한국정밀공학회지 제 36 권 제 5 호 pp. 455-461 May 2019 / 455
J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 36, No. 5, pp. 455-461 https://doi.org/10.7736/KSPE.2019.36.5.455
ISSN 1225-9071 (Print) / 2287-8769 (Online)

사람 손의 파지원리를 모방한 높은 파지력을 갖는 로봇핸드의 설계 및 제어

A Biologically Inspired Dexterous Robot Hand with High Grip Force

이동혁[1], 권인구[1], 조정산[1,#]
Dong-Hyuk Lee[1], In Goo Kwon[1], and Jung San Cho[1,#]

1 한국생산기술연구원 로봇그룹 (Robotics R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology)
Corresponding Author / E-mail: chojs@kitech.re.kr, TEL: +82-31-8040-6353
ORCID: 0000-0002-4548-880X

KEYWORDS: Robot hand (로봇핸드), Grasp (순응파지), Grip (강력파지), Grip force (파지력), Hydraulic (유압)

This paper presents a robot hand inspired from grasp and grip mechanism of human hand. In human hand, grasp and grip are different terms: Human hand can grasp an object adaptively by individual pulling of each finger's tendon. Once the fingers make contact with the object, the human hand can grip the object with a larger force by simultaneous pulling of the tendon of each finger. Inspired from this, we propose a mechanism decoupling flexion drive and force-magnification drive for a wire-driven robot hand. The flexion drive consists of electric motors pulling the wire of each finger to make adaptive movement of the robot hand (grasp). The force-magnification drive consist of a hydraulic cylinder that pulls the wire of each finger simultaneously (grip). We also propose adaptive grasp mechanism using spring linkage. It is possible to grasp the irregular objects of limited size without a complex control algorithm or sensor system. We experimentally verified that the grip force of the prototype robot hand exceeds 300N which is 10 times larger than the electric motor alone.

Manuscript received: June 22, 2018 / Revised: November 19, 2018 / Accepted: December 13, 2018

1. 서론

로봇이 제조 현장을 비롯하여 다양한 산업에 활용되고, 미래에 재난/건설 등의 필드로봇분야에서 비정형 작업을 수행하기 위해서는 사람 손과 같이 다양한 비정형의 물체를 파지할 수 있는 로봇핸드가 필요하다. 이러한 이유로 많은 연구자들이 다양한 형태의 핸드를 제안하고, 적용분야에 따라 다양한 접근 방법으로 연구하고 있다.[1-13] 이러한 로봇핸드들은 크게 구동기(Actuator)를 손가락의 관절에 직접 장착하는 방식과 손바닥에 장착하여 링크나 케이블로 구동하는 방식, 그리고 전완부에 장착하여 케이블로 구동하는 방식의 세 그룹으로 나눌 수 있다.

첫 번째 그룹은 각 손가락의 관절에 구동기와 동력전달 장치를 장착하는 방법으로 DLR-hand II[1], KITECH-hand[2], Gifu hand II[3] 등이 있다. 이들은 구조가 상대적으로 단순하고 응답속도가 빠르며, 팔과 독립적으로 기능하므로 다양한 로봇팔에 적용할 수 있다는 장점을 갖는다. 하지만 손가락의 좁은 공간에 다수의 구동기와 감속기를 배치해야 하므로 크기와 중량대비 파지력을 높이기에는 한계가 있다.

두 번째 그룹은 손바닥에 구동기와 동력 전달장치를 구성하고 관절 수보다 작은 수의 액추에이터를 이용하여 손가락의 관절을 제어하는 부족구동(Under-Actuated) 방식의 핸드이다. 이것은 다시 케이블을 사용하는 방식과 기어나 링크를 사용하는 방식으로 분류할 수 있다. 케이블 구조의 로봇핸드는 High Performance Hand [4], Utah/MIT Hand[5], Spring Hand[6] 등이 있으며, 링크 기반의 로봇핸드로는 Schunk SVH Hand, ROBOTIQ Adaptive Gripper[7], Tokyo-TECH 100N Hand I & II[8,9] 등이 있다. 이러한 방식은 다양한 형상의 물체를 효과적으로 파지할 수 있으며, 소형 경량 설계가 가능하지만, 복잡한 동작에는 한계를 지닌다.

마지막 그룹은 사람과 같이 팔 부분에 구동기를 장착하여 케이블을 이용해 손가락의 관절 및 손목을 구동시키는 방법으로 Shadow Hand[10], DLR Hand-Arm System[11], Biomimetic Hand[12]

Copyright © The Korean Society for Precision Engineering
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

등이 있다. 이러한 로봇핸드는 사람과 비슷한 높은 자유도를 가지고 있어 고난도 작업이 가능하며, 상대적으로 높은 파지력을 가질 수 있다. 하지만 관절과 구동부가 떨어져 있어 기구적으로 가장 복잡하며, 케이블의 장력을 유지하기 위한 유지보수에 많은 노력을 필요로 한다.

이러한 로봇핸드들은 사람과 비교했을 때, 크기 대비 파지력에서 사람에 미치지 못하는 것이 사실이다. 대부분의 로봇핸드는 1 kg 내외의 가반하중을 가지며 경량의 작업물을 조작하는 것만을 대상으로 연구가 진행되고 있어 향후 고중량물을 포함한 다양한 물체의 조작 작업에 활용하는데 걸림돌이 되고 있다. 이는 구동기를 전기모터로 한정하는 한 극복하기 어려운 문제이며, 유압구동기 등 높은 출력밀도를 갖는 구동기를 사용하여 파지력을 향상시킬 수 있는 가능성은 있으나 손가락마다 개별 적용할 만큼의 소형화가 어렵고 전기모터만큼 정교한 제어를 하기 어렵다는 문제가 있다. 따라서 지금까지 로봇핸드 연구에서 유압구동기는 고려의 대상이 되지 않아왔다.

본 논문은 사람 손의 파지 동작에서 영감을 얻어 전기모터와 유압구동기를 같이 사용하여 크기 대비 파지력이 높으며, 비정형 물체를 빠르고 안정적으로 파지할 수 있는 로봇핸드를 제안한다. 사람의 손가락은 비정형 물체를 감싸 쥐기 위해 개별적으로 움직이며, 물체를 감싸 쥔 후 힘을 줄 때는 전체 손가락의 힘을 동시에 주어 물체를 강하게 움켜쥔다. 따라서 물체를 순응적으로 파지하는 행위(순응파지, Grasp)와 파지한 물체를 꽉 움켜잡는 행위(강력파지, Grip)를 분리할 수 있으며, 각각의 행위를 구현하기에 적합한 구동기(전기모터 및 유압구동기)를 적절히 배치하여 안정적인 파지능력 및 높은 파지력을 동시에 갖는 로봇핸드를 구현할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 사람 손의 파지 동작을 분석한 후, 이를 적용한 로봇핸드의 사물 적응형 손가락 메커니즘과 기본 동작 개념에 대해 소개한다. 3장에서는 기구적 해석 및 제어전략에 대해 다룬다. 4장에서는 로봇핸드 설계 및 실험을 통하여 로봇핸드의 성능을 검증한다. 마지막으로 5장에서 결론을 도출한다.

2. 로봇핸드 메커니즘

2.1 기본 아이디어

사람의 손은 22자유도를 기반으로 다양한 작업이 가능하며, 안정적으로 비정형 물체를 파지 할 수 있다. 그리고 손의 부피는 약 50 cc, 무게는 약 400 g으로 작고 가볍지만 파지력(Grip Force)은 약 500 N 이상의 큰 힘을 낼 수 있다.[14] Fig. 1과 같이 이러한 사람 손의 물체 파지는 각 손가락의 굴신운동(Flexion-Extension Motion)을 통해 손가락이 물체의 형상에 순응하도록 개별로 움직여 비정형 물체를 빠르게 감싸 쥔다. 물체를 감싸 쥔 후 손에 힘을 줄 때는 하완(전완근)에서 각 손가락의 건(Tendon)을 동시에 당김으로써 손 전체의 파지력을 증가시켜 비

Fig. 1 Grasp and grip movement of human hand

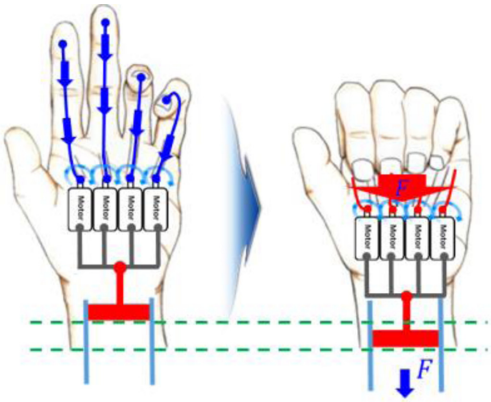


Fig. 2 Basic robot hand mechanism structure

정형 물체를 강하게 움켜쥔다. 이러한 사람 손의 순응파지와 강력파지는 하완(전완근)의 수축 및 이완작용에 의해 손가락 마디에 고정되어 있는 건을 당김으로써 일어난다.[14,15]

이러한 아이디어를 바탕으로 Fig. 2와 같은 로봇핸드 메커니즘을 고안하였다. 손바닥에 전기모터와 동력 전달장치를 구성하는 부족구동(Under-Actuated) 메커니즘을 기반으로 풀리를 이용해 각 손가락의 끝단에 고정된 케이블을 당겨 손가락의 개별 움직임을 만들고, 파지가 완료되면 손목부분에 부착된 하나의 유압구동기를 이용하여 각 손가락의 케이블 장력을 동시에 증가시켜 파지력을 향상시키는 구조이다. 이를 통해 빠른 동작으로 비정형 물체를 파지할 수 있으며, 중량대비 파지력이 높은 로봇핸드를 구현할 수 있다. 이후 절에서는 전기모터(이하 Flexion Motor)로 구동되는 손가락 메커니즘과 유압구동기로 구동되는 손목부의 파지력 증강 메커니즘에 대한 상세한 설명이 제시된다.

2.2 사물 순응형 손가락 메커니즘

사물 순응형 손가락 메커니즘이란 복잡한 제어 알고리즘이나 센서 없이도 로봇핸드의 손가락이 물체를 감싸 쥐는 것을 의미하며, 현재 많은 핸드들이 구동기의 숫자를 줄이기 위해 부족구동 메커니즘을 바탕으로 구성하고 있다.[16-18] Fig. 3은 두 개의 관절이 종속되어 있는 손가락의 순응형 파지 과정을 나타낸다. 손가락의 링크 2가 사물과 접촉하기 전에는 Fig. 3(b)와 같이 α만큼 회전하고, 링크 3은 링크 2의 회전 변위 α에 일정한 비율 k만큼 회전한다. 그리고 링크 2가 사물과 접촉하게 되면 Fig. 3(c)와 같이 사물과 접촉하지 않은 링크 3이 $k\alpha+\beta$ 만큼 회전하여 사물과 접촉한다.[18,19] 하지만 케이블과 풀리만으로 구성할

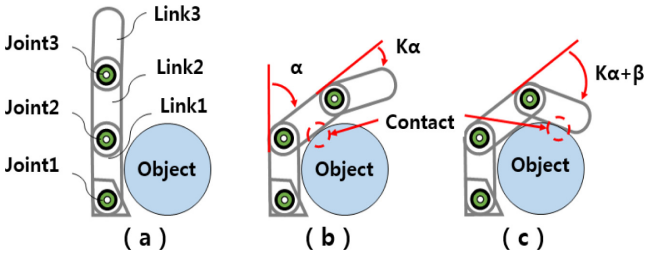


Fig. 3 Adaptive grasp mechanism process

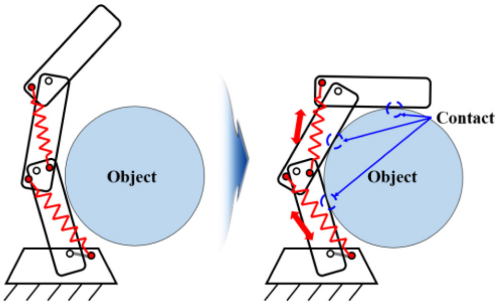
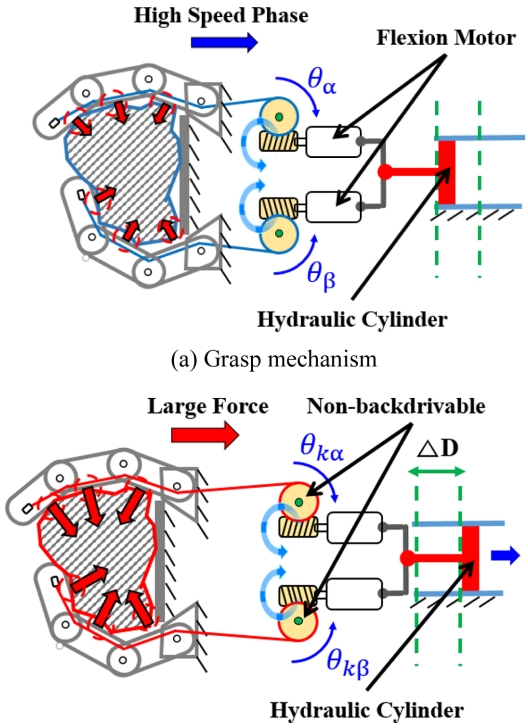


Fig. 4 Adaptive grasp mechanism using spring linkage

경우, 각 관절이 순차적으로 구동됨에 따라 물체를 감싸 쥐는 동작이 어려워 물체가 손에서 빠져나갈 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 관절에 계수가 다른 토션스프링을 장착하는 방법을 사용하기도 하지만, 설계에 따라서 굽혀지는 특성이 달라질 수 있다. 이에 우리는 Cross Four-Bar Link를 활용하여 각 관절들을 구속시켜 각 손가락의 관절을 종속시킴으로써 움켜쥐는 동작을 구현하였다. 하지만 강체인 링크를 이용할 경우, 한 관절이 물체에 의해 구속되면 다른 관절도 모두 구속이 되어 움켜쥐는 동작이 어려워진다. 이에 탄성이 있는 링크를 사용함으로써 해결하였다. Fig. 4와 같이 Spring Link를 이용한 손가락은 Fig. 4(b)와 같이 하나의 링크에 사물이 접촉되어 관절이 구속되더라도, 추가적인 힘을 가하면 Fig. 4(c)와 같은 링크의 움직임을 통해 물체를 감싸 파지할 수 있다.[19]

2.3 파지력 증강 메커니즘

크기 대비 파지력이 높은 로봇핸드를 개발하기 위하여 앞서 설명한 사람 손의 파지 동작에서 영감을 얻은 구동 메커니즘을 적용하였다(Fig. 5). 비정형 물체를 파지하기 위해서는 각 손가락은 개별적으로 움직이도록 개별 손가락에 대해서 각각의 Flexion Motor와 감속기 및 풀리로 구성된 구동부로 케이블을 당긴다. 이렇게 케이블이 당겨지면, 사물 적응형 손가락 메커니즘으로 인해 물체에 형상에 맞게 손가락의 형상이 만들어진다. 이렇게 각각의 손가락이 물체를 순응파지 하면, 손가락 케이블의 장력을 동시에 증가시키면서 파지력을 제어하게 된다. 이를 위해서는 감속기가 역구동이 안되는 기어(Non-Backdrivable Gear)를 사용해야 한다. 본 논문에서는 손가락 케이블들의 장력을 동시에 증가시키기 위하여 전기모터 구동부들을 하나의 프레임에 설치하고 이 프레임을 유압액추에이터로 당기는 구조를



(a) Grasp mechanism

(b) Grip mechanism

Fig. 5 Grasping and grip mechanism structure

가진다. 이런 구동메커니즘은 손가락들을 개별적으로 움직일 수 있으며, 접촉이 이루어지고 나면, 실린더의 작은 변위(ΔD)로도 큰 힘을 낼 수 있다.

3. 해석 및 제어 전략

3.1 손가락관절 토크와 인장력의 관계

손가락 관절의 토크와 구동부들의 출력 관계는 다음과 같다. 우선 인장력과 관절의 토크는 Fig. 6과 같이 Linkage 해석을 통해서 정리할 수 있다. 그림에서 빨간색은 케이블이며, 구동부에 의해 당겨지면, 케이블 장력 F가 발생하고, 관절 각도에 따라 관절 토크 τ_{joint}는 식(1)과 같이 결정된다. 관절들의 토크는 손가락 형상에 따라 달라지기 때문에, 손가락의 Tip-Force도 선형적인 값을 가지지 못한다. 전기모터/감속기/풀리 구동부의 인장력 F_{motor}은 식(3)으로 나타낼 수 있으며, 유압실린더의 인장력 $F_{hydraulic}$은 식(4)와 같다.

$$\tau_{\text{joint}} = Fr = F\ l\ \sin\alpha \tag{1}$$

$$\alpha = \frac{l^2 + r^2 - d^2}{2 \cdot l \cdot r} \tag{2}$$

$$F_{motor} = \frac{\tau_{motor} * gear_ratio}{R_{flexion}} \tag{3}$$

$$F_{hydraulic} = P \cdot A \tag{4}$$

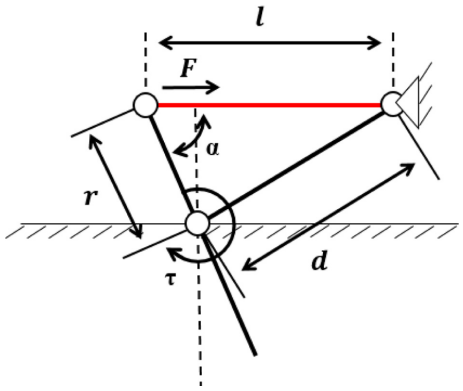


Fig. 6 Experimental results of grasping an object

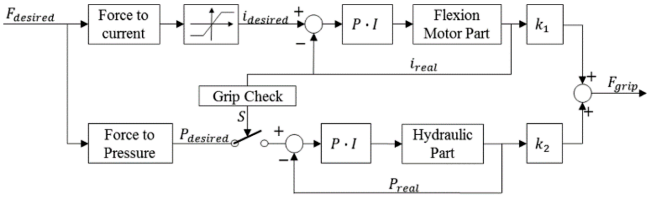


Fig. 7 Block diagram of control strategy

여기에서 $R_{flexion}$은 Flexion Motor의 풀리 지름, P는 실린더 내의 압력, A는 압력이 미치는 단면적을 의미한다. 로봇핸드의 손가락을 설계하기 위해 우선 필요 토크와 작동각도를 결정하고, 그에 따라 설계 파라미터를 도출할 수 있다. Flexion Motor에 의해 힘이 생성되면, 풀리 지름을 통해 토크를 계산할 수 있다. 따라서 식(3)을 통하여 Flexion Motor의 토크를 결정하고, 식(4)을 통하여 실린더 내의 압력을 결정할 수 있다. 이를 통해 F와 l에 따른 관절 토크는 식(1)로 결정할 수 있다.

3.2 제어 전략

본 논문에서 제안하는 로봇핸드의 파지 제어 전략은 사용자가 설정하는 파지력에 따라 각 손가락에 장착된 Flexion Motor의 전류와 유압 실린더의 압력을 제어하는 것이다. Fig. 7은 제어 전략에 따른 Control Diagram을 나타낸다. 우선 목표 파지력 $F_{desired}$가 주어지면, Flexion Motor의 토크와 설정한 파지력을 비교한다. 파지력이 Flexion Motor에서 낼 수 있는 힘보다 작은 경우는 안정파지로 충분하므로 Flexion Motor의 전류를 증가시켜 손가락 끝단에 고정된 케이블을 당겨 손가락을 빠르게 움직여 물체를 파지한다. 이때 물체 파지 유무는 Flexion Motor의 전류센싱을 통해 추정한다. 다음으로 파지력이 Flexion Motor에서 낼 수 있는 힘보다 큰 경우는 Flexion Motor를 구동하여 물체를 파지함과 동시에 유압 실린더의 압력을 증가시키면서 해당되는 파지력이 만들어질 수 있도록 실린더 내의 압력을 제어한다. 이와 같은 파지 시퀀스를 통해 순응파지에서 강력파지로 스위칭되는 부분을 매끄럽게 이어주게 하고, 파지력을 선형적으로 제어하도록 하였다.

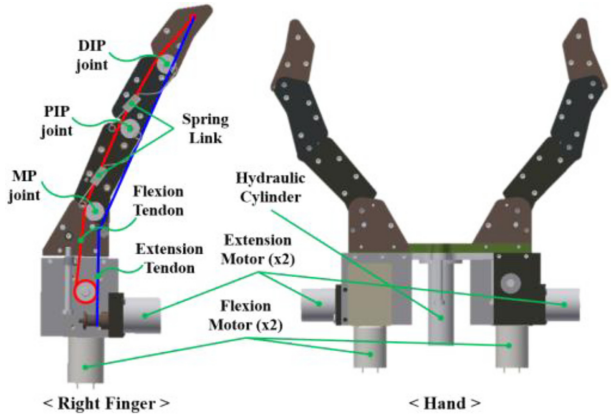


Fig. 8 Robot hand prototype design

4. 프로토타입 설계 및 검증

4.1 프로토타입 설계

앞서 제안한 메커니즘을 검증하기 위하여 프로토타입을 제작하였다. 기본적인 성능을 테스트하기 위하여 2지 형태로 설계하였으며 프로토타입의 손가락은 Fig. 8과 같이 말절골(Distal Phalange), 기저골(Proximal Phalange), 중수골(Metacarpal)의 3관절로 구성된다. 손가락의 링크 1은 60.0 mm, 링크 2는 50.0 mm, 그리고 링크 3은 48.7 mm로 전체 길이는 158.7 mm이다.

각 링크에는 케이블의 마찰력을 줄이기 위하여 롤러를 구성하였으며, 모든 관절은 0-90°의 작동각을 가지며, 끝부분에는 기구적인 Limit이 있다. 움켜쥐는 동작이 가능하도록 링크간에는 Spring Link로 구속되어 있는데, Base 링크와 링크 2, 링크1과 링크 3이 Cross Four-Bar 형태로 연결되어 있다. 사용된 케이블은 Dyneema Fishing Line으로 2.4 mm의 지름에서 약 3 kN의 Minimum Break Strength를 가진다. 케이블은 굴곡(Flexion)과 신전(Extension) 동작을 위해 2개로 구성되어 있으며, 각각을 모터로 당기는 구조이다. Flexion Motor는 역구동을 방지하기 위하여 웜기어와 DC 모터로 구성하였다. Extension은 스프링 또는 고무줄을 사용할 수 있으나, 관절 각도에 따라서 당기는 힘이 달라지기 때문에, Geared DC Motor와 풀리를 사용하여 손가락의 형태가 바뀌더라도 같은 힘으로 펴지도록 하였다. Extension Motor는 0.07 Nm의 토크출력을 가지는 GM24-KTX-RED를 사용하였다. 풀리의 반지름이 3 mm로 Extension-Force는 약 23.3 N이다. Flexion Motor는 WGM32-24V로서, 150 : 1의 기어 비를 가지고, 최대토크 0.19 Nm로 구동되며, 풀리 반지름 4 mm으로 인장력은 약 63 N이다. 유압파트는 MARZOCCHI사의 U0.25 R36인 기어펌프와 MAXON사의 DC 모터와 15 : 1 기어가 결합된 모듈로 구성된 유압발생장치와 Honeywell사의 Model S 압력센서를 사용하였다. 유압실린더의 유압실린더는 지름 14 mm, 길이 30 mm인 단동 실린더로 압력 40 kgf/cm^{2}에서 약 1700 N의 출력을 가진다. Fig. 9는 제작된 프로토타입이다. 무게는 외부 유압펌프모듈을 제외하고 1,164 g이며, 크기는

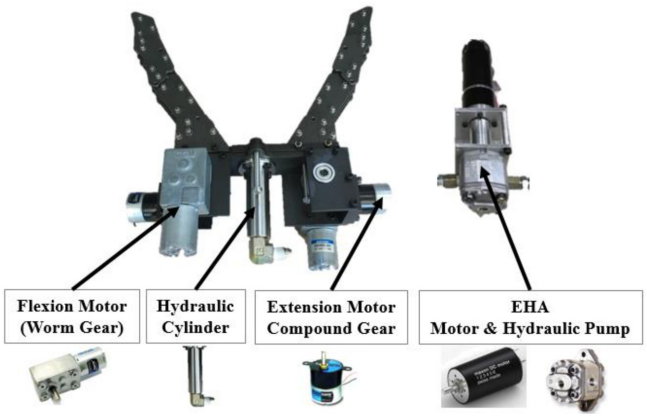


Fig. 9 Developed robot hand prototype

Table 1 System configuration

System unit	Model
Flexion motor	WGM32 DC24V
Extension motor	GM24-KTX (DC4.5V) DC
Hydraulic pump	MARZOCCHI U0.25 R36
Pump driving motor	Maxon DC Motor 148877 (150W) + 15 : 1 gearhead
Flexion motor driver	VNH5019A
Extension motor driver	Max14870
EHA motor driver	VNH5019A
Pressure sensor	Honeywell Model S
Hydraulic cylinder	Diameter = 14mm, Stroke = 30mm

207.2 mm × 59.0 mm × 258.8 mm이다. Table 1에 프로토타입의 제작에 사용된 주요 부품을 정리하였다.

4.2 순응파지(Grasp) 실험

개발된 로봇핸드의 비정형 물체 파지 실험을 위하여 앞서 설명한 순응파지 동작제어 전략에 따라 테스트를 진행하였다. 우선 파지유무를 판단하기 위하여 Fig. 10과 같이 파지에 따른 Flexion Motor의 전류를 측정하였다. 그림에서 보는 것과 같이 순응파지동작에서 Flexion Motor의 전류값은 총 2회 증가한다. 먼저 Flexion Motor가 동작되는 순간 짧은 시간이지만 전류가 증가한다. 다음으로 손가락에 사물이 접촉되면 손가락 관절의 각속도가 감소하면서 Flexion Motor의 전류가 증가한다. 이에 따라 전류와 시간을 체크하여 파지 유무를 판단할 수 있다.

실험에서는 Threshold 값을 0.13 A, 주기를 0.12초로 설정하였다. 이렇게 모터 구동으로 순응파지 Sequence를 만들고, 다양한 물체를 파지할 수 있는지를 확인하였다. Fig. 11과 같이 육면체의 플라스틱 및 종이 박스와 나무조각 그리고 원기둥과 종이컵과 같은 단순한 모양의 물체부터 조종기, 전동 드릴, 배터리 같은 비정형 물체까지 제한된 크기의 비정형 물체에 대한 파지가 가능함을 확인하였다.

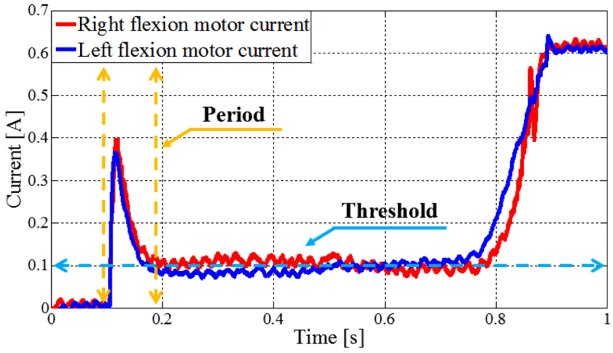


Fig. 10 Experimental results of an object grasp

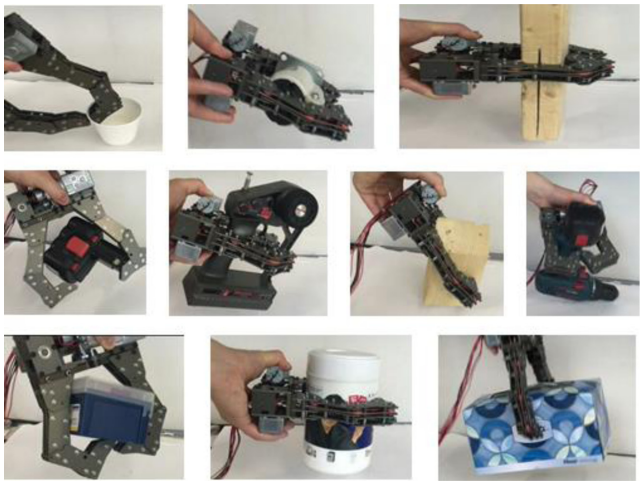


Fig. 11 Grasping various objects

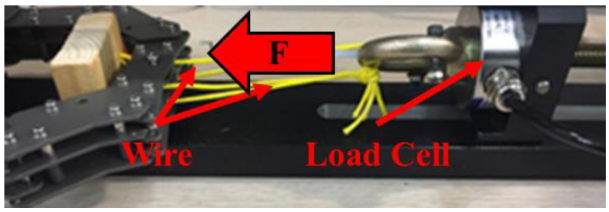


Fig. 12 Experiment composition

4.3 강력파지(Grip) 실험

프로토타입의 파지력은 유압실린더의 압력을 조절함으로써 제어가 가능하다. 이에 압력센서를 통해 현재 압력을 피드백 받아 PI 제어기를 구성하여 실린더내의 압력을 제어하였다. 압력 명령에 따른 파지력을 알아보기 위해 Fig. 12와 같이 테스트 장치를 구성하였다. 두 손가락이 당길 수 있도록 나무막대를 끼우고, 이것을 케이블을 통해 로드셀과 연결하였다. Fig. 13은 압력에 따른 파지력과 시간에 따른 응답성을 나타낸다. 압력은 10-60 kgf/cm^{2}까지 증가시켰으며, 최대 파지력은 30 kgf 이며, 응답시간은 최대 출력까지 0.5초 이내로 확인되었다. 앞서 설명하였듯이 손가락의 형상에 따라서 최대출력은 바뀔 수 있다. 이와 더불어 Fig. 14에 나타낸 바와 같이 30 kg의 추를 중력방향에 수직으로 들어 올리는 실험을 진행하였으며, 손가락의

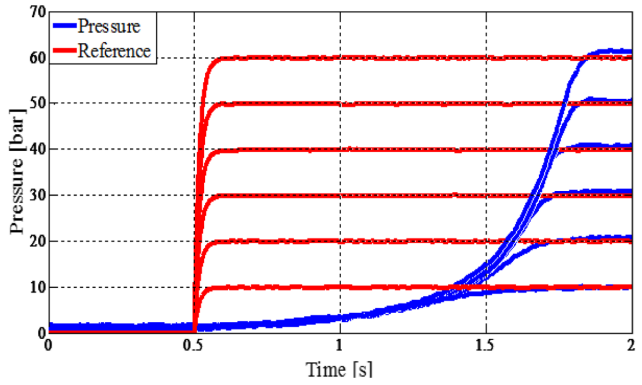


Fig. 13 Results of pressure control

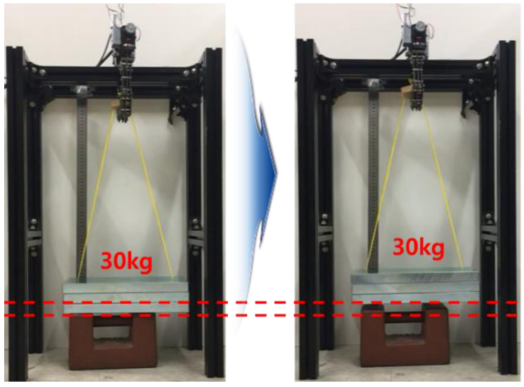


Fig. 14 Grip a 30 kg load

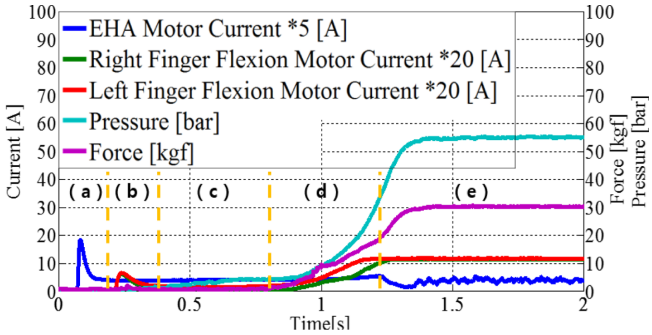


Fig. 15 Grip sequence

움직임만으로 30 kg의 추를 충분히 들어올릴 수 있음을 확인하였다.

4.4 순응파지 및 강력파지 연동 실험

제안한 제어 전략은 하나의 명령 즉, 파지력이 주어지면, Motor Part와 Hydraulic Part 가 잘 조합되어 순응파지에서 강력파지로 자연스럽게 연결되어야 한다. Fig. 12의 실험장치를 이용하여 30 kgf의 파지력 명령을 인가했을 때의 각 모터의 전류 및 실린더 압력과 파지력을 측정하였으며, 결과를 Fig. 15에 나타내었다. Fig. 15(a) 구간은 명령이 주어지고, Flexion Motor가 동작하면서 순응파지 동작이 나타나며, 초기 정지마찰력으로 인해 임펄스 형태의 전류가 발생한다. 서서히 손가락의 굴곡이 진행되며 물체와 접촉이 이루어지면 전류가 증가하게 되고, 동시에 실린더의 압력도 증가한다. 전류가 Threshold 값을 넘어서면 순응파지가 완료된 것으로 판단하고, 강력파지로 변환을 위해 실린더의 압력을 제어하여, 30 kgf의 파지력에 수렴하는 것을 볼 수 있다. 여기서 Grasping 동작에서 2 kgf/cm^{2}의 압력이 Build-Up되어 있는 것은 실린더의 마찰력으로 인한 응답성이 느려지는 것을 방지하기 위해서이다.

5. 결론

본 연구에서는 크기 대비 높은 파지력을 갖는 로봇 손을 개발하기 위하여 사람 손의 파지원리에서 영감을 얻은 파지력 증강 메커니즘과 사물 순응형 손가락 메커니즘을 제안하고 이를 적용한 프로토타입을 제작하였다. 제작된 프로토타입은 다양한 형태의 물체를 파지할 수 있으면서 60 kgf/cm^{2}의 압력에서 30 kgf의 물체를 들어올릴 수 있었다. 또한 전기모터와 유압 실린더의 동작을 연동하는 제어전략을 제안하여 순응파지와 강력파지 및 둘 사이의 자연스러운 변환을 구현하였다. 향후에는 본 논문에서 제시한 결과들을 적용하여 재난/건설 등의 필드로봇을 위한 3지형 로봇 손을 개발하고자 한다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 연구는 산업통상자원부 산업핵심기술개발 사업(No. 10047635, (약칭) 고난이도 작업 수행을 위한 유압 로봇 제어 기술 개발 사업)과 (No. 10052968, 재난대응 특수목적기계 개발 사업)의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

REFERENCES

1. Butterfaß, J., Grebenstein, M., Liu, H., and Hirzinger, G., “Dlr-Hand II: Next Generation of a Dextrous Robot Hand,” Proc. of International Conference on Robotics and Automation, pp. 109-114, 2001.

2. Bae, J.-H., Park, S.-W., Park, J.-H., Baeg, M.-H., Kim, D., et al., “Development of a Low Cost Anthropomorphic Robot Hand with High Capability,” Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4776-4782, 2012.

3. Kawasaki, H., Komatsu, T., and Uchiyama, K., “Dexterous Anthropomorphic Robot Hand with Distributed Tactile Sensor: Gifu Hand II,” IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 7, No. 3, pp. 296-303, 2002.

4. Takaki, T. and Omata, T., “High-Performance Anthropomorphic Robot Hand with Grasping-Force-Magnification Mechanism,”

IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 16, No. 3, pp. 583-591, 2011.

5. Jacobsen, S., Iversen, E., Knutti, D., Johnson, R., and Biggers, K., “Design of the Utah/Mit Dextrous Hand,” Proc. of International Conference on Robotics and Automation, pp. 1520-1532, 1986.
6. Carrozza, M. C., Suppo, C., Sebastiani, F., Massa, B., Vecchi, F., et al., “The Spring Hand: Development of a Self-Adaptive Prosthesis for Restoring Natural Grasping,” Autonomous Robots, Vol. 16, No. 2, pp. 125-141, 2004.
7. ROBOTIQ, “3-Finger Adaptive Robot Gripper,” https://robotiq.com/products/3-finger-adaptive-robot-gripper (Accessed 25 APR 2019)
8. Takayama, T., Chiba, Y., and Omata, T., “Tokyo-Tech 100 N Hand: Three-Fingered Eight-DOF Hand with a Force-Magnification Mechanism,” Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 593-598, 2009.
9. Takayama, T., Yamana, T., and Omata, T., “Three-Fingered Eight-DOF Hand that Exerts 100-N Grasping Force with Force-Magnification Drive,” IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 17, No. 2, pp. 218-227, 2012.
10. Rothling, F., Haschke, R., Steil, J. J., and Ritter, H., “Platform Portable Anthropomorphic Grasping with the Bielefeld 20-DOF Shadow and 9-DOF Tum Hand,” Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2951-2956, 2007.
11. Grebenstein, M., Albu-Schäffer, A., Bahls, T., Chalon, M., Eiberger, O., et al., “The DLR Hand Arm System,” Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3175-3182, 2011.
12. Xu, Z. and Todorov, E., “Design of a Highly Biomimetic Anthropomorphic Robotic Hand Towards Artificial Limb Regeneration,” Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3485-3492, 2016.
13. Carrozza, M. C., Cappiello, G., Micera S., Edin, B. B., and Beccai, L., “Design of a Cybernetic Hand for Perception and Action,” Biological Cybernetics, Vol. 95, No. 6, pp. 629-644 2006.
14. Schlesinger, G., “Der Mechanische Aufbau Der Kunstlichen Glieder,” Ersatzglieder und Arbeitshilfen, Springer Berlin, pp. 321-661, 1919.
15. Yu, H.-L., Chase, R. A., and Strauch, B., “Atlas of Hand Anatomy and Clinical Implications,” Mobsy, 2004.
16. Melchiorri, C. and Kaneto, M., “Robot Hands,” in: Springer Handbook of Robotics, Siciliano, B. and Khatib, O., (Eds.), Springer, pp. 345-360, 2008.
17. Wu, L., Carbone, G., and Ceccarelli, M., “Designing an Underactuated Mechanism for a 1 Active DOF Finger Operation,” Mechanism and Machine Theory, Vol. 44, No. 2, pp. 336-348, 2009.
18. Rea, P., “On the Design of Underactuated Finger Mechanisms for Robotic Hands,” in: Advances in Mechatronics, DOI: 10.5772/24304, 2011.
19. Park, B. Y., Cho, J. S., Seo, J. H., and Park, S. D., “Design of Adaptive Grasping Finger Mechanism Based on Underactuated,” Proc. of the Korean Society for Precision Engineering, p. 254, 2014.

Jung San Cho
Senior Researcher
Robotics R&D Group
Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)
Research Interest: Hydraulic robot, Walking robot
E-mail: chojs@kitech.re.kr

In Goo Kwon
Research Student
Robotics R&D Group
Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)
Research Interest: Hydraulic robot, Robot hand
E-mail: kwon89@kitech.re.kr

Dong-Hyuk Lee
Senior Researcher
Robotics R&D Group
Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)
Research Interest: Robot manipulation, Robot hand, Force/tactile sensor
E-mail: donghyuk@kitech.re.kr