하는 관절각도 데이터는 로봇 의수 제어기에 전송되어 손동작이 구현된다

그림 13은 데이터클러스터를 이용하여 측정한 관절각도 데이터와 패턴인식에 의한 손동작 인식 결과를 보여준다. 수평 축은 시간을 나타내며, 수직축은 각 관절에서 측정한 관절각도 데이터(위)와 인식동작 결과(아래)를 각각 나타내고 있다. 개발된 로봇 의수가 구현할 수 있는 손동작으로는 가위, 바위, 보가 있으며, 파지동작으로는 원주형파지, 정밀파지, 손끝파지, 측면파지, 구형파지, 걸기와 같은 동작이 있다. 우리는 이러한 동작 중에서 가위, 바위, 보, 손끝파지, 그리고 정밀파지의 다섯 동작에 대해 패턴인식기법의 인식률을 알아보았다. 각 동작을 각각 50번씩 인식한 결과 보, 정밀파지, 그리고 가위 동작은 100%의 인식률을, 손끝파지 동작은 98%, 주먹 동작은 96%의 인식률을 보였다. 그리고 다섯 손동작을 5초마다 변환하여 1회 수행했을 때, 동작 인식률은 98.8%였다(그림 13 참조). PC 인터페이스에서는 인식된 손동작의 관

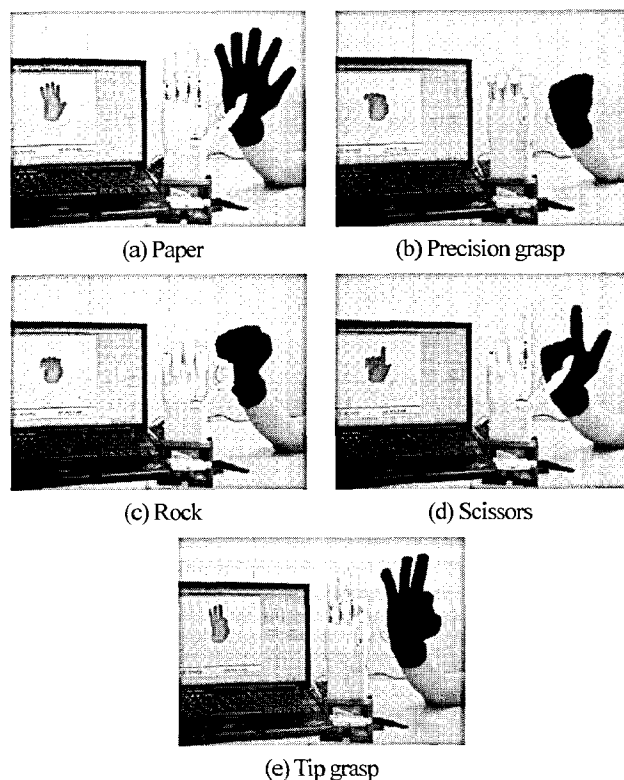


그림 14. 패턴인식기법을 이용한 제어결과.  
 Fig. 14. Control results based on pattern recognition.

표 1. 손동작 관절각도 데이터

Table 1. The joint angle data for hand motions.

	input angle(°)			
	thumb	index	middle, ring, little	thumb rotation
paper	0	0	0	0
precision grasp	20	40	40	90
rock	30	70	70	0
scissors	0	0	70	0
tip grasp	20	30	0	90

절각도 데이터를 50msec마다 로봇 의수 제어기에 전송하여 로봇 의수의 손동작을 제어하도록 하였다. 패턴인식에 있어서는 오인식이 존재하므로 실제 입력된 손동작과 다른 동작으로 제어될 수가 있다. 그러나 실제 동작 응답속도는 매 50msec단위로 갱신되는 관절각도 명령보다는 많이 늦기 때문에 패턴인식오차에 의한 영향은 무시 가능하였다.

그림 14는 패턴인식기법 제어방법을 사용하여 로봇 의수를 제어한 결과를 보여준다. 이 결과로부터 우리는 데이터클러스터를 이용한 손동작과 패턴인식기법 제어방법에 의해 로봇 의수가 구현한 손동작이 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 표 1은 각 손동작을 구성하는 관절각도 데이터 값을 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 로봇 의수의 동작을 제어할 수 있는 착용형 인터페이스 시스템과, 관절각도기반과 패턴인식기반의 두 가지의 제어방법을 제안하였다. 패턴인식을 위해서는 데이터클

로브로 측정된 관절각도로부터 선형판별분석법이나 k-NN기법을 적용하여 손동작을 인식하였다. 그리고 다섯 손동작에 대한 손동작 인식률은 98.8%를 보였다.

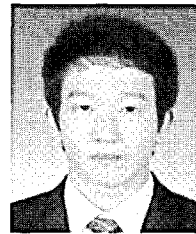
최근에 개발된 대부분의 근전도의수(myoelectric hand)는 상지 절단 환자들의 절단된 손의 잔존근육에서 발생하는 근전도 신호에 의해 제어된다[18,19]. 향후에 우리는 본 연구에서 제안한 패턴인식기반의 제어기법을 응용하여, 근전도 신호를 이용한 로봇 의수 제어 연구에 적용할 것이다.

### 참고문헌

- [1] M. Carrozza, G. Cappiello, G. Stellan, F. Zacccone, F. Vecchi, S. Micera, and P. Dario, "On the development of a novel adaptive prosthetic hand with compliant joints: experimental platform and EMG control," *Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and System*, pp. 123-145, 2005.
- [2] 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.
- [3] <http://www.touchbionics.com>
- [4] C. Lovchik and M. Diftler, "The robonaut hand: a dexterous robot hand for space," *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 907-912, May 1999.
- [5] Shadow Robot Company, "Design of a dexterous hand for advanced CLAWAR application," *Shadow Robot Company*, 2003.
- [6] H. Liu, K. Wu, P. Meusel, N. Seitz, G. Hrizunger, 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," *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on intelligent Robots and System*, pp. 3692-3697, Sep. 2008.
- [7] R. Ozawa and N. Ueda, "Supervisory control of a multi-fingered robotic hand system with data glove," *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1606-1611, Oct. 2007.
- [8] T. Oomichi, T. Miyatake, A. Mackawa, and T. Hayashi, "Mechanics and "Multiple sensory bilateral control of a fingered manipulator," *Proc. of the fourth International Symposium Robotics Research*, pp. 145-153, 1988.
- [9] J. M. Hollerbach and S. C. Jacobsen, "Anthropomorphic robots and human interactions," *Proc. of 1st Intl. Symp. on Humanoid Robots(Huro96)*, pp. 83-91, Oct. 1996.
- [10] S. M. Goza, R. O. Ambrose, M. A. Diftler, and I. M. Spain, "Telepresence control of the NASDA/DARPA robonaut on a mobility platform," *Proc. of the SIGCHI conf. on Human factors in computing systems*, pp. 623-629, 2004.
- [11] K. N. Tarchanidis and J. N. Lygouras, "Data glove with a force sensor," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 52, no. 3, pp. 984-989, 2003.
- [12] J. Hong and X. Tan, "Calibrating a VPL data glove for teleoperationg the Utah/MIT hand," *Proc. of IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp. 1752-1757, 1989.
- [13] D. J. Sturman and D. seltzer. "A survey of glove-based input," *IEEE Transactions on Computer Graphics and Applications*, vol. 14, no. 1, pp. 30-39, 1994.
- [14] 정성윤, 강성균, 배주환, 문인혁, "생체모방형 건구동식 의수의 설계," 대한의용생체공학학회지, 제30권 제3호, pp.

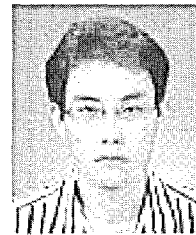
205-212, 2009.

- [15] 박찬영, 문인혁, "상지 마비 재활훈련로봇용 데이터글로브의 개발," 한국재활복지공학회 논문지, 제2권 SC-제1호, pp. 45-49, 2009.
- [16] <http://sizekorea.ats.go.kr/>.
- [17] E. Alpaydn, *Introduction to Machine Learning*, The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England.
- [18] F. Tenore, A. Ramos, A. Fahmy, S. Acharya, R.Etienne-Cummings, and N. V. Thakor, "Towards the control of individual fingers of a prosthetic hand using surface EMG signals," *Proc. of IEEE International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 6145-6148, 2007.
- [19] C. Cipriani, F. Zacccone, 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.



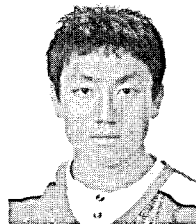
정성윤

2008년 동의대학교 메카트로닉스공학과(공학사) 졸업. 2008년~현재 동 대학원 석사. 관심분야는 바이오메카트로닉스, 재활로봇.



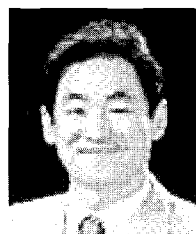
박찬영

2009년 동의대학교 메카트로닉스공학과(공학사) 졸업. 2009년~현재 동 대학원 석사. 관심분야는 바이오메카트로닉스, 생체인터페이스.



배주환

2008년 동의대학교 메카트로닉스공학과(공학사) 졸업. 2008년~현재 동 대학원 석사. 관심분야는 바이오메카트로닉스, 재활로봇.



문인혁

1992년 경상대학교 전자공학과(공학사). 1994년 동 대학원 석사. 1999년 일본 Osaka 대학 전자제어기계공학과(공학박사). 2002년~2005년 재활공학연구소 전자제어팀 책임연구원. 2005년~현재 동의대학교 메카트로닉스공학과 교수. 관심분야는 재활복지로봇, 바이오메카트로닉스, 생체신호 인터페이스.