

# 그리핑 성능 향상을 위한 가변강성 소프트 로봇 핸드 개발

함기범<sup>1</sup>, 전종균<sup>1</sup>, 박용재<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>선문대학교 기계공학과, <sup>2</sup>강원대학교 메카트로닉스공학과

## Development of Variable Stiffness Soft Robot Hand for Improving Gripping Performance

KiBeom Ham<sup>1</sup>, JongKyun Jeon<sup>1</sup>, Yong-Jai Park<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, SunMoon University

<sup>2</sup>Department of Mechatronics Engineering, Kangwon National University

**요약** 산업용으로 다양한 형태의 로봇팔이 사용되고 있으며, 특히, 다품종 소량생산으로 생산방식의 변화가 이루어지면서 산업현장에서 다양하게 사용이 가능한 그리퍼에 대한 중요성이 높아지고 있다. 이러한 중요성에 기반을 두어 본 연구진은 기존에 연성재질의 비선형성을 이용하여 강성을 변화시킬 수 있는 가변강성 메커니즘 그리퍼를 연구하였다. 시제품을 제작하고 실험을 통해 강성의 변화와 그 유용성을 확인하였다. 그러나 세 개의 가변강성 메커니즘을 배치하여 그리퍼를 설계 및 제작함으로써 물체를 파지하는 상황에 따라 파지를 제대로 하지 못하는 현상이 발생하였다. 또한, 그리퍼 간의 균형이 맞지 않아 물체 파지 시에 파지할 물체가 회전하면서 미끄러지는 경우가 드물게 발생하는 문제가 있었다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 새로운 형태의 그리퍼가 필요하게 되었다. 새로운 형태의 그리퍼를 설계하기 위하여 생체모사기술을 적용하였다. 사람의 손바닥과 파리지옥의 움직임에 의해 영감을 얻어 새롭게 가변강성 소프트 로봇 핸드를 설계하였다. 손바닥이 접히는 메커니즘을 가변강성 그리퍼에 장착된 텐던을 당기는 것과 연동하여 파지 성능을 높일 수 있었다. 가변강성 메커니즘에 파리지옥과 손바닥 형태의 메커니즘을 결합하여 파지 안전성을 높인 소프트 로봇 핸드는 기존의 가변강성 메커니즘 그리퍼보다 다양한 형태와 무게를 가진 물체를 안정적으로 파지하였다.

**Abstract** Various types of robotic arms are being used for industrial purposes, particularly with the small production of multi-products, and the importance of the gripper, which can be used in industrial fields, is increasing. This study evaluated a variable stiffness mechanism gripper that can change the stiffness using the nonlinearity of a flexible material. A prototype of the gripper was fabricated and examined to confirm the change in stiffness. The previous gripper was unable to grip objects in some situations with three variable stiffness mechanism. In addition, these mechanisms were not balanced and rarely rotated when the object was gripped. Therefore, a new type of gripper was needed to solve this problem. Inspired by the movements of the human palm and Venus Flytrap, a new type of a variable stiffness soft robot hand was designed. The possibility of grasping could be increased by interlocking the palm folding mechanism by pulling the tendon attached to the variable stiffness mechanism. The soft robotic hand was used to grasp objects of various shapes and weights more stably than the previous variable stiffness mechanism gripper. This new variable stiffness soft robot hand can be used selectively depending on the application and environment to be used.

**Keywords** : Soft Robot, Gripper, Variable Stiffness, Adjustable Mechanism, Bio-inspired Mechanism

본 논문은 2016년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. 2014R1A1A2058928, No. NRF-2016R1A5A1938472)

\*Corresponding Author : Yong-Jai Park(Kangwon National Univ.)

Tel: +82-33-250-6371 email: yjpark@kangwon.ac.kr

Received September 17, 2018

Revised (1st November 6, 2018, 2nd December 4, 2018)

Accepted December 7, 2018

Published December 31, 2018

## 1. 서론

산업용으로 많은 수의 로봇팔이 사용되고 있으며, 산업이 발전해 갈수록 다품종 소량생산으로 생산방식의 변화가 나타나고 있다. 이에 적응하기 위하여 기존에 산업용 로봇팔에 사용하던 그리퍼의 메커니즘에 대한 설계 변화가 나타나고 있으며, 다양한 형태의 그리퍼에 관한 연구가 같이 진행되고 있다.

기존에 주로 사용하던 그리퍼는 여러 개의 관절로 설계되어 각각의 관절을 모터로 제어하는 형태로 구성되었다[1-2]. 각각의 관절이 강성체로 구성되어 있으므로 다품종 소량생산에 사용하기 위해서는 각 물체의 모양과 크기에 맞추어 각 관절을 정밀하게 제어해야 할 필요성이 있다. 이러한 문제를 구조적으로 해결하기 위하여 유연한 재질을 이용한 그리퍼들에 관한 연구가 진행되었다. 사람의 손과 같이 설계하고, 텐던으로 제어하는 로봇 손을 제작하여 다양한 크기의 물체를 쉽게 잡을 수 있는 연구가 진행되었다[3-4]. 텐던 외에도 공압으로 그리퍼를 제작한 연구들도 시도되고 있으며, 일부 연구는 산업용 그리퍼로 상용화가 진행되고 있다[5-6].

유연한 재질을 활용한 소프트 그리퍼의 경우, 유연한 재질의 특성으로 들어 올릴 수 있는 물체의 질량 제한이 발생한다. 또한, 연성재질을 관절로 사용함으로써 강성재질로 이루어진 그리퍼보다는 안전하지만, 사용 환경에 따라 강성이 필요할 경우, 힘이 전달되지 않는 문제점이 나타난다. 이를 해결하기 위하여 강성이 변화할 수 있는 메커니즘을 그리퍼에 적용하기 위한 연구가 진행되었으며, 주로 마찰력을 이용하여 메커니즘을 구현하였다[5-7].

본 연구진은 연성재질의 비선형성을 이용한 가변강성 메커니즘에 관한 연구를 수행하였으며, 가변강성 메커니즘의 활용성을 높이기 위한 설계 변수 변화에 따른 강성 변화 연구도 진행하였다[8-9]. 선행연구의 결과를 활용하여 가변강성 메커니즘을 적용한 그리퍼를 제작하였다[10-12]. 본 그리퍼는 가변강성 메커니즘 세 개로 물체를 파지할 수 있게 설계되었다. 그러나, 그리퍼 끝부분으로만 잡을 수 있게 설계하여 물체의 위치나 그리퍼의 고정 위치에 따라 물체를 파지할 수 있는 범위가 제한적이다. 또한, 그리퍼 간의 균형이 맞지 않아 물체 파지 시에 파지할 물체가 회전하면서 미끄러지는 경우가 드물게 발생하였다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 새로운 형태의 그리퍼 설계 연구가 필요하였다.

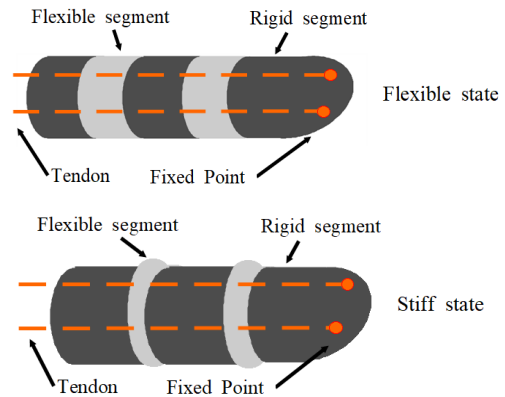


Fig. 1. Concept of a variable stiffness mechanism. The state can be changed by pulling the tendon[8-9].

본 연구에서는 새로운 형태의 그리퍼를 설계하기 위하여 생체모사기술을 적용하였다. 생체의 특징에서 영감을 얻어 메커니즘을 구현하는 생체모사기술은 산업뿐만 아니라 다양한 연구 분야와 일상생활에서 새로운 가능성을 보인다. 본 연구에서는 파리지옥의 움직임이나 사람 손바닥의 움직임에서 영감을 얻어 이처럼 움직일 수 있는 그리퍼를 고안하였다[12-13]. 다만, 파리지옥의 움직임의 원리를 그대로 적용하지 않고 그 움직임에 초점을 맞추어, 이를 응용함으로써, 기존의 가변강성 그리퍼의 단점을 보완하였다. 결론적으로 소프트 가변강성 그리퍼의 파지 범위와 안전성을 높인 새로운 형태의 그리퍼를 설계하였다.

## 2. 본론

### 2.1 가변강성 메커니즘 원리

본 가변강성 메커니즘은 기존의 압력을 조절하여 강성을 변화시키는 방식과는 다르게 간단한 구조로 되어 있다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 강성체와 연성체가 교대로 연결된 구조를 가진다[8]. 구조 한쪽 끝부분에 텐던을 고정하고 강성체와 연성체를 연결한 그 중심으로 텐던을 연결한다. 고정된 텐던이 고정되지 않은 쪽으로 텐던을 당기면 Fig. 1의 연성체가 압력을 받아 압착이 되는 형태로 변화하게 된다. 이때 연성재질의 비선형적 성질에 의해 강성이 증가한다. 텐던을 당기는 힘에 따라서 강성이 변화하기 때문에 이를 이용하여 구조체의 굽힘 강성

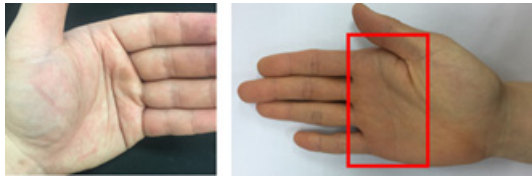


Fig. 2. Palm shape and its role



Fig. 3. Example of flytrap

을 조절하는 것이 가능해진다. 이러한 구조체는 강성체와 연성체의 길이와 단면의 지름을 변화시키면서 원하는 강성을 조절할 수 있는 장점을 보인다[9]. 또한, 가변강성 메커니즘은 구조체의 크기에 영향을 덜 받으며 비교적 사용되는 상황에 유용적으로 대응할 수 있는 장점이 있다.

## 2.2 그리핑 성능 향상을 위한 메커니즘 원리

일반적으로 사람이 물건을 잡을 때, 손가락만을 이용하여 물체를 잡는 것이 아니라 Fig. 2와 같이 손바닥도 같이 움직여서 물체를 잡는다. 특히, 물체의 형상이나 무게, 크기에 따라 손바닥의 사용 여부가 결정된다. 다만, 손가락만으로 물체를 잡는 것보다 손바닥까지 이용하여 물체를 잡는 것이 일반적으로 안정적이다. 특히, 손바닥으로 물체를 잡을 때, 가장 중요한 역할을 하는 것은 손바닥에 있는 손금이다. 손금이 있는 부분이 접힘으로써 물체를 더욱 쉽게 잡을 수 있게 된다.

이와 비슷한 움직임은 식물인 파리지옥에서 찾아볼 수 있다. Fig. 3은 일반적인 파리지옥 식물을 보여주고 있다. 파리지옥은 식물 중에서도 특이하게 빠르게 움직일 수 있는 특징이 있는데, 이러한 움직임은 곤충을 잡을 때, 쌍안정성 구조로 된 잎이 순간적으로 접히면서 구현된다[13].

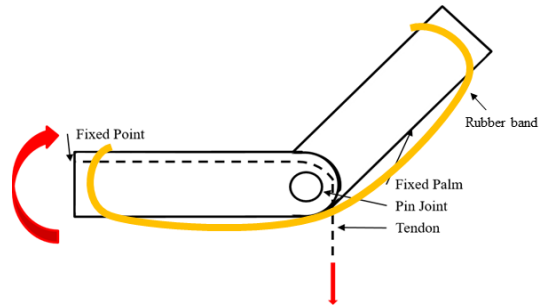


Fig. 4. Proposed gripping mechanism

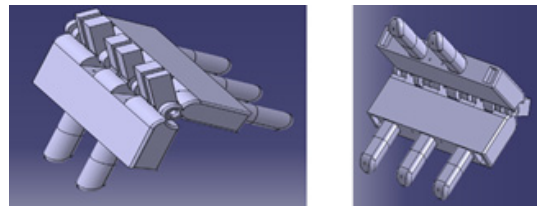


Fig. 5. CAD model of soft robotic hand with Variable stiffness mechanism

위와 같은 사람의 손과 파리지옥의 움직임을 바탕으로 기존의 가변강성 메커니즘에 새로운 설계를 추가하여 구조를 개선하였다. Fig. 4와 같이 텐던을 당기면 텐던과 연결되어있는 구조체가 텐던에 의해 화살표 방향으로 회전하면서 접히게 되고 텐던을 놓게 되면 구조체에 설치된 고무밴드의 탄성력에 의하여 구조체가 벌어지게 되어 원상태로 돌아오게 된다.

## 2.3 그리퍼 설계 및 제작

사람의 손과 파리지옥의 움직임에서 영감을 얻어 새로운 형태의 가변강성 그리핑 메커니즘을 설계하였다. Fig. 5에서와 같이 가변강성 구조체를 한쪽에 세 개, 다른 한쪽에 두 개씩 나란히 배치하고 손바닥에 해당하는 중간 부분이 구부러질 수 있도록 설계하였다. 손바닥 부분을 구동할 수 있도록 텐던과 고무밴드를 삽입하여 가변강성 소프트 로봇 핸드 손가락 부분이 물체를 파지할 때, 손바닥 부분도 같이 움직일 수 있도록 하였다. 고무밴드는 손바닥을 벌리는 방향으로 항상 힘이 작용할 수 있게 해주는 장치이고, 텐던은 고무밴드와 반대로 손바닥을 물체를 파지할 수 있게 오므리는 방향으로 힘이 작용할 수 있게 해주는 장치이다. 따라서, 고무밴드의 힘보다 텐던의 힘이 크게 되면 손바닥이 접히고, 반대로 텐

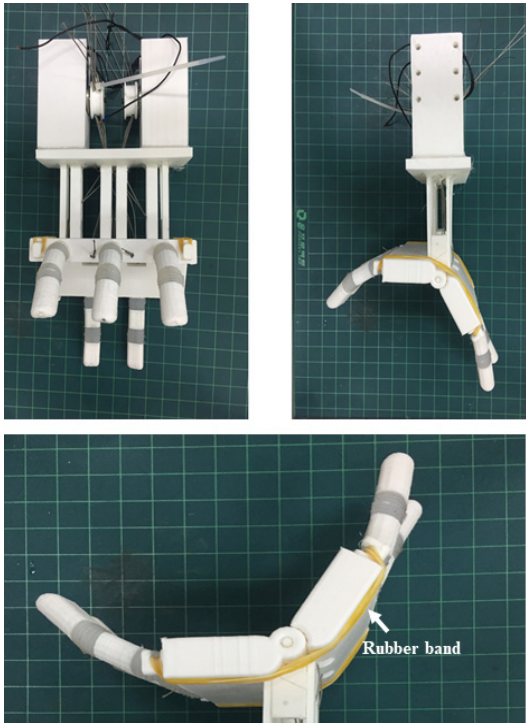


Fig. 6. Prototype of soft robotic hand with variable stiffness mechanism

던의 힘을 없애 고무밴드가 당기는 힘이 텐던의 힘보다 크게 되면 손바닥이 벌어지는 원리를 이용하였다. 손가락 개수를 다섯 개로 늘려 파지 범위를 늘리고, 균형을 맞추어 물체를 파지할 때 안정성을 높였다. 또한, 기존의 세 개의 손가락으로 구성된 소프트 가변강성 그리퍼로 물체를 파지할 때, 세 개 손가락의 파지 중심이 일치하지 않아, 물체가 회전하는 현상이 가끔 발생하였다. 이러한 현상을 줄이기 위하여 손가락의 개수를 늘려 파지할 물체가 회전하면서 미끄러지는 현상을 줄일 수 있었다.

Fig. 6에서 볼 수 있듯이, 가변강성 구조체의 연성부분은 Smooth-on社의 EcoFlex0030 실리콘을 사용하여 몰드를 통해 제작하였으며, 강성체로 구성된 구조체는 PLA(PolyLactic Acid) 필라멘트를 사용하는 3D프린터로 제작하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 두 개의 가변강성 메커니즘을 관통하는 텐던은 직경 0.8 mm의 강철 와이어를 사용하였다. 가변강성 소프트 핸드의 안쪽으로 당기는 텐던과 바깥쪽으로 당기는 텐던은 각각 로보티즈 회사의 모터 Dynamixel MX-106을 사용하여 제어를 할 수 있게 제작하였다.

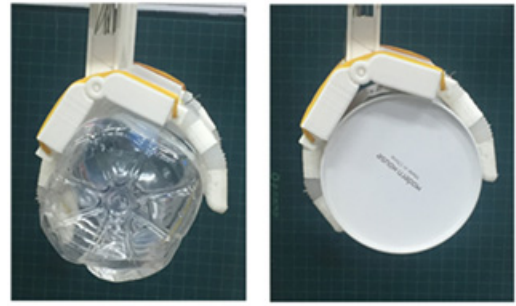


Fig. 7. Gripping motion of the soft robotic hand

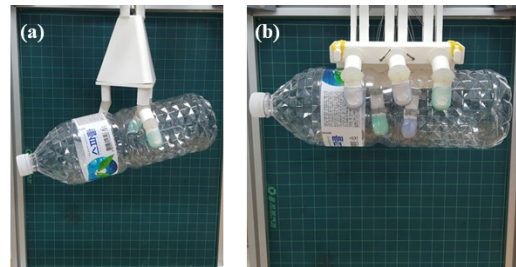


Fig. 8. Gripping test (a) previous soft gripper, (b) proposed soft robotic hand

## 2.4 그리핑 테스트

기존 연구에서 시제품으로 제작했던 소프트 가변강성 그리퍼의 경우, 부피가 큰 물체를 잡는 것에 어려움이 있었다. 이러한 부분을 보완하기 위하여 새로이 고안된 가변강성 소프트 로봇 핸드는 Fig. 7과 같이 부피가 크고 긴 물체를 쉽게 잡을 수 있다.

이전의 가변강성 그리퍼와 새로이 제작된 가변강성 소프트 로봇 핸드의 파지 정도를 실험하기 위하여 같은 물체를 잡는 실험을 진행하였다. Fig. 8과 같이 이전 그리퍼의 경우 손가락으로만 물체를 파지하기 때문에 파지 시에 새로운 가변강성 핸드보다 불안정한 모습을 보인다. 이와는 달리 소프트 로봇 핸드는 안정적으로 물체를 파지하고 파지한 물체가 회전하는 현상이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 9와 같이 실제 파지한 부분을 확대하여 확인해 보면, 두 그리퍼의 손가락 부분의 차이를 확실하게 볼 수 있다. 이전 그리퍼는 손가락이 불규칙적으로 틀어진 상태로 물체를 잡지만, 새로이 고안한 핸드의 경우, 안정적으로 파지하는 것을 볼 수 있다. 위의 실험을 통하여 두 그리퍼 모두 물체를 잡는 것은 가능하나 안정성에서 차이를 보인다는 것을 확인할 수 있다.





Fig. 9. Gripping shape comparison between the previous soft gripper and the proposed soft robotic hand

Table 1. Weight change for gripping experiment

No	Weight
Experiment 1	500 g
Experiment 2	1000 g
Experiment 3	1800 g

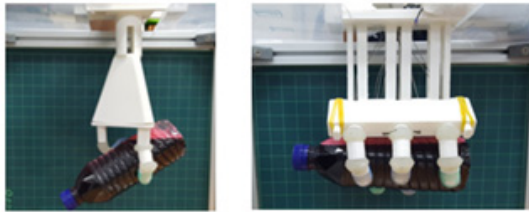


Fig. 10. Gripping test at 500 g

그리핑 형상의 안전성 외에 더욱 정확한 측정을 위하여 그리핑 질량 측정 실험을 진행하였다. 일반적으로 소프트 그리퍼가 파지하는 물체의 질량은 사람이 한 손으로 손쉽게 들 수 있거나, 사과, 포도, 배추 등 파손되기 쉬운 농산물의 무게를 기준으로 결정하였다. 이 기준에 따라 Table 1과 같이 파지하는 물체의 무게를 500, 1000, 1800 g으로 차례대로 증가시키면서 실험을 진행하였다. 특히 최대 질량을 1800 g으로 설정한 이유는 비교 대상 군으로 선정된 소프트 가변강성 메커니즘 그리퍼의 최대 그리핑 질량이 기존 논문의 실험을 통하여 1882 g으로 확인되었기 때문이다[11-12].

Fig. 10은 500 g의 물병을 파지하는 실험이다. 이전의 가변강성 메커니즘 그리퍼와 가변강성 소프트 로봇 핸드 모두 안정적으로 물병을 잡을 수 있다. 그러나 Fig. 10에서 확인할 수 있듯이 가변강성 메커니즘 그리퍼는 물체가 불안정하게 파지 되어 있는 것을 확인할 수 있다. 반면에 가변강성 소프트 로봇 핸드는 손바닥 장치를 장착하고 손가락 개수를 늘려서 보다 안정적으로 파지가 가능한 것을 보여주고 있다. 이러한 현상은 파지하는 물체



Fig. 11. Gripping test at 1000 g, and 1800 g

Table 2. Maximum gripping weight

Device	Weight
Previous soft gripper	1882 g
Soft robotic hand	2075 g

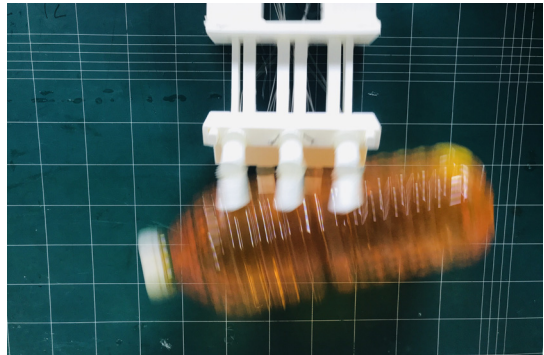


Fig. 12. **Maximum weight gripping test:** the moment when the maximum weight is exceeded and the object can not be caught

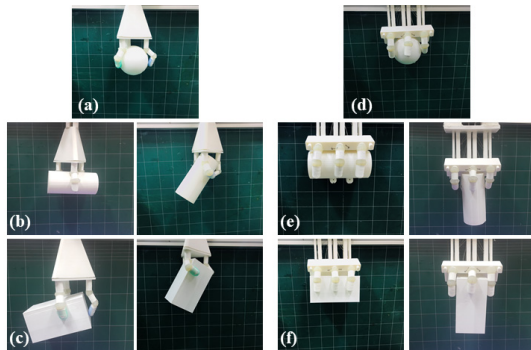
의 무게가 증가하면 할수록 파지의 안정성에 있어서 차이가 나타나게 된다.

Fig. 11은 가변강성 소프트 로봇 핸드의 파지할 수 있는 최대 무게를 측정하기 위하여 실험을 진행한 모습이다. Fig. 11의 왼쪽 사진은 1000 g을 파지한 실험이고 오른쪽 사진은 1800 g을 파지한 실험이다. 소프트 핸드의 최대 파지 무게를 측정하기 위하여 내부에 액체의 무게를 지속적으로 증가시켜 실험하였다.

기존 실험 결과로 가변강성 메커니즘 그리퍼의 경우 최대 파지 무게가 1882 g이라는 것을 확인할 수 있었으며, Table 2에서 확인할 수 있듯이 이번 실험 결과 새로이 제작한 가변강성 소프트 로봇 핸드는 최대 2075 g까지 파지가 가능한 것을 확인하였다. 최대 질량이 초과하는 순간 Fig. 12와 같이, 소프트 로봇 핸드가 물병을 파지하지 못하는 현상이 발생한다.

**Table 3.** Geometric parameters of each sample

Shape	Size
Sphere(diameter)	95 mm
Cylinder(D × H)	70 × 150 mm
Rectangular cuboid(L × W × H)	80 × 80 × 150 mm



**Fig. 13.** Gripping test with different shapes (a)-(c) sphere, cylinder, rectangular cuboid with previous gripping mechanism respectively, (d)-(f) sphere, cylinder, rectangular cuboid with soft robot hand respectively

이전 실험에서 사용된 플라스틱 물병의 경우, 파지 시에 쉽게 형상의 변형이 발생하여 그리핑 성능에 차이가 나타날 수 있다. 이를 보완하기 위하여 Table 3과 같이 강성재질로 제작된 구, 원기둥, 직육면체로 형상이 규격화된 표본을 3D프린터로 제작하여 Fig. 13과 같이 실험하였다.

구 형상 물체의 크기는 그리핑 성능에 큰 차이는 없으나, 길이가 긴 형태의 원기둥과 직육면체의 경우, 파지할 때, 손가락이 회전하는 현상이 줄어들어 가변강성 소프트 핸드보다 안정적으로 파지하고 있음을 확인할 수 있었다.

결론적으로, 기존의 가변강성의 메커니즘에 핸드 모양의 설계를 추가하여 기존의 그리퍼보다 파지 성능이 향상된 가변강성 소프트 로봇 손을 개발하였다.

### 3. 결론

본 연구에서는 손바닥과 파리지옥에서 착안한 형상을 이용하여 그리핑 성능향상을 위한 메커니즘을 설계하여

새로운 형태의 소프트 가변강성 로봇 손을 제작하였으며, 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 기존의 가변강성 메커니즘을 탑재하면서도 파지의 성능을 높인 새로운 손을 제작하였다.
- 2) 기존의 소프트 가변강성 메커니즘 그리퍼로 파지하기 힘든 무겁거나 형체가 큰 물체를 안정적으로 파지할 수 있었다.
- 3) 기존의 그리퍼와 새로운 소프트 손을 비교·분석한 결과 최대 파지 가능 무게가 증가한 것을 확인할 수 있다.
- 4) 파지 범위가 제한적이고 손가락 불균형 문제로 인해 물체를 파지할 때 회전하거나 미끄러지는 기존의 가변강성 메커니즘 그리퍼의 단점을 보완하여 안정적으로 파지하는 새로운 손을 개발하였다.

결론적으로 기존의 가변강성의 장점을 유지하면서 파지의 안정성을 높이는 새로운 소프트 가변강성 손을 제시하였고 이를 파지하는 물체에 맞추어 선택하여 활용할 수 있을 것이다.

### References

- [1] M. Grebenstein, M. Chalon, W. Friedl, S. Haddadin, T. Wimböck, G. Hirzinger, R. Siegwart, "The Hand of the DLR Hand Arm System: Designed for Interaction," *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 31, No. 13, pp. 1531-1555, Nov. 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1177/0278364912459209>
- [2] J. Butterfass, M. Grebenstein, H. Liu, G. Hirzinger, "DLR-Hand II: Next Generation of a Dexterous Robot Hand," *Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 1, pp. 109 - 114, 2001  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2001.932538>
- [3] A. M. Dollar, R. D. Howe, "The Highly Adaptive SDM Hand: Design and Performance Evaluation," *The International Journal of Robotics Research*. Vol. 29, No. 5, pp. 585 - 597, Apr. 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1177/0278364909360852>
- [4] A. M. Dollar, R. D. Howe, "The SDM Hand as a Prosthetic Terminal Device: A Feasibility Study," *2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics*, pp. 978 - 983, 2007  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICORR.2007.4428542>
- [5] A. Jiang, A. Ataollahi, K. Althoefer, P. Dasgupta, T. Nanayakkara, "A Variable Stiffness Joint by Granular Jamming," *ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and*

*Information in Engineering Conference*, Vol 4, pp. 267-275, 2012.

DOI: <https://doi.org/10.1115/DETC2012-70670>

- [6] J. R. Amend, E. Brown, N. Rodenberg, H. M. Jaeger, H. Lipson, "A Positive Pressure Universal Gripper Based on the Jamming of Granular Material," *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 28, No. 2, pp. 341 - 350, Apr. 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2011.2171093>
- [7] Y. J. Kim, S. Cheng, S. Kim, K. Iagnemma, "A Novel Layer Jamming Mechanism With Tunable Stiffness Capability for Minimally Invasive Surgery," *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 29, No. 4, pp. 1031 - 1042, Aug. 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2013.2256313>
- [8] T. M. Huh, Y.-J. Park, K.-J. Cho, "Design and Analysis of a Stiffness Adjustable Structure Using an Endoskeleton," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 13, No. 7, pp. 1255 - 1258, Jul. 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12541-012-0168-2>
- [9] K. B. Ham, J. H. Han, J. K. Jeon, Y.-J. Park, "Parametric Study on the tendency of Stiffness Variation using Variable Stiffness Mechanism," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 17, No. 6, pp. 750 - 758, 2016  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.6.750>
- [10] K. B. Ham, Y.-J. Park, "Design of a Mechanism to Improve Its Gripping Performance," *Korea Society for Precision Engineering Conference*, pp. 938-938, May 2017.
- [11] K. Ham, J. Han, Y.-J. Park, "Soft Gripper using Variable Stiffness Mechanism and Its Application," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 19, No. 4, pp. 487 - 494, Apr. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12541-018-0059-2>
- [12] K. B. Ham, "A Study on bio-inspired gripper using variable stiffness mechanism", Master's thesis, SunMoon University, 2017.
- [13] Y. Forterre, J. M. Skotheim, J. Dumais and L. Mahadevan, "How the Venus Flytrap Snaps", *Nature*, Vol 433, No. 7024, pp 421 - 425, Jan. 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1038/nature03185>

**함 기 범(Ki-Beom Ham)**

[정회원]



- 2015년 8월 : 선문대학교 기계공학과 (공학사)
- 2017년 8월 : 선문대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : ㈜힘스 연구원

<관심분야>

로보틱스, 제어, 메커니즘

**전 종 균(JongKyun Jeon)**

[종신회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1985년 12월 : University of California, Los Angeles (공학석사)
- 1991년 6월 : University of California, Los Angeles (공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계ICT융합공학부 교수

<관심분야>

응용역학, 진동제어

**박 용 재(Yong-Jai Park)**

[종신회원]



- 2004년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학사)
- 2013년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학박사)
- 2003년 12월 ~ 2005년 4월 : 삼성 전자 반도체
- 2014년 3월 ~ 2018년 8월 : 선문대학교 기계ICT융합공학부 교수
- 2018년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 메카트로닉스공학과 교수

<관심분야>

소프트 로보틱스, 메커니즘 설계