

뇌졸중 환자의 일상생활 동작 훈련을 위한 1자유도 손 재활 로봇 설계

Design of a Novel 1 DOF Hand Rehabilitation Robot for Activities of Daily Living (ADL) Training of Stroke Patients

구 광 민, 장 평 훈*, 손 민 균, 신 지 현
(Gwang Min Gu¹, Pyung Hun Chang¹, Min Kyun Sohn², and Ji Hyeon Shin²)

¹Korea Advanced Institute of Science and Technology

²Chungnam National University Hospital

Abstract: In this paper, a novel 1 DOF hand rehabilitation robot is proposed in consideration of ADL training for stroke patients. To perform several ADL trainings, the proposed robot can move the thumb part and the part of 4 fingers simultaneously and realize the full ROM (Range of Motion) in grasp. Based on these characteristics, the proposed robot realizes several types of grasp such as cylindrical grasp, lateral grasp, and pinch grasp by using a passive revolute joint that can change the thumb movement direction. The movement of the thumb is driven by a cable mechanism and the part of 4 fingers is moved by a four-bar linkage mechanism.

Keywords: stroke, thumb motion, hand rehabilitation, four-bar linkage, cable mechanism, ADL training, passive joint

I. 서론

뇌졸중(腦卒中, stroke)은 흔히 중풍(中風)으로 불리며, 압, 심장질환과 함께 우리나라 3대 사망질환 중에 하나로 단일 질병으로는 사망률 1위인 심각한 질병이다[1]. 뇌졸중은 그 동안 혈관의 노화로 인한 중·장년층에서 많이 발병되었으나, 최근에는 식생활의 변화, 정신적 스트레스의 증가 등으로 나이와 성별에 무관하게 발병되고 있다[2]. 이에 따라 뇌졸중 환자 수는 점차 증가하고 있다[3].

뇌졸중 환자의 90% 이상은 편마비(hemiplegia) 증세가 나타나게 되어 환 측(affected side)의 팔과 손, 다리에 걸쳐 반신마비 장애를 갖게 된다[4]. 뇌졸중 환자는 이런 갑작스런 장애로 인해 독립적인 일상생활이 불가능하게 되며 극심한 스트레스와 삶의 질 저하를 경험하게 된다[5].

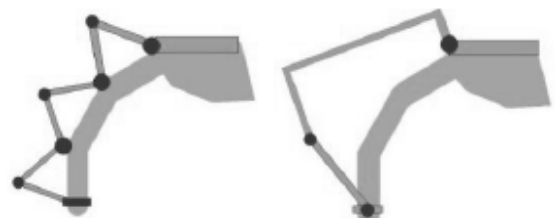
뇌졸중 환자의 재활 목적은 환자 독립적으로 일상생활을 영위할 수 있도록, 환자의 장애를 최소화하는 것이다. 대부분의 일상생활 동작 수행과정에서 손동작이 수반되므로 손 재활은 꼭 필요하다[6]. 일반적으로 뇌졸중 환자의 재활은 몸통과 가까운 관절부터 회복이 일어나게 된다[7]. 이런 이유로 손 재활은 보통 마지막 단계에 일어나게 되는데[8] 그만큼 오랜 시간이 걸리며 지속적인 노력이 필요하다. 발병 초기부터 지속적인 재활치료를 받지 않게 되면, 환 측은 계속해서 사용하지 않게 되어 관절 구축 등의 심각한 후유증이 남게 된다[4].

뇌졸중 환자의 재활은 물리치료, 작업치료, 전기자극치료, 약물치료, 심리치료 등 복합적인 과정으로 이루어진다. 이러

한 치료과정 중 물리치료와 작업치료는 치료사가 치료시간 동안 환자와 1:1로 접촉해서 치료를 수행해야 하기 때문에 치료사의 노동력이 가장 많이 요구 된다. 하지만 뇌졸중 환자의 수에 비해 치료사의 수는 부족한 실정이며[3] 환자는 충분한 시간 동안 치료를 받지 못하고 있다.

이에 대한 대안으로 손 재활 로봇/장비들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 손은 총 16자유도로 모사되는 매우 복잡한 시스템이며 그 크기가 팔이나 다리에 비해 작기 때문에 액추에이터와 센서 등을 장착하는데 어려움이 있다. 이런 어려움으로 인해 손 재활 로봇 연구는 사용된 액추에이터 수와 구동장치부의 구조와 관련해, 로봇이 환자의 손과 어떻게 접촉하느냐에 따라서 크게 두 갈래로 나눌 수 있다[9].

첫번째 흐름은 손가락의 모든 관절과 접촉하는 방법이다(그림 1(a)). 이 연구는 정상인의 손가락 움직임을 완벽히 모사하는데 초점을 맞추고 있다. 예를 들어 16자유도로 구성된 일본 Gifu University의 손 재활 로봇[10]은 각 관절을 각각 제어하기 때문에 관절 마다 개별적인 움직임이 가능하며, 손가락을 개별적으로 움직일 수 있어 다양한 일상생활 동작을 훈련할 수 있다. 하지만 관절마다 액추에이터와 센서를 사용해야 하기 때문에 그 구조가 매우 복잡하며, 로봇의 각 관절들



(a) All phalange contact method (b) Fingertip contact method

그림 1. 손 재활 로봇의 두 갈래.

Fig. 1. Two types of hand rehabilitation robots.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 6. 10., 수정: 2010. 7. 12., 채택확정: 2010. 7. 20.

구광민, 장평훈: KAIST 기계공학과

(friendgoos@kaist.ac.kr/phchang@kaist.ac.kr)

손민균, 신지현: 충남대학교병원 재활의학과

(mksohn@cnu.ac.kr/pixy018@naver.com)

과 사람의 해부학적 관절들이 일치해야 하기 때문에 착용이 어렵고, 환자의 손가락 관절 사이의 길이에 따라 로봇의 각 관절 사이의 링크 길이를 조절해야 하는 어려움이 있다.

또 다른 흐름은 손가락의 끝이나 어느 한 부분만 접촉하는 방법이다(그림 1(b)). RIC의 IntelliArm[11]과 현재 병원에서 사용되고 있는 1자유도의 간단한 CPM (Continuous Passive Motion) 장비[12]가 그 예이다. 이 방법은 구조가 간단하여 착용이 편리하며 손 끝만 접촉하기 때문에 손가락 전체 길이만 고려하여 로봇의 링크 길이를 조절하면 된다. 하지만 지금까지 제안된 단순화된 로봇/장비들은 엄지손가락과 네 손가락을 동시에 재활할 수 없고, 일상생활 동작에서 엄지손가락이 중요함[13]에도 불구하고 엄지손가락에 대해 한 가지 동작만을 수행할 수 있거나 관절가동범위에 제한이 있어서 일상생활 동작을 구현하는데 한계가 있다. 하지만 일상생활 동작 같은 기능성 있는 동작은 단순 반복적인 움직임보다 환자에게 동기를 부여하며, 재활에 더 효과적이라고 보고되고 있다[14].

따라서 본 연구에서는 환자가 쉽게 착용할 수 있는 간단한 구조를 가지면서도 일상생활 동작을 수행할 수 있는 손 재활 로봇을 제안하고자 한다. 로봇은 다음과 같은 특징을 갖는다.

- (1) 1자유도의 간단한 구조를 갖지만 엄지손가락과 네 손가락의 동시 재활이 가능하다.
- (2) 완전히 쥘 수 있는 관절가동범위를 구현한다.
- (3) 일상생활 동작에 따른 엄지손가락의 움직이는 방향을 조절할 수 있다.

1자유도로 엄지손가락과 네 손가락을 동시에 움직이도록 하기 위해 4절 링크를 설계하였고 엄지손가락을 위해 케이블 구동 메커니즘을 적용하였다. 엄지손가락의 움직이는 방향을 조절할 수 있도록 수동 회전 조인트를 설계하여 각각의 일상생활 동작에 맞는 엄지 손가락의 움직임 방향을 선택할 수 있게 하였다.

본 논문 구성은 다음과 같다. II 장에서는 뇌졸중 환자의 손 재활 훈련을 위한 치료 방법을 재활의학적인 관점에서 논하고, 로봇으로 구현하기 위한 목표 작업을 설정한다. III 장에서는 1자유도 로봇을 설계하는 과정을 설명한다. IV 장에서는 3D CAD 모델을 이용한 시뮬레이션을 통해 목표 작업을 위한 네 손가락과 엄지손가락의 가동범위가 구현되는지, 일상생활 동작이 구현되는지 확인하고 동역학 시뮬레이션을 수행한다. V 장에서는 제작된 로봇의 사양 등을 설명하고 결과를 요약하며 향후 계획에 대하여 논한다.

II. 목표 작업 분석

뇌졸중 환자는 대부분 굽힘 공동운동(flexor synergy)이 발달되어 있어 환 측의 손을 굽힌 상태로 유지하게 된다. 이 굽혀진 손가락을 반복적으로 펴주고, 일상생활을 동작 훈련을 통해 환자가 원하는 동작을 독립적으로 수행 가능하도록 해야 한다. 앞서 서론에서 언급한 바와 같이 뇌졸중 환자의 복합적인 재할 치료 과정 중에서 물리치료와 작업치료가 치료사의 노동력이 가장 많이 요구된다.

로봇을 통해 물리치료와 작업치료를 구현할 수 있게 된다면 부족한 치료사 수에 대한 문제점을 극복할 수 있으며, 치료사의 노동력을 줄일 수 있다. 또한 환자는 회복에 필요한

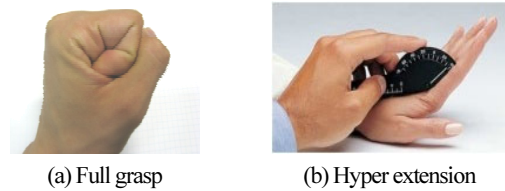


그림 2. 물리치료.
Fig. 2. Physical therapy.

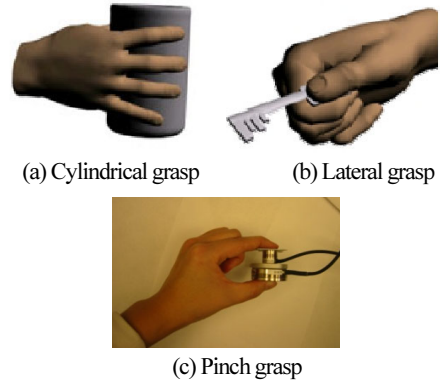


그림 3. 작업치료를 위한 일상생활 동작.
Fig. 3. Activities of Daily Living for occupational therapy.

충분한 시간 동안 치료를 받을 수 있게 되며 치료비의 부담을 줄일 수 있다.

1. 목표 작업

1.1 물리치료

스트레칭의 개념으로 환자의 손을 쥐거나 펴는 동작을 반복적으로 수행하는 것이다. 관절이 구축되는 것을 방지하고 관절가동범위를 넓혀주기 위함이다.

로봇을 통해 쥐는 동작과 초과 신전을 수행하도록 한다.

1.2 작업치료

일상생활 동작 같은 목적이 있는 동작 수행을 통해 환자에게 치료에 대한 동기와 흥미를 유발시키고 손가락의 기능성을 향상시킨다. 이러한 과제 지향적인 훈련은 단순 반복적인 훈련방법에 비해 치료효과가 지속적으로 유지되며 더 효과적이다[14].

로봇을 통해서 일상생활과 관련된 동작에서 수반되는 다음과 같은 쥐는 동작을 수행할 수 있도록 한다.

2. 목표 작업 구현을 위한 생체 역학적 특성

물리치료와 작업치료를 구현하기 위해서는 손가락의 자유도, 공동운동(synergy), 관절가동범위, 길이/형상 및 재활을 위해 필요한 힘/토크 등 생체 역학적 특성을 고려해야 한다.

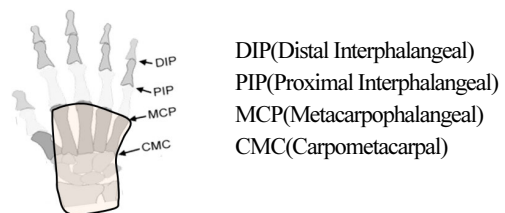


그림 4. 손가락 관절 위치와 명칭[14].
Fig. 4. Appellations of finger joints and their positions.

설명에 앞서, 손가락 관절은 아래와 같이 한 손가락에 3개의 관절로 구성되어 있으며 명칭은 다음과 같다.

2.1 손가락 공동운동

손가락 관절은 독립성을 갖는 관절도 있지만 상호간에 종속적으로 움직이는 관절을 고려해야 한다. 이를 공동운동이라 한다. 네 손가락의 DIP와 PIP, 엄지손가락의 MCP와 CMC는 다음과 같은 종속성을 갖는다[15].

㉠ 네 손가락에서 나타나는 공동 운동

$$\theta_{DIP} = \frac{2}{3}\theta_{PIP}$$

㉡ 엄지손가락에서 나타나는 공동 운동

$$\theta_{MCP}^{공부} = 2(\theta_{CMC}^{공부} - \frac{\pi}{6}), \theta_{MCP}^{외전} = \frac{7}{5}\theta_{CMC}^{외전}$$

2.2 손가락 자유도

네 손가락은 각각 2자유도의 MCP 관절, 공동운동으로 인한 1자유도를 갖는 PIP와 DIP관절로 총 3자유도로 모사되며, 엄지손가락은 1자유도의 IP 관절, 1자유도의 MCP 관절, 그리고 2자유도의 CMC 관절로 총 4자유도로 모사되어, 손은 총 16자유도를 갖는 시스템이다. 작업치료를 위해서는 엄지손가락과 네 손가락이 동시에 움직일 수 있어야 한다.

2.3 관절가동범위

물리치료를 위해서는 정상인과 같은 관절가동범위가 구현되어야 한다.

2.4 손가락 길이/형상

다양한 환자들이 착용할 수 있어야 하기 때문에 사람들의 손가락 길이에 맞게 조절할 수 있어야 한다. 한국인 인체측정조사[16]에 근거하여 20~60세 한국인의 90%가 착용가능하도록 설계한다. 손너비 70~89.5mm, 손길이 161.5~198.5mm, 손두께 20.5~29.5mm 를 각각 조절 가능하도록 한다.

환 측이 왼손, 오른손에 상관 없이 사용 가능하도록 하기 위해 양손에 착용이 가능하도록 해야 한다.

2.5 재활을 위해 필요한 토크

물리치료와 작업치료를 할 때 필요한 토크는 [17] 논문에서 관절 별로 정리되어 있다. 요약하면 엄지손가락의 경우

1.12Nm 네 손가락의 경우 2.32Nm로 동시에 재활할 경우 최대 3.44Nm의 토크가 요구된다. 자료값은 치료사가 직접 측정할 값으로서 이 토크를 낼 수 있도록 설계해야 한다.

III. 1자유도 손 재활 로봇 설계

1. 기구학적 설계

1.1 네 손가락

모든 관절 접촉 방법의 경우 다자유도로 구현되어 복잡하고 길이 조정 등의 어려움이 있는 반면에 손 끝 접촉 방법의 경우 1 자유도를 통해 모든 관절가동범위를 구현할 수 있다. 따라서 손 끝 접촉 방법을 이용하여 손끝의 움직임을 모사할 수 있는 4절 링크를 설계한다. 이에 대한 개념 설계안은 그림 5에 나타나있다. 손끝의 궤적을 모사할 수 있는 4절 링크는 도해적 방법 (Graphical synthesis analysis)[18]을 이용하여 설계하였다. 이를 바탕으로 그림 6과 같이 신전과 굴곡을 구현하였다.

설계된 4절 링크를 손의 양 옆에 배치하여 4절 링크 사이에서 손이 위치하게 한다. 손가락 끝과 4절 링크는 길이 조절 링크를 통해 연결할 수 있게 하여 환자의 손가락 길이에 따라 길이를 조절할 수 있도록 한다.

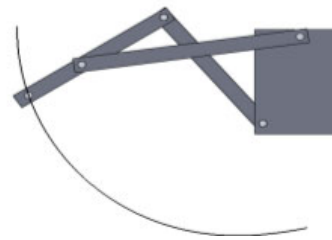


그림 5. 4절 링크를 이용한 손끝 궤적 모사 개념 설계.
Fig. 5. Conceptual design of fingertip path using four-bar linkage.

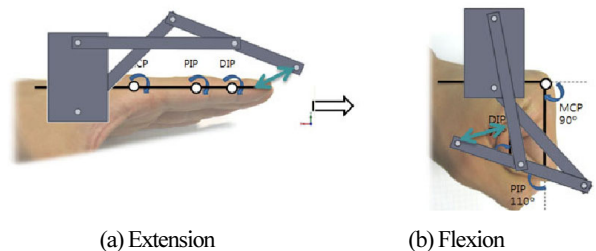


그림 6. 4절 링크를 이용한 네 손가락 움직임 설계.
Fig. 6. Deesign of four fingers movement using four-bar linkage.

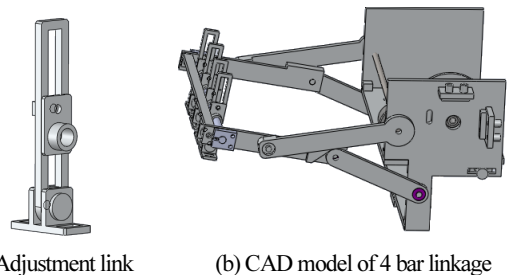


그림 7. 네 손가락 부분의 3D CAD 모델.
Fig. 7. 3D CAD model of four fingers part.

표 1. 손가락 관절가동범위[14].

Table 1.ROM of finger joints.

관절		가동범위	
네 손가락	MCP	초과 신전	0-45°
		굴곡	0-90°
	PIP	신전	0°
		굴곡	0-110°
	DIP	신전	0°
		굴곡	0-70°
엄지 손가락	CMC	요측 외전	0-60°
		척측 내전	0°
		장측 외전	0-45°
		장측 내전	0°
	MCP	초과 신전	0-10°
		굴곡	0-55°
	IP	초과 신전	0-15°
		굴곡	0-80°

1.2 엄지손가락

일상생활 동작을 구현할 때 쥐는 방법에 따라 엄지손가락의 움직이는 방향이 달라짐을 알 수 있다. 그림 8(a) 열쇠를 쥐는 동작에서는 엄지손가락의 움직이는 방향은 손바닥과 평행한 방향이며, (b) 컵을 쥐는 동작에서는 손바닥과 약 90° 방향으로 움직인다. 이는 네 손가락과 달리 엄지손가락의 CMC 관절이 자유롭게 움직일 수 있기 때문이다.

이를 구현하기 위해 수동으로 움직일 수 있는 조인트를 그림 9와 같이 설계하여, 각 손동작에 따른 엄지손가락의 움직이는 방향을 변화할 수 있도록 하였다. 그림 8 (a),(b)일 때의 움직임은 그림 9(a),(b)에 대응된다.

엄지손가락의 움직임을 위해서 케이블 구동 메커니즘을 적용 하였다. 케이블 구동 메커니즘은 마찰과 백래쉬가 작다고 알려져 있으며, 협소한 공간을 고려해 모터를 피동부와

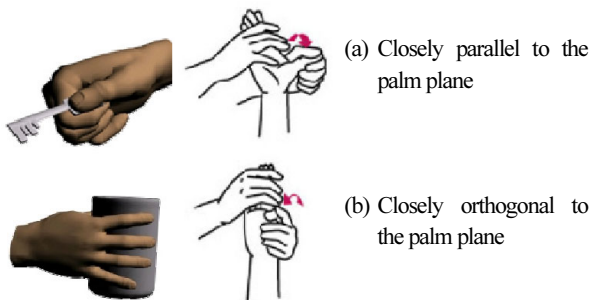


그림 8. 엄지손가락 움직임 방향.
Fig. 8. Movement direction of thumb.

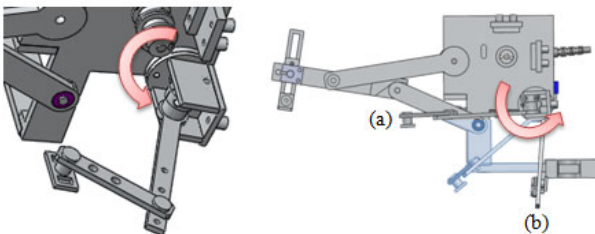


그림 9. 엄지손가락 방향 전환을 위한 수동 회전 조인트.
Fig. 9. Passive Revolute joint for change of thumb movement direction.

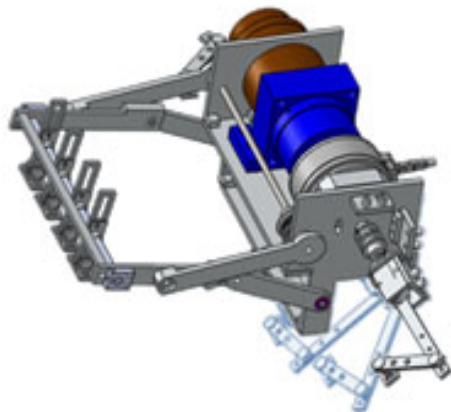


그림 10. 엄지손가락 움직임.
Fig. 10. Thumb movement.

바로 연결시키지 않고 원하는 위치로 떨어트릴 수 있다는 장점을 갖는다[19]. 앞서 설계한 바와 같이 엄지손가락의 회전 방향을 수동으로 조절 하더라도 엄지손가락에 동력이 전달되게 하도록 케이블 구동 메커니즘을 설계하였다.

최종 설계된 엄지손가락의 움직임은 그림 10과 같다.

2. 동역학적 설계

2.1 모터 및 기어비 선정

앞의 II 장 2절에서 재활에 필요한 최대 토크가 3.44Nm임을 확인했다. 재활로봇이 이 이상의 힘을 낼 수 있도록 적합한 모터와 기어비를 선택한다. 모터는 Maxon사의 EC-i40(70W), 기어는 삼익 THK사의 CSF 100:1 하모닉 드라이브를 사용하였다. 모터의 정격 토크는 58.2mNm이다. 하모닉 드라이브의 효율이 약 70%임을 고려하면 $58.2 \times 100 \times 0.70 = 4074mNm \approx 4.07Nm > 3.44Nm$ 를 만족함을 알 수 있다.

2.2 링크 두께 선정

링크의 적당한 두께를 선정하기 위해 SolidWorks 2010 Simulation을 이용한 응력해석을 수행하여 각 링크의 두께를 선정하였다.

3. 안정성 설계

3.1 하드웨어적 안정성 설계

II 장에서 관절가동범위를 확인하였다. 손 재활 치료 도중 로봇의 갑작스런 오작동으로부터 손가락이 과도하게 펴지거나 굽혀지는 것을 방지하기 위해 기구학적으로 로봇의 가동범위를 그림 11과 같이 제한하였다. 각도 제한을 기계적으로 설정함으로써 소프트웨어적인 안정성 설계의 오작동이 일어나더라도 안정성을 보장할 수 있다.

3.2 소프트웨어적 안정성 설계

3.2.1 각도 제한

모터에는 엔코더가 내장되어 있어서 움직인 각도를 측정할 수 있다. 이를 바탕으로 각도가 가동범위를 벗어나게 되었을 때 초기 위치로 복구할 수 있도록 하였다. 초기 위치는 환자의 급한 공동운동을 고려하여 살짝 쥔 상태로 설정하였다.

또한 환자마다 가동범위가 달라질 수 있는데, 이러한 환자 개개인의 조건을 소프트웨어적으로 추가할 수 있다.

3.2.2 토크 제한

제어를 할 때 환자의 손에 가해지는 토크가 토크센서에 의해 실시간으로 측정된다. II 장에서의 조건을 바탕으로 재활 치료를 수행할 때 필요한 최대 토크인 3.44Nm[17] 보다 큰 값이 2초 이상 지속적으로 측정될 때 로봇이 초기 위치로 복구하도록 설정하였다.

앞의 기구학적, 동역학적, 안정적 설계를 바탕으로 최종 설계된 손 재활 로봇의 CAD 모델을 그림 12에 정리하였다.

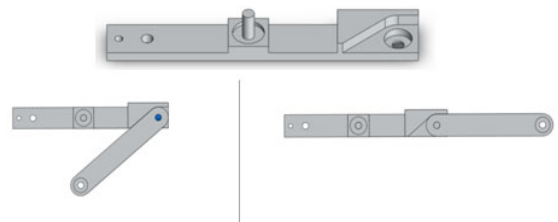


그림 11. 하드웨어적 각도 제한 안정성 설계.
Fig. 11. Hardware joint limit design for safety.

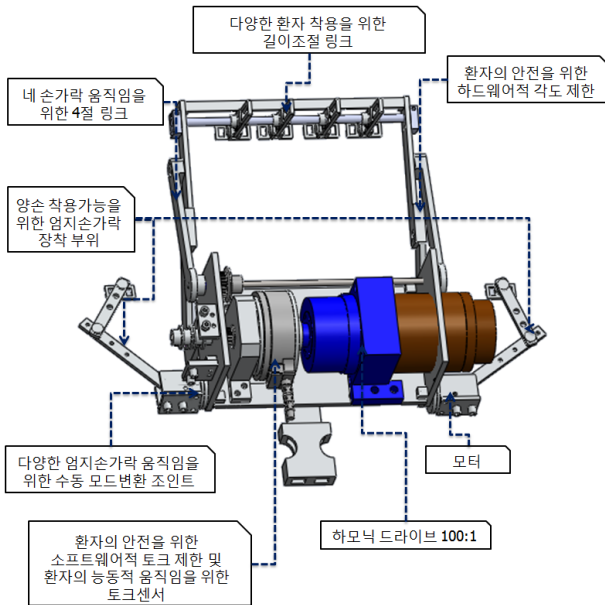


그림 12. 최종 3D CAD 디자인.
Fig. 12. Final 3D CAD design.

IV. 시뮬레이션

1. 기구학 시뮬레이션

3D CAD 모델을 이용하여 II 장에서 정한 목표 작업을 구현할 수 있는지 SolidWorks 2010 Motion study를 통해 확인한다. 관절가동범위가 구현되는지 엄지손가락과 네 손가락이 동시에 움직일 때 충돌이 없는지 확인한다.

1.1 물리치료 구현 확인

그림 13에서 네 손가락이 완전히 쥐어졌을 때와 펼쳤을 때의 움직임이 구현되는 것을 확인할 수 있다.

1.2 작업치료 구현 확인

II 장에서 목표 작업은 그림 3에 예로 나타난 쥐는 동작으로 설정하였다. 이를 구현하기 위해 III 장에서 엄지손가락의 움직이는 방향을 수동으로 조절하는 조인트를 설계하였다. 작업치료 그림 3(a),(b)일 때 엄지손가락의 움직임은 그림 9(a),(b)에 대응된다. 그림 9(a)와 (b)사이의 방향으로 엄지손가락은 목표로 하는 일상생활 동작에 맞게 움직이는 방향을 조

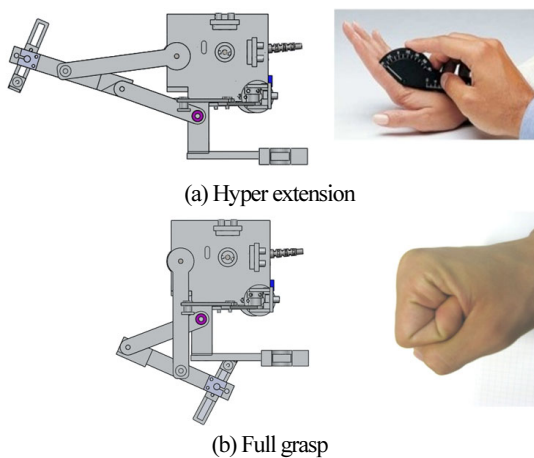


그림 13. 기구학 시뮬레이션을 통한 목표 작업 구현.
Fig. 13. Realization of target tasks using kinematic simulation.

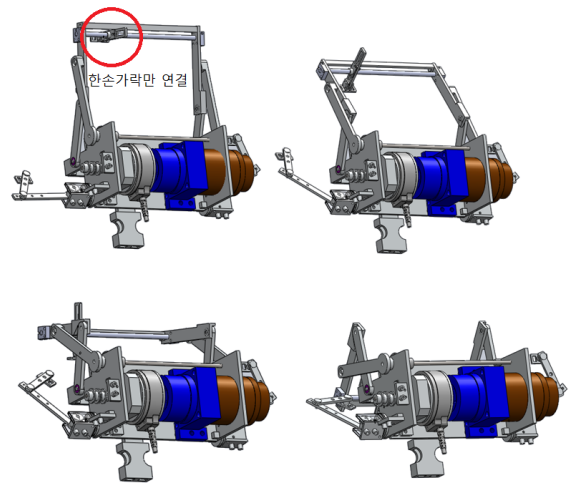


그림 14. 엄지손가락과 다른 손가락으로 쥐기 구현.
Fig. 14. Realization of pinch grasp.

절할 수 있다.

그림 3(c)의 엄지손가락과 어느 한 손가락의 움직임은 그림 14와 같이 4절 링크와 손가락을 연결할 때 어느 한 손가락만을 연결하여 구현할 수 있다. 그림 16에서 제작된 손 재활 로봇을 통해 이 동작이 구현됨을 확인할 수 있다.

2. 동역학 시뮬레이션

목표작업 중 물리치료의 경우를 동역학 시뮬레이션 툴인 SolidWorks 2010 Simulation을 이용하였다. 시뮬레이션 시나리오는 다음과 같다. 환자를 재활 하는 과정과 최대한 유사하게 설정하였다. 환자의 네 손가락을 재활하기 위해 필요한 토크를 힘으로 환산할 경우 손끝에 30N(=2.32Nm/0.07649m, 네 손가락 재활에 필요한 토크 2.32Nm[17], 중지의 평균길이 76.49mm[16])의 힘이 작용하는 것과 같다. 이를 바탕으로 설계된 4절 링크 끝 단에 30N의 접촉힘이 작용하고 있다고 가정한다. 환자의 손을 펼 때, 환자의 근 경직도에 인한 저항력은 펼치는 속도에 영향을 받는다. 펼치는 속도는 치료사가 수행할 때와 비슷하게 2초로 설정하였다. 이러한 조건에서

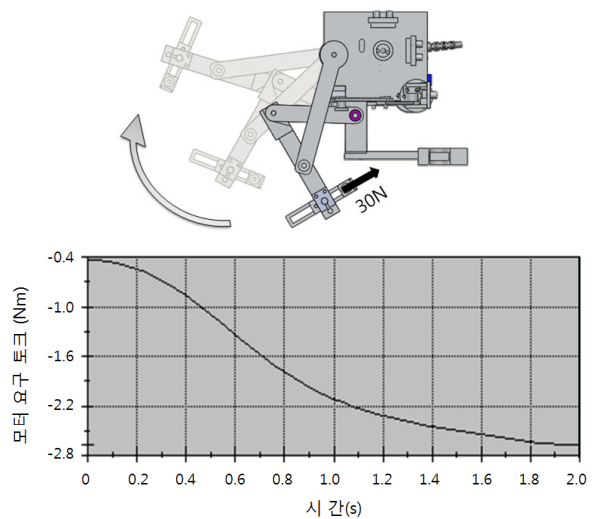


그림 15. 동역학 시뮬레이션 및 결과 그래프.
Fig. 15. Dynamic simulation and result graph.

손을 펼 때 모터에서 얼마만큼의 토크가 요구되는지를 확인한다.

시뮬레이션 결과 최대 토크가 약 -2.6 Nm로서 선정된 모터로 구동 가능함을 확인하였다. 엄지손가락을 고려한 동시 움직임은 케이블 구동 메커니즘을 SolidWorks 2010에서 구현할 수 없어 접촉힘을 45N(3.44Nm/0.07649m, 네 손가락과 엄지손가락 재할에 필요한 토크 3.44Nm[17])으로 가정하여 동일하게 수행했을때 1.5배인 -3.9Nm(< 4.07Nm, III 장 2 참고)로 역시 선정된 모터로 수행가능 함을 확인할 수 있다. 또한 EC-i40 모터의 특성곡선을 통해 저속에서는 더 큰 출력 토크 범위 안에서 사용할 수 있음을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 일상생활을 고려한 1자유도 손 재할 로봇을 설계하였다. 사람 손의 생체 역학적 특성을 고려하여 간단한 구조를 가지면서도 일상생활 동작을 구현할 수 있다. 이 로봇은 1자유도로 구현되었지만 쥐는 동작에서 손가락 관절가동범위를 모두 구현할 수 있어 완전한 쥐기를 수행할 수 있으며 초과 신전을 수행할 수 있다. 또한 엄지손가락과 네 손가락을 동시에 움직일 수 있어 자연스러운 일상생활 동

작을 구현할 수 있다. 네 손가락 중의 일부만을 로봇과 연결할 수 있고, 엄지손가락의 움직이는 방향을 전환할 수 있게 하여 다양한 일상생활 동작을 수행할 수 있다. 환자가 사용할 때 손가락 길이에 맞게 조절이 가능하도록 길이 조절 링 크를 설계하였고 환 측의 부위에 상관없이 양손에 모두 착용 가능하도록 설계 하였다. 기구학 시뮬레이션을 통해 목표작업인 물리치료와 작업치료 동작을 구현할 수 있음을 확인하였으며, 선정된 모터와 기어비는 동역학 시뮬레이션을 통해 치료를 수행하기에 적합함을 확인했다.

현재 개발된 로봇들과의 성능을 비교하여 표 2에 정리하였다. 손 끝 접촉방법을 이용하여 1자유도로 설계되었지만 위와 같은 장점들을 갖기 때문에 일상생활 동작 훈련에 사용될 수 있다. 설계된 로봇은 그림 16과 같이 제작된 상태이다. 현재 목표작업을 구현할 수 있도록 추종경로를 설계하고 제어 알고리즘을 개발 중에 있다. 추후 계획은 이 로봇을 임피던스 컨트롤 등을 통해 목표작업을 구현할 수 있도록 제어하고 안정성을 충분히 검증한 후, 충남대학교 재활의학과에서 임상 실험을 수행할 계획이다. 추후 사용자 편의를 개선하여 재택치료의 용도로도 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] “연령 사망 원인 별 사망률,” 통계청, 2007.
- [2] 한방과 건강, “뇌졸 중 예방만이 최선의 치료다,” p. 26, 2007.
- [3] “급성기 뇌졸중 적절성 추구 평가결과,” 건강보험심사평가원, 2009.
- [4] 성강주, 신원철, 장대일, 정경천, “순수 운동 편마비,” 대한 뇌졸중학회지, 제1권 제1호, pp. 42-46, 1999.
- [5] 최희정, 정성희, 홍여신, 김은만, 서문자, 김금순, 김인자, 조남욱, “뇌졸중 환자의 삶의 질,” 재활간호학회지, 제1권 제1호, pp. 111-123, 1998.
- [6] C. D. Takahashi, L. D. Yeghiaian, V. Le, R. R. Motiwala, and S. C. Cramer, “Robot-based hand motor therapy after stroke,” *Brain*, 2007.
- [7] P. Early, *Occupational Therapy-Practice Skills for Physical Dysfunction*, 5th Ed., Mosby, pp. 21-57, 2001.
- [8] 박수현, 작업치료사를 위한 임상지침서, 군자출판사, 2006.
- [9] P. Stergiopoulos, P. Fuchs, and C. Lurgeau, “Design of a 2-finger hand exoskeleton for VR grasping simulation,” *Eurohatics*, 2003.
- [10] S. Ito, H. Kawasakia, Y. Ishigureb, M. Natsumec, T. Mouria, and Y. Nishimoto, “A design of fine motion assist equipment for disabled hand in robotic rehabilitation system,” *Journal of the Franklin Institute*, 2008.
- [11] H. S. Park, Y. Ren, and L. Q. Zhang, “IntelliArm: an exoskeleton for diagnosis and treatment of patients with neurological impairments,” *Proc. 2nd Biennial IEEE/RAS-EMBS Int. Conf. on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, pp. 109-114, 2008.
- [12] WaveFlex-www.ottobock.com
- [13] J. E. Adamson, C. E. Horton, and H. H. Crawford, “Sensory rehabilitation of the injured thumb,” *Plastic and Reconstructive Surgery*, vol. 40, no. 1, pp. 53-57, 1967.

표 2. 다른 로봇/장비와 성능 비교.

Table 2. Comparison of performance existing robots.

	IntelliArm [11]	Hand CPM[12]	Gifu University[10]	Proposed
접촉방법	손 일부	손 끝	모든 관절	손 끝
자유도	1	1	16	1
관절가동범위 MCP/PIP/DIP	60/0/0	90/110/70	90/110/70	90/110/70
90/110/70				
엄지손가락 동시 재할	동시	따로	동시	동시
일상 손동작	한가지	불가능	매우 다양	다양
양손 착용 가능성	×	○	×	○

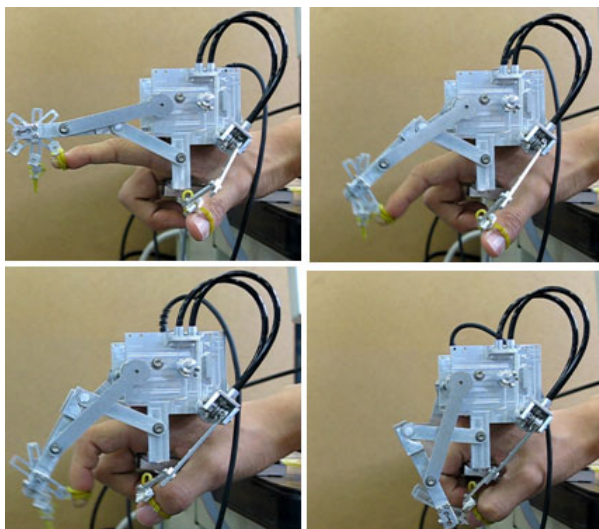


그림 16. 제작된 손 재할 로봇. 펴기 → 쥐기 과정.

Fig. 16. Development of proposed robot. extension → flexion.

- [14] C. J. Winstein, D. K. Rose, S. M. Tan, R. Lewthwaite, H. C. Chui, and S. P. Azen, "A randomized controlled comparison of upper-extremity rehabilitation strategies in acute stroke: a pilot study of immediate and long-term outcomes," *Arch Phys Med Rehabil.*, vol. 85, 2004.
- [14] 권혁철, (측정 및 평가)근육검진학, 정문각, 1996.
- [15] N. M. Thalmann, J. J. Zhang, and D. D. Feng, "Recent Advances in the 3D Physiological Human," Springer-Verlag London, p. 58, 2009.
- [16] 산업 자원부 기술표준원, "한국인 인체치수조사," <http://sizekorea.kats.go.kr/>, 2004.
- [17] H. Kawasaki, S. Ito, Y. Ishigure, Y. Nishimoto, T. Aoki, T. Mouri, H. Sakaeda, and M. Abe, "Development of a hand motion assist robot for rehabilitation therapy by patient self-motion control," *Proc. of the 2007 IEEE 10th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics*, pp. 234-240, 2007.
- [18] G. Erdman, *Mechanism Design-Analysis and Synthesis*, 4th Ed., Pearson Education, pp. 539-601, 1984.
- [19] P. H. Chang, S. H. Kang, H. S. Park, S. T. Kim, and J. H. Kim, "Active compliance control for the rehabilitation robot with cable transmission," *Proc. 8th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, pp. 84-87, Daejeon, Korea, 2003.



구 광 민

2008년 KAIST 기계공학과 졸업. 현재 KAIST 기계공학과 석·박사 통합과정. 관심분야는 손 재활, 로봇 설계 및 제어, 토크 센서 설계.



장 평 훈

1974년 서울대학교 기계공학과 졸업. 1977년 서울대학교 기계공학과 석사. 1987년 MIT 기계공학과 박사. 현재 KAIST 기계공학과 교수. 관심분야는 비선형 강인 제어기, 임피던스 제어, 여유 자유도 로봇 제어.



손 민 군

1986년 연세대학교 의과대학 졸업. 1989년 연세대학교 의과대학원 석사. 1997년 연세대학교 의과대학원 박사. 현재 충남대학교 의학전문대학원 교수. 관심분야는 뇌졸중 재활, 전기 진단법.



신 지 현

2003년 연세대학교 작업치료학과 졸업. 현재 충남대학교병원 재활의학과 작업치료사. 관심분야는 로봇 재활, 손 재활, 일상생활 동작을 위한 보조기구.