

# 손/팔의 기능적 치수 측정시스템 (A System measuring the functional dimension of the hand and arm)

이경태<sup>1</sup>, 강신길<sup>2</sup>, 박재희<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국표준과학연구원 인간공학그룹, <sup>2</sup>한국과학기술원 기계공학과

## Abstract

By integrating the wired-glove and the position sensor using the magnetic fields, we developed the system which could measure the functional dimension of the hand and arm of the human. Magnetic position sensor traces the position and orientation of the arm while the wired-glove measures 18 phalangeal joint angles(including abduction between fingers, pitch and yaw of the wrist). The system could be used to monitor and quantify the functional dimension of the hand and arm and also could be used to test the product usability where the hand motion is important. Another important application lies in determining the degree of paralysis.

## 1. 서론

인체 계측은 의자, 책상, 피복, 작업 공간 등 인간이 사용하는 제품 및 환경 설계에 필수적이며 구조적 치수(structural dimension)와 기능적 치수(functional dimension)로 대별된다. 본 논문에서는 기능적 치수 측정 중 주로 손과 팔의 동작을 실시간으로 측정·분석할 수 있는 시스템 개발과 그 응용에 관한 것이다. 인체 모델은 Fetter의 Firstman 이후 여러 모델이 개발되었으며[보잉사의 Boeman, 크라이슬러사의 Cyberman, BUFORD, CAR, Combiman, SAMMIE, ergoSPACE 등], 특히 로봇트가 인간의 작업을 대신하는 경우가 많아지면서 인간의 손의 기능을 로봇트에게 묘사 시켜야 할 필요성이 대두되어 정확한 손의 움직임에 대한 이해가 필요하게 되었다.

Rijkema와 Girad[1991]는 엄지에 5개의 자유도, 다른 손가락에 4개의 자유도를 부여하고, 특히 손가락의 각 관절들이 완전히 독립적으로 움직이지는 않는다는 사실에 착안하여 손가락의 움직임을 kinematics로 모델링 하였다. 손가락의 움직임은 결국 근육의 움직임에 의해 야기되므로 Thompson 등은 손의 굴근(flexor tendons)의 움직임을 kinematics으로 해석하였다. Gourret[1989]는 뼈의 움직임으로 인해 발생하는 피부의 변형을 피부의 탄력을 고려하여 재현하였다.

본 논문의 목적은 1)지금까지 수동으로 행해진 손과 팔의 기능적 치수를 실시간에 자동으로 측정하며, 2)이를 이용하여 장애인들의 손과 팔의 기능적 결함정도(deformity)를 정량화 하고, 3)손가락의

움직임이 중요한 제품의 사용성 평가에 응용하기 위함이다.

## 2. 시스템 구성

### 1) 장비의 구성

본 시스템 장비는 자기장 발생장치(FASTRAK™), wired-glove(CyberGlove™), PC로 구성되어 있으며 그 도식적 관계가 그림 1에 나와있다. 자기장 발생장치본체와 wired-glove본체는 각각 RS-232C serial port를 통하여 PC로 연결하였다. 시스템 설치 모습은 사진 1에 나와 있다.

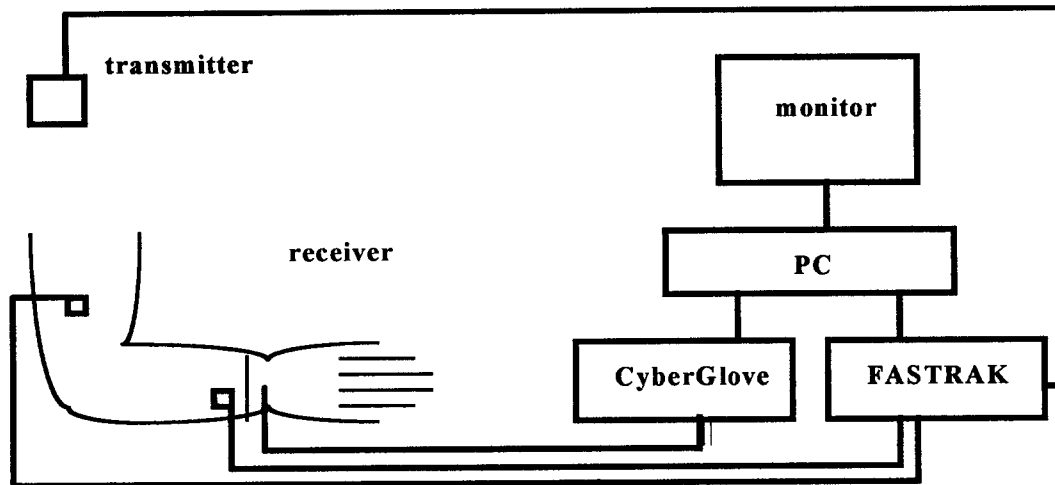


그림 1. 시스템 구성

### 2) 팔의 위치와 자세 측정

팔의 움직임에 간섭을 최소화 하면서 충분한 정확도를 확보하기 위해 자기장을 이용한 3차원 tracker(FASTRAK™)을 사용하여 팔의 자세와 위치를 측정하였다. Transmitter를 좌표계의 원점으로 하고 transmitter에서 발생한 자기장을 receiver에서 받아 transmitter에 대한 receiver의 상대적인 위치(x,y,z)와 자세(pitch,yaw,roll)를 계산한다. 이 값을 100 회/sec의 속도로 RS232c serial port를 통하여 PC로 전송하였다.

### 3) 손 모델

착용감이 좋은 Wired-Glove를 써서 손의 각 관절의 각도를 실시간으로 측정한다. 측정한 관절회전 각도는 총 18개로 그림 2에 나와있다. 즉, 엄지의 interphalangeal joint(그림 2의 1), 엄지의 MPJ(metacarpophalangeal joint, 그림 2의 6), 엄지를 제외한 4손가락의 PIJ(proximal

interphalangeal joints, 그림 2 의 2 - 5), MPJ( metacarpo-phalangeal joint, 그림 2 의 7 - 10), 각 손가락간의 외전(abduction, 그림 2 의 11 - 13), 엄지 metacarpal 의 검지 metacarpal 축에 대한 회전(그림 2 의 15), 손 등의 굽힘 정도(그림 2 의 16), 전완에 대한 손목의 pitch와 yaw(그림 2 의 17, 18) 등이 그림 2 에 있다.

이렇게 측정된 관절값과 손의 geometry 를 이용하여 손에대한 kinematic modeling 을 하였다. 현재 손의 18 개의 관절의 회전 및 내전/외전(그림 1 참조)을 실시간으로 측정하고 이를 컴퓨터 화면에 재현 하였다. 이 모든 것이 PC 상에서 실시간으로 처리 되므로 제품의 사용성 평가도 관련 데이터베이스만 구축되면 실시간으로 평가가 가능하여 시뮬레이터 내의 다른 입력이나 출력과도 동기화가 가능하여 동적인 분석까지 가능하다. 참고로 손가락과 손에 대한 모델은 그림 2 에 나와있다.

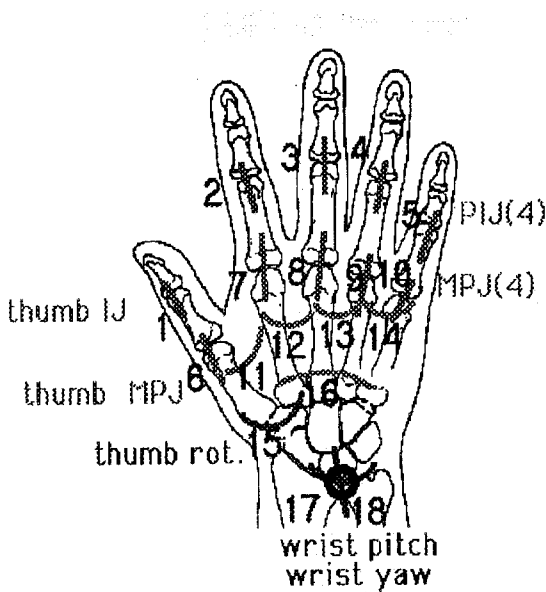


그림 2. 손 모델

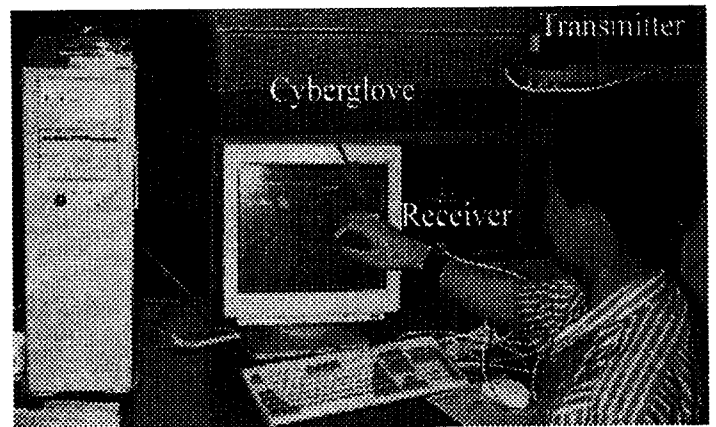


사진 1. 손/팔 측정시스템

#### 4) 3차원 공간상에서 손과 팔의 위치 추적

먼저 자기장 발생기(Transmitter)를 원점으로 하고 손목에 부착한 자기장 센서로 부터 손목의 자세 및 위치를 측정한다. 미리측정한 손가락 지체의 길이(구조적 치수)와 각 wired-glove 로 부터 측정된 지체간의 각도가 주어지면 이를 바탕으로 forward kinematics 를 이용하여 각 관절의 3차원상의 위치를 결정하였다. 검지 손가락에 대한 예가 그림 3 에 나타나 있다. 즉, 그림 3 의 (a)에서와 같이 손가락 마디의 길이와 손가락간의 각도가 주어지면 아래와 같이 해당 회전행렬을 곱하여 MPJ 점을 기준으로 한 좌표를 구한다. 즉,

$$T_4=A_1 A_2 A_3 A_4$$

$A_1, A_2, A_3, A_4$ 는 해당 관절의 회전 및 전이행렬(homogenous matrix)이다. 이를 이용하여 (b)에서와 같이 손목을 임시 원점으로한 손끝의 상대적인 좌표를 구할 수 있다. 즉, 검지에 대해  $P_2=Z_2T_4$  형식으로 구한다. 이에 다시 손목의 위치와 회전(자세)행렬을 곱해주면 각 관절의 3차원 공간상에서의 절대좌표가 구해진다. 여기서  $a_i$ 는 손가락의 길이를,  $\theta_1$ 는 손가락의 외전(abduction)을,  $\theta_{2-4}$ 는 관절각을 나타낸다. 이 절차를 각 손가락에 대해 반복한다.

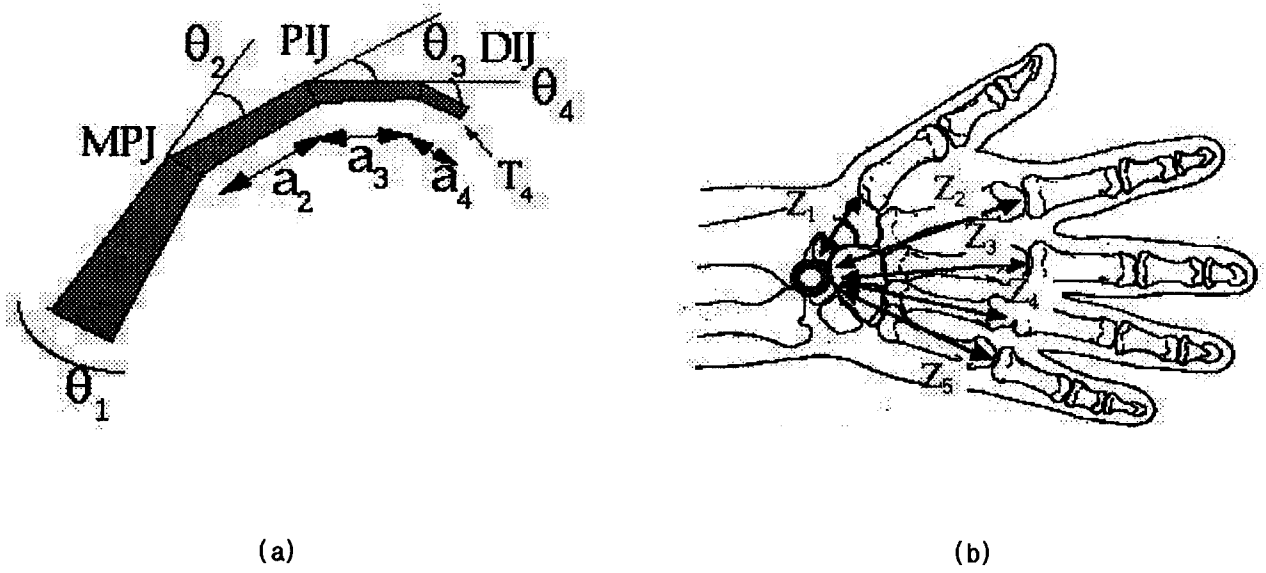


그림 3. 손 관절의 좌표계산

5) 영점 조절

Wired-glove 에서 나온 관절 각도에 대한 신호를 실제 관절굽힘각으로 맞추기 위해 손가락 각 관절을 여러 단계로 굽혀 보아 선형성을 조사하고 해당 관절에 대한 off-set 과 gain 을 측정하여 실제측정에 이용하였다. 각 관절에 대한 해상도는 약 1°이다.

3. 실시간 측정 및 재현

3차원 공간상에서 손동작에 대해 실시간으로 측정/재현하여 컴퓨터 화면에 선그림으로 표현한 예가 그림 4 에 나와 있다. 컴퓨터 화면상의 refresh rate 는 20 회/초이며 속도, 가속도, 3차원 공간상의 궤적 등의 실시간 측정이 가능하다. 이 시스템을 이용하여 손의 움직임이 중요한 제품의 사용성 평가와 장애자의 손/팔의 기형이나 기능장애 정도를 측정하는 실험이 계획 중에 있다.

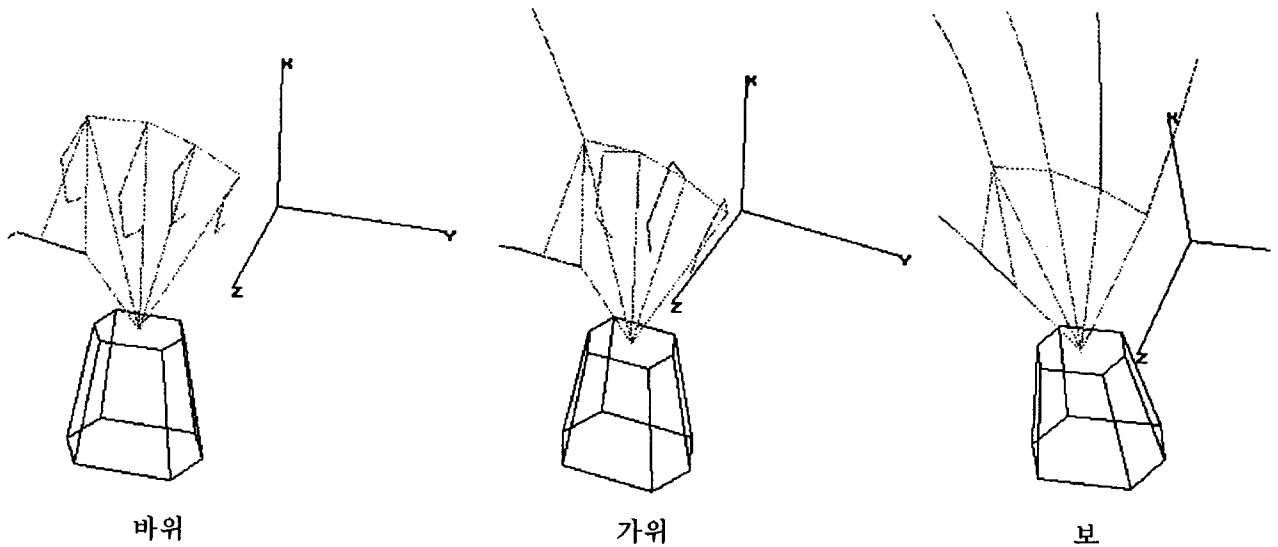


그림 4. wired-glove 시스템으로 표현한 가위, 바위, 보

#### 4. 결론 및 토론

본 연구는 인체의 동작 중 가장 세밀한 동작인 손과 팔의 기능적 치수 측정 시스템 개발에 관한 것이다. 본 시스템에서는 사람의 손가락의 움직임을 착용감이 좋은 wired-glove 를 이용하여 측정하고 팔의 동작을 자기장 수신기를 이용하여 측정한 후 이를 통합하여 3차원 공간상에 각 지체의 위치를 실시간으로 구하여 모니터에 재현하였다. 위치 오차는 약 1mm 이고 관절각의 오차는 약 1° 이다.

본 시스템은 손/팔에 대한 인체의 기능적 치수 측정에 이용될 수 있으며, 기존의 측정 방법이 주로 각도기를 통한 수동측정방법으로 많은 시간이 소모되는 것에 비해 본 시스템은 자동으로 여러 관절을 동시에 측정할 수 있는 장점이 있다. 인체 관절이 서로 완전히 독립적으로 움직이는 것은 아니라는 관점에서 보면 이 시스템의 응용은 더욱 확장된다.

또, 손/팔에 기능장애가 있는 장애자를 치료할 때 그 기형 및 기능정도(deformity)를 객관적으로 정량화 할 수 있는 것이다. 그렇게 하면 기형측정이나 치료효과 측정을 환자나 의사의 경험이 아닌 보다 객관적인 지표로 나타낼 수 있다고 생각된다.

본 시스템의 또 다른 응용은 손의 움직임이 중요한 작업이나 제품의 사용성 평가에 있다고 할 수 있다. 제품의 사용성 평가에 손가락 움직임 같은 미세적인 동작분석을 포함시킬 필요가 있다면 본 시스템이 유용하리라 여겨지며 실제로 G7 과제 중 인체동작반응 측정평가시스템 개발의 일환으로 이 시스템이 구성되었다.

## 참고문헌

- [1]Armstrong, W. W., Green, M., and Lake, R., "Near-Real-Time Control of Human Figure Models", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 7, No. 6, pp. 52-61, June 1987.
- [2]Case, K., Bonney, M. C., and Porter, J. M., "Computer Graphics Standards for Man Modeling", Computer Aided Design, Vol. 23, No. 4, pp.257-268, May 1991
- [3]Cutkosky, M. R., "On Grasp Choice, Grip Models, and the Design of Hands for Manufacturing Tasks", IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 5, No. 3, pp. 269-279, June 1989.
- [4]Gourret, J.-p., Magnenat-Thalmann, N., and D. Thalmann, "Simulation of Object and Human Skin Deformations in a Grasping Task", Computer Graphics, Vol. 23, No. 3, pp.21-30, July 1989.
- [5]Rijpkema, H. and Girad, M., "Computer Animation of Knowledge Based Human Grasping", Computer Graphics, Vol. 25, No. 4, pp. 339-348, July 1991
- [6]Thompson, D. E. and Giurintano, D. J., "A Kinematic Model of The Flexor Tendons of the Hand", J. Biomechanics, Vol. 22, No. 4, pp. 327-334, 1989
- [7]Wihelms, J., "Towards Automatic Motion Control", IEEE computer Graphics and Applications, Vol. 7, No. 4, pp. 11-22, April 1987.
- [8]Thomas J. Armstrong, "Development of a Biomechanical Hand Model for Study of Manual Activities", in Easterby et al. Anthropometry and Biomechanics, pp. 183-192. 1982
- [9]한치근,정의승,"인체 모델의 컴퓨터 형상화 방법", 대한인간공학회지, vol. 12, No.1, pp.57-73, 1993.
- [10]Yun, M. H., Freivalds, A., and Lee, M. W., "Analysis of total grip tasks using a glove-based hand posture measurment system", J. of the Ergonomics Society of Korea, vol. 14, No. 1, pp. 69-81, 1995.