

## 위치/힘 피드백이 가능한 외골격 구조의 데이터 글로브 개발<sup>§</sup>

김민정\* · 김대경\* · 박한길\* · 김의겸\* · 최병준\* · 최혁렬\*<sup>†</sup>

\* 성균관대학교 기계공학과

### Development of Exoskeleton-Type Data Glove for Position/Force Feedback

Min Jeong Kim\*, Dae Gyeong Kim\*, Han Gil Park\*, Ui Kyum Kim\*,  
Byung June Choi\* and Hyouk Ryeol Choi\*<sup>†</sup>

\* School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan Univ.

(Received May 26, 2011 ; Revised November 8, 2011 ; Accepted November 10, 2011)

**Key Words:** Exoskeleton(외골격), Data Glove(데이터 글로브), Position/Force Feedback(위치/힘 피드백), 4bar linkage(4절 링크), Tendon(장력)

**초록:** 본 연구에서는 사용자의 손에 장착하여 손의 움직임을 측정하고 힘의 반영이 가능한 새로운 형태의 데이터 글로브(data glove)를 제안한다. 본 연구의 데이터 글로브는 인간의 외골격 구조의 분석이 기반하고 있으며 하나의 손가락 모듈은 4절기구의 조합을 통하여 1자유도로 구동이 되도록 고안되어 있다. 데이터 글로브는 펴기(extension)와 구부리기(flexion)를 할 수 있으며 내전(adduction)/외전(abduction)을 위해서 두 개의 유니버설 관절을 이용한 새로운 metacarpal joint 메커니즘을 고안하였다. 동 데이터 글로브의 유효성을 평가하기 위하여 검지손가락을 위한 구동회로와 센서를 포함한 전체 시스템을 제작하였으며 가상공간에 동적 시뮬레이션을 통해서 나타낸 물체를 조작하는 실험을 수행하였다.

**Abstract:** In this paper, we present a new exoskeleton-type data glove that can sense the movement of the human finger and reflect the force to the finger. The data glove is designed on the basis of the skeletal structure of the human hand, and the finger module has 1 degree-of-freedom because it includes three four-bar mechanism joints in series and a wire-coupling mechanism. In addition, the transmission ratio of the finger module is maintained at 1:1.4:1 over the entire movement range, and hence, the module can perform both extension and flexion. In addition, to enable adduction/abduction motion of the human hand, a unique MCP joint is designed by using two universal joints. To validate the feasibility of the data glove, master-slave control experiments based on force-position control between the data glove and the robot hand are conducted.

### 1. 서론

최근 로봇에 대한 관심이 증대되면서, 산업 현장 및 일상생활에 걸쳐 다양한 작업이 가능한 다양한 형태의 로봇이 개발되고 있다. 특히, 기존 산업용 로봇의 경우에는 단순하고 특정한 작업을 반복적이고 정해진 흐름에 의해 수행하는 것이 대부분이었다면, 최근 연구 동향은 정확하고 섬세한 작업이 요구되는 산업 현장으로의 적용을 위하여 개발되는 사례가 많이 늘어나고 있다. 예

를 들어 건설 현장, 지뢰 제거, 송전탑의 고압전선 교체 등이 있다. 생명을 담보로 하는 위험한 작업에 있어서 산업 현장에서는 사람이 외부에서 원격으로 로봇을 제어하는 시스템의 필요성이 점차 증가하고 있다.

이러한 원격 제어 시스템의 경우, 작업의 효율을 높이고 작업자를 위한 추가 시설과 불필요한 공정에 대한 비용을 줄일 수 있다. 또한 외부 환경의 영향을 받지 않아 효율적이며, 안전사고 예방에도 기여할 수 있다. 또한 데이터 글로브(Data Glove)는 손의 제스처를 정의하여 시스템을 제어하는 입력장치로 가상현실기술 및 교육 의료, 산업분야에서 많이 사용될 수 있으며, 가상현실 속에 존재하는 사물을 현실에서 제어하게 함으로써

§ 이 논문은 2011년도 대한기계학회 동역학 및 제어부문 춘계학술대회(2011. 5. 25-27., BEXCO) 발표논문임

† Corresponding Author, hrchoi@me.skku.ac.kr

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

사용자에게 마치 현실 세계의 사물을 제어하는 느낌을 주는 장점을 가지고 있다.<sup>(1,2)</sup>

인간 손의 형상, 기능과 유사하게 개발된 로봇 핸드(Robot hand)는 사람 손의 정교한 파지를 따라 할 수 있다는 장점을 갖는다. 데이터 글로브와 로봇 손을 이용한 시스템의 활용방안으로는 우주 또는 해저 탐사에 사용될 수 있고, 의료 분야에서는 장시간의 의료수술로 인한 피로감을 덜어 수술의 성공확률을 높일 수 있다.<sup>(3)</sup> 그리고 중풍환자의 재활훈련에도 기여할 수 있고,<sup>(4)</sup> 게임에 적용하여 사용자들에게 좀 더 높은 현실감을 제공할 수 있을 것이다.

현재 데이터 글로브에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 데이터 글로브는 인간 손에 장착되는 구조물이기 때문에 대부분의 연구가 인간 손의 움직임을 기반으로 개발되고 있다.

사람의 손 움직임을 고려한 데이터 글로브의 대표적 연구는 다음과 같다. Rutgers Master II의 경우, 손바닥 부분에 기구물을 설치한 형태로 손가락이 굽혀짐을 측정하고 구동기(Actuator)로 피드백도 가능하다. 하지만 손바닥 내부에 있는 구조물 자체의 크기 때문에 손가락을 충분히 굽힐 수 없는 단점이 있다.<sup>(5)</sup>

HANDEXOS는 사람 손가락 관절 옆에 기구가 같이 회전 할 수 있도록 하였다. 미끄러지는 부분을 두고 길이 방향으로 미끄러지면서 굽힘 정도를 조절 할 수 있다.<sup>(6)</sup> 하지만 데이터 글로브를 제작함에 있어 손가락 모듈의 좌우 폭이 두꺼워 많은 손가락에 적용을 할 수 없고, 손목부분까지 기구가 차지하는 단점이 있다.

마지막으로 Encounter Type으로 데이터 글로브를 제작한 논문에서는, 회전 관절(Circuitous joint)을 이용하여 힘 피드백(Force-Feedback)이 가능하도록 설계하였다. 이 논문에서는 랙기어(rack gear)와 피니언(pinion)을 이용하여 회전 관절을 구현하였고, 사람의 손가락 관절이 굽혀질 때, 길이 방향으로도 자연스럽게 기구가 늘어나도록 하였다.<sup>(6)</sup> 하지만 Encounter Type에서 손가락의 외전(abduction)과 내전(adduction)에 대해서는 움직이지 못하는 문제와 기어와 미끄러지는 면 등의 가공이 힘들다는 단점이 있다.

현재까지 개발된 이러한 데이터 글로브는 대부분 기구적인 불안정함을 가지고 있고, 착용 시, 착용자의 움직임이 부자연스러워서 피로감을 느

끼기 쉽다. 특히, MCP 조인트의 2자유도 중 내전/외전의 움직임을 구현할 수 없다는 한계를 가졌다.

따라서 본 논문에서는 위에서 지적한 사항들의 해결하여 착용자의 동작에 구애 받지 않고 힘 피드백이 가능한 데이터 글로브의 개발을 목적으로 한다. 이를 위하여 4절 링크 메커니즘과 두 개의 모터를 이용한 장력 구동형 데이터 글로브 메커니즘을 제안한다. 아울러 MCP 조인트의 자연스러운 내전/외전운동을 위하여 유니버설 관절을 이용한 새로운 메커니즘을 고안한다. 마지막으로 제안한 시스템에 대한 실효성을 평가하기 위하여 리커다인(Recurdyn)을 이용하여 생성된 가상 공간에 존재하는 물체를 개발된 데이터 글로브를 이용하여 조작하고, 이로부터 손의 움직임 센싱과 힘 피드백 성능을 검증하고자 한다.

## 2. 사람 손의 움직임

사람 손은 다양한 관절로 이루어져 있다. 이러한 관절은 손의 자유도를 결정하게 된다. Fig. 1을 보면 손가락 관절은 크게 3개의 DIP (Distal Inter-Phalangeal), PIP (Proximal Inter-Phalangeal), MCP (MetaCarpo Phalangeal) 조인트(joint)로 구성되어 있다. 엄지손가락을 제외한 나머지 4개의 손가락의 경우에는 같은 자유도를 가지고, 특별히 엄지손가락만이 안장관절(Saddle joint)의 2자유도가 추가된다. 우선 엄지손가락을 제외한 나머지 4개의 손가락 중 검지의 자유도를 보면, DIP, PIP 조인트는 서로 종속되어있어 펴기(extension), 구부리기(flexion) 동작의 1자유도를 가지게 된다. 그리고 MCP 조인트의 경우에는 펴기, 구부리기 동작과 내전(adduction), 외전(abduction) 동작의 2자유도를 가지게 되어 검지는 총 3자유도이다. 엄지손가락은 검지의 3자유도에

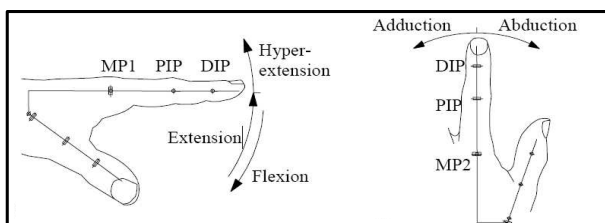


Fig. 1 Anatomy and movement of hand

회전을 제외한 모든 운동이 가능한 안장관절의 2 자유도가 추가되어 총 5자유도를 가진다. 이러한 손의 관절의 특징 때문에 불특정 형상의 물체를 파지 가능하도록 다양하고 안정된 파지형태를 가질 수 있다.<sup>(11,12)</sup>

### 3. Data Glove의 설계

#### 3.1 데이터 글로브의 검지 모듈

검지 모듈은 기본적으로 착용자의 움직임에 제한이 없고 또한 힘 피드백이 가능한 데이터 글로브의 개발을 목표로 설계하였다. 손가락의 펴기(extension)/구부리기(flexion)의 1자유도 외에 MCP 조인트의 내전/외전의 1자유도를 구현하였고, 이를 모터를 이용하여 제어하였다.

4절 링크 메커니즘은 총 12개의 링크로 구성되어 있다. 관절과 관절 사이는 장력 방식으로 연결되어 하나는 MCP 조인트와 PIP 조인트를 연결하고 다른 하나는 DIP 조인트와 PIP 조인트를 연결하고 있다. 이러한 장력방식을 통해 하나의 모터로 종속된 1자유도의 운동성을 가지게 하였다.

MCP 조인트에는 2개의 유니버설 조인트(universal joint)를 사용하여 두 개의 축 사이에 동력을 전달하여 MCP 조인트의 내전/외전의 1자유도를 추가하면서 동력전달이 가능하도록 했다. 유니버설 조인트와 연결된 베벨기어(bevel gear)는 모터의 회전운동을 검지 모듈의 펴기/구부리기의 움직임으로 바꾸어 준다. 또한 각 관절의 종속된

1자유도를 힘 피드백이 가능하게 하였다.

또한 힘 피드백은 가능하지 않지만 손가락의 내전/외전이 가능한 자유 조인트(Free joint)를 추가 하였다. 재질은 알루미늄 합금과 아세탈을 이용하여 견고하게 제작하였다.

#### 3.2 4절 링크 메커니즘

링크의 설계는 우선 프레임의 홀 위치에 따라 결정하여 손가락 관절의 회전중심과 링크의 일치되는 회전중심으로부터 홀에 위치를 기준으로 삼아 간격을 긴 링크의 아래 부분과 작은 링크의 치수를 결정한다. 손가락과 기구물의 회전 중심을 맞추어 링크가 실제 사람 손가락의 움직임과 일치하도록 설계하였다.

#### 3.3 2축 운동 구현

손가락의 내전/외전의 움직임을 가능하도록 MCP 조인트부분에 하나의 프레임을 추가시켜 MCP 조인트 부분에 2가지의 움직임을 가능하게 설계하였다. 이 구조는 작은 프레임이 사이에 들어가므로 내전/외전의 움직임을 가능하게 하는 축이 실제 손가락 보다 뒤로 처지는 문제점이 있었다. 이러한 문제점은 설계 시 축의 위치를 최대한 MCP 조인트 쪽으로 위치시켜 해결하였다.

Table 1 Spec of Data Glove

Geometry	Exoskeleton type
Kinematics	2-DOFs (Index Finger)
Control	Joint angle(measured by potentiometer value)
Mechanism	four-bar linkage mechanism
Weight	Under 200g
Communication	CAN
Power transmission	Double universal Joint + Pulley
Motor	12V DC motor(1ea)
Motor position	Same direction with finger
Material	Aluminum Finger tip : Acetal

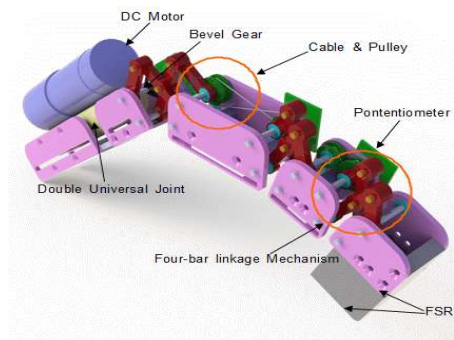


Fig. 2 Index finger module

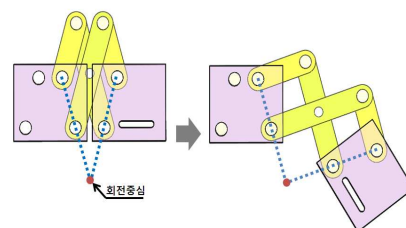


Fig. 3 Link mechanism

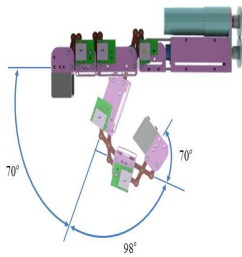


Fig. 4 Flexion/extension

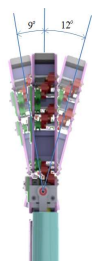


Fig. 5 Adduction/abduction

3.4 2개의 유니버설 조인트를 이용한 동력전달 2자유도의 움직임은 가지는 MCP 조인트 부분에서 동력전달 하려면 손등 위의 구조가 구부러진 상태에서도 동력을 전달 가능해야 하기 때문에 유니버설 조인트 2개를 이용하여 동력을 전달하도록 하였다.

3.5 DIP-PIP-MCP 조인트의 종속적 운동 구현

사람의 손가락이 관절의 회전비율은 1:1.4:1 (MCP조인트:PIP조인트:DIP조인트)로 회전한다.<sup>(6)</sup> 각 링크들은 같은 모양으로 회전을 하기 때문에 손가락 마디부분의 도르래에 와이어를 엮갈려 고정하며 도르래가 서로 반대방향으로 회전한다. 이러한 방식으로 각각의 링크가 회전하면서 동력이 손끝까지 전달된다.

3.6 압력 센서(force sensing resistor)가 장착된 손가락 끝(Finger Tip)

힘 피드백을 구현하기 위해 손가락 모듈 끝 부분에 압력 센서 2개를 손가락 끝이 닿는 위 · 아래에 장착 하였다. 압력 센서는 표면에 힘이 가해지면 저항이 감소하는 폴리머 필름(polymer film)을 이용한 센서이다. 펴기/구부리기 동작을 위해 손가락 모듈 끝부분에 힘을 가하게 되는 것을 이용했다. 구부리기 동작에서 손가락 모듈 끝부분 아래의 압력 센서가 누르게 될 때 모터

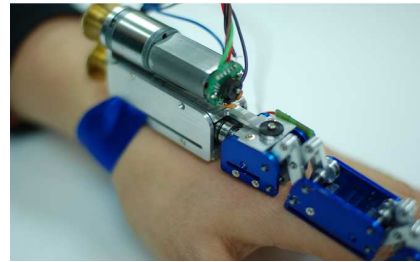


Fig. 6 Assembly of a universal joint

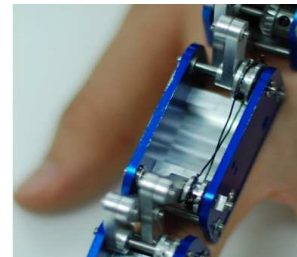


Fig. 7 Installation of pulley

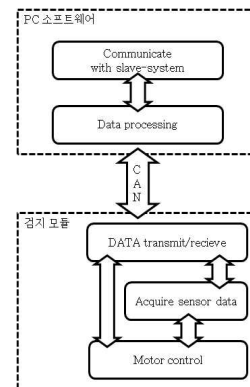


Fig. 8 Composition of a controller

가 회전하게 되고 압력 센서가 반응하지 않게 될 때까지 회전한다. 펴기 동작은 손가락 위의 압력 센서가 반응할 때 모터가 회전하게 되고 모터의 회전은 구부리기 동작의 역방향이다.

4. 제어기(Controller)

제어기는 크게 모듈의 모터를 컨트롤하고 센서 정보를 받는 하드웨어와 모듈 정보를 CAN통신으로 받는 PC 소프트웨어로 구성된다.

데이터 글러브의 움직임에 따른 포텐서미터(potentiometer)의 값과 압력센서의 값을 통해 모터를 제어하고, 이 정보를 CAN통신을 통해 PC 소프트웨어에 보내진다. PC 소프트웨어에서는 하드웨어에서 보낸 센서 정보를 각도로 변환하여

가상의 슬레이브 장치의 위치를 구현한다. 또한 가상에서 임의의 물체와 데이터 글러브가 닿았는지의 여부를 하드웨어에 전달하여 힘 피드백을 가능하게 하였다.

### 5. 실험

이 장에서는 개발된 데이터 글로브를 착용자가 직접 착용해 봄으로써 운동능력을 검증하여 기구적인 구속과 간섭을 평가한다. 또한 CAN 통신을 이용하여 외부의 PC에서 리커다인을 통해 가상 현실의 로봇 핸드를 구성하고 물체가 닿았을 때 힘 피드백이 실제로 가능한지 검증을 한다.

#### 5.1 데이터 글로브의 운동능력 검증

착용자의 움직임이 자연스러운지 착용에 불편함이 없는지를 확인하기 위한 검증이다. 실험의 구성은 통신을 하지 않은 채 데이터 글로브의 감지 모듈의 운동능력을 알아보기 위하여 펴기/구부리기 및 내전/외전의 실험을 실시하였다.

실험 결과, 그림에서와 같이 관절의 가동범위가 MCP 조인트 70°, PIP 조인트 98°, DIP 조인트 70°로써 펴기/구부리기의 동작이 자연스럽게 내전/외전의 각도는 좌 9°, 우 12°가 가능했다.

실험 과정 중 장력방식의 문제점인 케이블 길이 변화가 발견 되었다. 데이터 글로브를 반복적으로 여러 회 작동하다 보면 케이블의 길이 변화가 있을 수 있는데, 일반적인 경우에는 텐서너(tensioner)를 달아줌으로써 길이 변화가 생기더라도 장력을 유지 시킬 수가 있다. 본 연구에서의 데이터 글로브는 텐서너를 위치시키기 힘든 구조로 되어 있어서 수차례 작동 후에는 장력전달이 수월하게 되지 않는 경우가 발생하는 것을 확인하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 텐서너 장착과 구조 개선은 차후 연구에 반영할 계획이다.

#### 5.2 리커다인을 통한 검증

리커다인 상의 가상의 로봇 핸드는 개발한 데이터 글로브와 일치한다. 실험은 2가지로 수행하였다. 리커다인 상의 물체가 존재하지 않을 때, 데이터 글로브와 가상의 로봇 핸드의 움직임이 일치하는지의 여부와 물체가 존재할 때, 데이터 글로브의 힘 피드백 여부를 확인하는 실험이다.

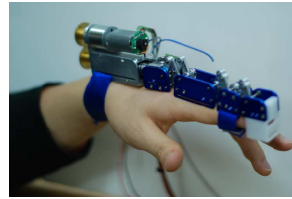


Fig. 9 Extension

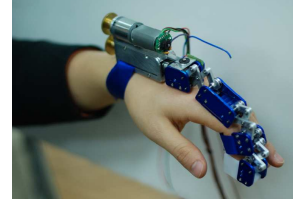


Fig. 10 Flexion

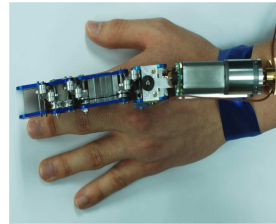


Fig. 11 Adduction

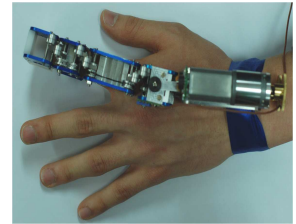


Fig. 12 Abduction

#### 5.2.1 테스트 환경

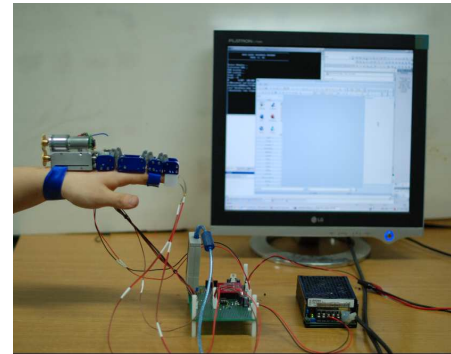


Fig. 13 Test environment

#### 5.2.2 물체가 존재하지 않을 때의 움직임

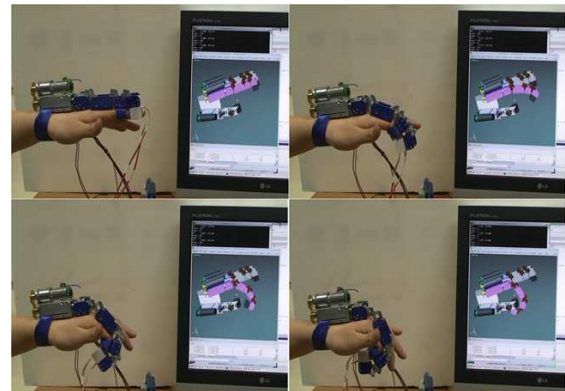


Fig. 14 Operation of data-glove without virtual object

리커다인 상에 물체가 존재하지 않을 때, 구부리기 동작을 취한 모습이다. 착용자 손의 움직임을 가상의 로봇 핸드가 잘 표현하고 있다. 물체가 존재하지 않기 때문에 손가락의 관절을 최대한 굽힐 수 있다.

## 5.3 물체가 존재 할 때의 움직임

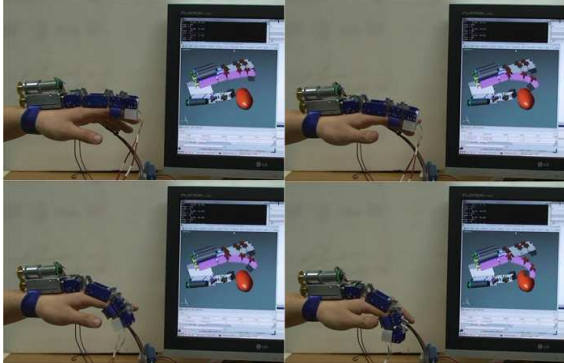


Fig. 15 Operation of data-glove with virtual object

리커다인 상에 물체가 존재할 때, 구부리기 동작을 1회 취한 모습이다. 물체가 닿기 전까지는 앞선 실험과 같이 착용자의 자연스런 움직임을 쫓아가다가 주황색 물체와 닿는 순간 데이터 글로브는 움직일 수 없음을 알 수 있다. 즉, 힘 피드백이 가능함을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서는 기구물의 구속으로 인한 데이터 글로브 착용자의 불편함을 개선하고 힘 피드백이 가능한 데이터 글로브의 검지 모듈을 설계 하였다.

기존 연구에서 개발한 데이터 글로브의 경우, MCP 조인트의 내전/외전 동작이 구속되어 있어 착용자의 움직임에 제한 있다. 따라서 MCP 조인트의 내전/외전 동작의 구현에 필요한 메커니즘이 필요하고 또한 외부 환경에 놓인 슬레이브 장치의 보호와 외부 환경에 놓인 물체를 실제 제어하는 것 같은 현장감을 부여할 수 있도록 힘 피드백이 가능한 메커니즘이 필요하다.

본 연구에서는 2개의 유니버설 조인트로 MCP 조인트의 내전/외전 동작이 가능하게 했고 그 범위는 좌  $9^\circ$ , 우  $12^\circ$ 이다. 4절 링크 메커니즘은 펴기/구부리기 동작에서 관절이 움직이는 범위를 착용자의 불편함이 없도록 했다. 각 관절은 포텐셔미터로 측정된 관절의 변위 값을 슬레이브 장치와 정보를 교환하여 데이터 글로브의 DC모터를 제어하였고, 동력이 관절과 관절 사이를 연결하는 케이블을 통해 관절을 구동시켰다. DC모터의 제어는 손가락 끝 부분의 양 끝단의 압력센서를 통해 모터를 정방향과 역방향으로 구동함으로써

써 펴기/구부리기의 동작을 가능하게 했고, 슬레이브 장치로 부터 정보를 수신하여 힘 피드백이 가능하도록 했다. 최종적으로 리커다인을 통해 구성된 가상의 로봇 핸드와의 힘 피드백 검증 실험을 통해 이를 평가하였다.

본 연구에서는 현재 검지 모듈만 개발된 상태로 데이터 글로브의 전체 모듈이 완성되어 있지 않다. 차후 완성될 전체 모듈은 상당한 무게가 될 것으로 예상된다. 또한 제어가 데이터 글로브에 내장되어 있지 않고 외부에 있다. 각 관절과 관절을 연결하는 장력방식의 메커니즘은 케이블의 변형으로 인해 제어하기 쉽지 않음을 알 수 있었다.

힘 피드백의 경우, 각 관절의 종속된 1자유도인 펴기/구부리기만 제어 가능하고 MCP 조인트의 내전/외전의 힘 피드백은 구현하지 못했다. 이를 구현하기 위해서는 장력방식이 아닌 새로운 메커니즘 또는 모터가 추가로 필요하다. 또한 엄지손가락의 안장관절의 움직임의 구현이 가장 큰 과제로 남아 있다.

본 연구에서 개발한 손가락 모듈은 2자유도를 갖으며 사람의 손가락 움직임을 잘 따라 동작함을 확인하였다. 그리고 마스터-슬레이브 시스템의 마스터 장치로 구동 할 수 있음을 리커다인의 로봇핸드를 통해 검증하였다.

## 사 사

본 과제(연구)는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업, 한국과학기술원 국방무인화기기술 특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 성균관대학교 차세대로봇 액츄에이터/센서 연구센터 지원사업의 연구 결과로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- (1) Cyber glove system : [http://www.vrlogic.com/html/immersion/cyberglove\\_systems.html](http://www.vrlogic.com/html/immersion/cyberglove_systems.html).
- (2) Tachi, S., Maeda, T., Hirata, R. and Hoshino, H., 1994, "A Construction Method of Virtual Haptic Space," *Proc. of the 4th Int. Conf. on Artificial Reality and Telexistence*, pp. 131~138.
- (3) Sung, G. T. and Gill, I. S., 2001, "Robotic

- Laparoscopic Surgery: A Comparison of the DA Vinci and Zeus Systems," *Urology*, Vol. 58, pp. 893~894.
- (4) Wege, A. and Kondak, K., 2005, "Mechanical Design and Motion Control of a Hand Exoskeleton for Rehabilitation," *Proc. of the IEEE Int. Conf. Mechatronics and Automation*, pp. 155~159.
- (5) Bouzit, M., Burdea, G., Popescu, G. and Boian, R., 2002, "The Rutgers Master II - New Design Force-Feedback Glove," *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, Vol. 7, No. 2, pp. 256~263.
- (6) Nakagawara, S., Kajimoto, H., Kawakami, N., and Tachi, S., 2005, "An Encounter-Type Multi-Fingered Master Hand Using Circuitous Joints," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1260~1265.
- (7) Chiri, A., Giovacchini, F., Vitiello, N., Cattin, E., Roccella, S. and Vecchi, F., 2009, "HANDEXOS: Towards an Exoskeleton Device for the Rehabilitation of the Hand," *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1106~1111.
- (8) Ninomiya, T. and Maeno, T., 2008, "Analysis and Systematic Classification of Human Hand Movement for Robot Hand Design," *J. of Robotics and Mechatronics*, Vol. 20, No. 3, pp. 430~431.
- (9) Fang, H., Xie, Z., Liu, H., Lan, T. and Xia, J., 2009, "An Exoskeleton Force Feedback Master Finger Distinguishing Contact and Non-contact Mode," *IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics*, pp. 1059~1064.
- (10) Lelieveld, M. J. and Maeno, T., 2006, "Design and Development of a 4 DOF Potable Haptic Interface with Multi-point Passive Force Feedback for the Index Finger," *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 3134~3139.
- (11) Calais-Germain, B., 1993, *Anatomy of movement*: Eastland Press.
- (12) Hand Anatomy : <http://skillbuilders.patientsites.com/Injuries-Conditions/Hand/Hand-Anatomy/a~280/article.html>
- (13) Bernardin, K., Ogawara, K., Ikeuchi, K. and Dillmann, R., 2003, "A Hidden Markov Model Based Sensor Fusion Approach for Recognizing Continuous Human Grasping Sequences," *Proc. of the 3rd IEEE Int. Conf. on Humanoid Robots*, pp. 1~6.
- (14) Bernardin, K., Ogawara, K. and Ikeuchi, K., 2005, "A Sensor Fusion Approach for Recognizing Continuous Human Grasping Sequences Using Hidden Markov Models," *IEEE Trans. on Robotics*, Vol. 21, pp. 47~57.